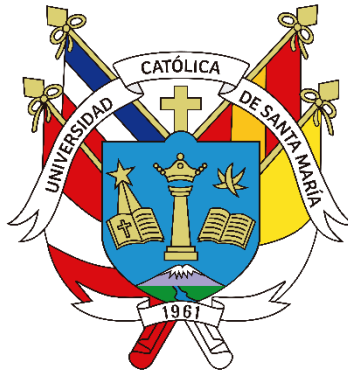


Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería Industrial



**Análisis y propuesta de mejora del proceso de cocción en la producción de
ladrillos para incrementar la productividad de una empresa ladrillera**

Tesis presentada por la Bachiller:

Farias Canales, Fiorella Jahaira

ORCID: 0009-0004-4410-4618

para optar el Título Profesional de Ingeniera Industrial

Asesor (a):

Dr. Valencia Becerra, Rolardi Mario

ORCID: 0000-0002-6641-0323

Arequipa - Perú

2025

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA INDUSTRIAL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 11 de Junio del 2025

Dictamen: 009839-C-EPII-2025

Visto el borrador del expediente 009839, presentado por:

2018241702 - FARIAS CANALES FIORELLA JAHAIRA

Titulado:

**ANÁLISIS Y PROPUESTA DE MEJORA DEL PROCESO DE COCCIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE
LADRILLOS PARA INCREMENTAR LA PRODUCTIVIDAD DE UNA EMPRESA LADRILLERA**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO INDUSTRIAL

**32770023 - DEZA LOYAGA WALTER FRANCISCO
DICTAMINADOR**



**29278441 - PACHECO OVIEDO ABRAHAM ARTURO
DICTAMINADOR**



**29595020 - DELGADO BASTIDAS JOSE RAFAEL
DICTAMINADOR**



Análisis y propuesta de mejora del proceso de cocción en la producción de ladrillos para incrementar la productividad de una empresa ladrillera

INFORME DE ORIGINALIDAD

21%

INDICE DE SIMILITUD

20%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

10%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

2%

2

vsip.info

Fuente de Internet

2%

3

Submitted to Universidad Católica de Santa María

Trabajo del estudiante

1%

4

cardigan.pro

Fuente de Internet

1%

5

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

1%

6

repositorio.upn.edu.pe

Fuente de Internet

1%

7

renati.sunedu.gob.pe

Fuente de Internet

1%

8

repositorio.unsaac.edu.pe

Fuente de Internet

1%

9

tesis.ucsm.edu.pe

Fuente de Internet

1%

10

Submitted to UISEK

Trabajo del estudiante

1%

11

repositorio.continental.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

DEDICATORIA

A mi mamá Adaluz, quien, con su amor incondicional, sacrificio y sabiduría me ha guiado en cada paso de mi vida. Gracias por enseñarme a luchar por mis sueños y por estar siempre a mi lado.

A mi papá Alejandro, por amarme, por creer en mí incluso en los momentos más difíciles y siempre motivarme a creer en mí misma.

A mi hermana Lucia, por ser mi compañera de vida y apoyo constante.

A mis abuelos Julia y German por su amor y apoyo.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por iluminar mi camino y brindarme la fuerza para superar los desafíos que se presentaron en este proceso.

Agradezco a mi familia, quienes son los principales pilares y motivación para este paso en mi vida.

Agradezco a mi alma mater la Universidad Católica de Santa María, y a todos los docentes que me guiaron a lo largo de mi formación académica. Gracias por compartir su conocimiento, dedicación y motivación.



RESUMEN

La presente investigación consistió en analizar el proceso de producción de ladrillos, evaluando el proceso de cocción en un horno, a causa de que en el sector ladrillero, este proceso produce un 20% de ladrillos calificados como no aptos para la venta. La investigación se plantea como propósito principal analizar y diseñar una propuesta para el proceso de cocción que resuelva los problemas críticos que limitan la productividad de su proceso de manufactura, mediante la integración y formación de la ingeniería de procesos para incrementar la producción de ladrillos óptimos para venta. El proyecto investigativo que se desarrolló es de tipo aplicativo debido a que se desarrolló en una situación real en una empresa ladrillera en Arequipa encaminado a resolver los problemas de baja productividad y deficiencias del sistema productivo. Los datos recolectados fueron veraces y reales presentados con objetividad para generar un cambio. En el estudio se encontró que las ladrilleras cuentan con hornos de cocción de ladrillos que tienen una tasa de pérdidas del 10.00%. En el proceso de cocción se producen pérdidas y roturas, además varían de 3000 ladrillos crudos a 8000 ladrillos sobre quemados, los cuales son considerados como no aptos a venta. Debido a que no conservan la temperatura uniforme en toda el área. Se analizó el flujo de calor requerido para conservar la temperatura constante y uniforme de 880°C a una temperatura de 950°C para optimizar la eficiencia del horno de cocción, además se analizó el requerimiento de combustible para satisfacer la necesidad del horno y mantener el flujo de calor constante. Se optó por implementar un equipo especializado para la medición constante de temperatura en la cámara de horno, generando que la mayor parte de los ladrillos crudos ingresados al horno sean productos aptos para la venta. Asimismo, la instalación interna de los equipos necesarios para el uso de gas natural.

Palabras Clave: cocción, productividad, calor.

ABSTRACT

This research consisted of analyzing the brick production process, evaluating the firing process in a kiln, because in the brick sector, this process produces 20% of bricks classified as unfit for sale. The main purpose of the research is to analyze and design a proposal for the firing process that solves the critical problems that limit the productivity of its manufacturing process, through the integration and training of process engineering to increase the production of optimal bricks for sale. The research project that was developed is of an applicative type because it was developed in a real situation in a brick company in Arequipa, aimed at solving the problems of low productivity and deficiencies in the production system. The data collected was truthful, real, and presented objectively to generate change. The study found that brickyards have brick-firing kilns with a loss rate of 10.00%. Losses and breakages occur during the firing process, and the number of bricks that are fired varies from 3,000 raw bricks to 8,000 overburned bricks, which are considered unfit for sale. This is due to the fact that they do not maintain a uniform temperature throughout the area. The heat flow required to maintain a constant and uniform temperature of 880°C to 950°C was analyzed to optimize the efficiency of the kiln. The fuel requirement was also analyzed to meet the kiln's needs and maintain a constant heat flow. The decision was made to implement specialized equipment for constant temperature measurement in the kiln chamber, ensuring that most of the raw bricks entering the kiln are products suitable for sale. The necessary equipment for natural gas use was also installed internally.

Keywords: cooking, productivity, heat.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	5
1. Planteamiento del Problema.....	6
1.1. Planteamiento Teórico.....	6
1.1.1. Descripción del problema.....	6
1.1.2. Árbol del problema.....	10
1.1.3. Enunciado del problema.....	10
1.1.4. Formulación del problema	11
1.1.5. Campo, área y línea.....	11
1.2. Objetivos.....	12
1.2.1. Objetivo general	12
1.2.2. Objetivos específicos.....	12
1.3. Justificación	12
1.3.1. Justificación práctica.....	12
1.3.2. Justificación económica	13
1.3.3. Justificación teórica.....	13

1.4. Hipótesis	13
1.4.1. Hipótesis general	13
1.4.2. Hipótesis específicas	14
1.5. Variables e Indicadores.....	14
1.5.1. Variable	14
1.5.2. Dimensiones e indicadores de las variables	15
1.5.3. Operacionalización de las variables de investigación	16
1.6. Técnicas, instrumentos y materiales.....	17
1.6.1. Técnicas.....	17
1.6.2. Instrumentos.....	17
1.6.3. Ubicación geográfica.....	18
1.6.4. Ubicación en el tiempo.....	18
1.7. Unidades de estudio.....	18
1.7.1. Unidad de análisis	18
1.7.2. Población.....	18
1.7.3. Procedimientos de muestreo.....	19
1.8. Estrategias para el recogimiento de la información.....	20
1.8.1. Método	20
1.8.2. Diseño, tipo y nivel de la investigación	21
1.8.3. Métodos para el análisis de la información.....	22
CAPÍTULO II	23

2. Marco Teórico.....	24
2.1. Antecedentes.....	24
2.1.1. Internacional.....	24
2.1.2. Nacional.....	26
2.1.3. Local.....	29
2.2. Marco teórico.....	30
2.2.1. Producción del ladrillo.....	30
2.2.2. Mejora de proceso.....	39
2.2.3. Productividad.....	40
2.2.4. Eficiencia.....	42
2.2.5. Eficacia.....	43
2.3. Marco conceptual.....	43
CAPÍTULO III.....	45
3. Análisis Situacional.....	46
3.1. Descripción de la industria.....	46
3.2. Planteamiento Metodológico.....	47
3.3. Mapa de procesos.....	50
3.4. Flujo del proceso de fabricación.....	51
3.4.1. Diagrama de flujo.....	51
3.4.2. Diagrama de bloques.....	52
3.4.3. Diagrama de entradas y salidas.....	53
3.4.4. Fundamentación del problema.....	56

3.4.5. Análisis de la productividad	63
CAPÍTULO IV	66
4. Propuesta de Mejora.....	67
4.1. Desarrollo de la propuesta de mejora	67
4.1.1. Calor requerido por el horno	68
4.1.2. Combustible requerido	73
4.2. Propuesta de mejora.....	76
4.2.1. Propuesta implementación Equipo especializado	76
4.2.2. Propuesta de Cambio de Combustible: Gas Natural	79
4.3. Mejora de la productividad.....	80
4.4. Mejora en las características físicas del ladrillo	82
4.5. Resultados.....	89
4.5.1. Cuadro comparativo.....	91
CAPÍTULO V	92
5. Evaluación Económica.....	93
CONCLUSIONES	103
RECOMENDACIONES	105
REFERENCIAS	107
ANEXOS.....	112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Matriz de operacionalización	16
Tabla 2 Frecuencia de las principales causas	59
Tabla 3 Correlación de causas raíces con las operaciones del proceso	61
Tabla 4 Mermas de los principales procesos críticos	61
Tabla 5 Producción total de ladrillos en la empresa de estudio	63
Tabla 6 Costos de producción del ladrillo King Kong por millar	64
Tabla 7 Materia prima empleada en la producción total de ladrillos 2023	65
Tabla 8 Tipos de combustibles para cocción de ladrillos.....	74
Tabla 9 Cuadro comparativo de características de los Tipos de Combustible	74
Tabla 10 Pronóstico de la productividad con la mejora del proceso de cocción.....	80
Tabla 11 Pronóstico de los costos de producción del ladrillo King Kong por millar	81
Tabla 12 Variación dimensional.....	83
Tabla 13 Variación dimensional con Mejora	84
Tabla 14 Alabeo	85
Tabla 15 Alabeo con mejora	86
Tabla 16 Resistencia a la compresión	87
Tabla 17 Resistencia a la compresión con Mejora	88
Tabla 18 Absorción	89
Tabla 19 Absorción con Mejora.....	89
Tabla 20 Cuadro Comparativo: Eficacia, Eficiencia, Productividad	91
Tabla 21 Cotización equipo especializado para horno.....	93
Tabla 22 Cotización Transporte Callao – Arequipa.....	95
Tabla 23 Cotización Instalación	95

Tabla 24 Cotización instalación interna para gas natural.....	96
Tabla 25 Costos de producción total Real.....	97
Tabla 26 Costos de producción total con la mejora	98
Tabla 27 Amortización De Préstamo	100



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Árbol del problema	10
Figura 2. Ladrillos de arcilla	31
Figura 3. Tipos de ladrillo	33
Figura 4. Proceso de producción del ladrillo cerámico	35
Figura 5. Proceso productivo del ladrillo	37
Figura 6. Flujo másico en el interior del horno	38
Figura 7. Factores que afectan la productividad.....	41
Figura 8. Empresas ladrilleras que dominan el mercado formal en 2019	47
Figura 9. Mapa de procesos de las empresas del sector ladrillero	50
Figura 10. Diagrama de flujo del proceso de fabricación del ladrillo.....	51
Figura 11. Diagrama de bloques del proceso de fabricación	52
Figura 12. Diagrama de entradas y salidas del proceso de fabricación.....	55
Figura 13. Diagrama de Ishikawa.....	58
Figura 14. Diagrama de Pareto.....	60
Figura 15. Pareto de las mermas en los procesos de cocción, secado y moldeado	62
Figura 16. Esquema del horno de cocción Hoffman.....	69
Figura 17. Equipo de quema de combustibles sólidos	77
Figura 18. Gasificador a Fueloil.....	77
Figura 19. Termocuplas.....	78
Figura 20. Medidor de temperatura.....	78
Figura 21. Cuadro eléctrico de control.....	79

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el desarrollo industrial está teniendo un impulso por el progreso en investigación tecnológica, innovación empresarial y modernización. Los estudios para implementarlas, permiten a las empresas identificar las áreas que requieren mejora y asimismo optimizar sus procesos; para que logren mantenerse rentables conforme pasa el tiempo, aumentar su eficiencia y competitividad en el mercado. Sin embargo, es un cambio paulatino para países no desarrollados.

La población empresarial está ampliamente predominada por las micro empresas, en el Perú el 91% de la estructura empresarial es dominada por las mypes, que el periodo del 2021 se llegó a registrar un total de 5.5 millones de empresas en todo el territorio peruano por lo cual se puede influir que las mypes son una fuerza de subsistencia de la economía peruana, sin embargo, es un rubro empresarial que presenta una crisis económica debido a diversos factores externos como son las políticas gubernamentales del estado peruano, la crisis sanitaria y las barreras tecnológicas. Los problemas externos sumados a deficiencias en los procesos internos conllevan a que afecten el nivel productivo y la rentabilidad en el mercado (COMEXPERU, 2021).

La mejora de los procesos son estrategias que han logrado identificar las deficiencias de los procesos productivos para apoyar el desarrollo de las empresas desde la micro hasta la gran empresa que están enfocadas en las cadenas de producción. Los entes gubernamentales como PRODUCE (Ministerio de la producción) fomentan y promueven la fortificación del volumen de producción y la gestión empresarial de las mypes con el fin de mejorar la productividad y convertirlas cada vez más en sociedades competitivas (Ministerio de producción, 2022).

Por ende, profundizar en temáticas investigativas que formulen estrategias innovadoras en base a modelos teóricos para el crecimiento evolutivo de las empresas mype representa una

oportunidad de desarrollo económico local y nacional. Los sectores industriales, como es el caso de las ladrilleras en la ciudad de Arequipa que mayormente tienen prácticas tradicionales, necesitan abrirse paso a las políticas de gestión productiva y organizacional que practican los países desarrollados, por ello, los modelos, metodologías y herramientas de mejora para los procesos productivos y una promoción e instauración de una cultura de calidad lograría tener mejores resultados en la cadena productiva, la rentabilidad y la estabilidad comercial del sector ladrillero en Arequipa.

La alta demanda en el sector de la construcción impulsa al sector ladrillero al crecimiento y modernización. En el Perú, uno de los principales sectores del crecimiento nacional es el sector de construcción. La alta demanda de ladrillos en el país es de miles de toneladas diarias, en Lima se destina más de 10 mil toneladas por día acaparando el 50% de la demanda cuyo restante se provee en otras regiones. Sin embargo, a pesar del alta de demanda, la industria ladrillera alberga limitaciones en los ámbitos de innovación, desarrollo y aseguramiento de la calidad que ha producido bajas en la rentabilidad y productividad (Cruz et al., 2020).

Hoy en día las ladrilleras para mantenerse competitivas en la industria deben de invertir en analizar adecuadamente sus procesos, en implementar nuevas tecnologías y maquinarias. La falta de estandarización y modernización en la industria ha traído consigo que diversas empresas del sector presenten problemas significativos en el proceso de producción que generan pérdidas de materiales y ladrillos calificados como no aptos para la venta, como el proceso de moldeo (proceso manual), secado (forma natural) y cocción (horno). De los cuales, el proceso de cocción trae consigo una mayor desventaja a la industria dado que en este proceso los productos defectuosos no pueden ser reprocesados.

La búsqueda por optimizar el proceso de cocción es uno de los mayores intereses de la industria ladrillera, debido a que permitirá disminuir ampliamente la pérdida de productos

defectuosos, al ser considerado el proceso con mayor falta de estandarización (Pineda y Torres, 2020), y de una falta de fuente de quema adecuada y de mal control (Ruiz y Ortecho, 2021).

La mejora en el proceso de cocción para las empresas ladrilleras significara mayor competitividad, mejora en la calidad de productos al realizar los procesos de producción de manera eficiente permitiendo reducir la pérdida de ladrillos, así mismo, reducción de costos en materiales y en combustibles que sean eficientes y les permita satisfacer la demanda de sus hornos de cocción para que sean rentables a largo plazo.

El presente estudio se enfoca en el análisis del proceso de cocción dentro de una empresa ladrillera ubicada en la ciudad de Arequipa, con el propósito de identificar oportunidades de mejora que permitan incrementar la productividad y reducir significativamente las pérdidas de producto terminado. A lo largo del proceso productivo, se ha identificado que la etapa de cocción representa el punto más crítico, ya que en ella se concentra la mayor cantidad de pérdidas. A diferencia de otras etapas como la extrusión o el secado, donde el material defectuoso puede ser reprocesado, en la cocción los ladrillos que resultan dañados se consideran inservibles, generando un impacto directo en los costos de producción y en la eficiencia general del sistema de producción.

Mediante el uso de herramientas metodológicas, se ha logrado determinar las principales causas de estas pérdidas, asociadas principalmente al descontrol en los parámetros térmicos, al uso ineficiente del combustible y a la falta de monitoreo especializado. En respuesta a ello, esta investigación propone mejoras orientadas a optimizar el requerimiento de calor, el control de temperatura y el consumo de combustible optimo, mediante la implementación de medidas de control térmico con equipos especializados y el uso complementario de un combustible de apoyo.

Finalmente, el estudio contempla un análisis de viabilidad económica, con el fin de determinar si la implementación de estas mejoras representa una solución sostenible y financieramente favorable para la empresa. En resumen, este trabajo busca contribuir con una

propuesta técnica y económicamente fundamentada para reducir las pérdidas de producto final, es decir, de los ladrillos aptos para venta y con ello mejorar la competitividad del proceso productivo en el sector ladrillero.





CAPÍTULO I

1. Planteamiento del Problema

1.1. Planteamiento Teórico

1.1.1. Descripción del problema

Los sectores productivos en diversas partes del mundo constantemente se encuentran atravesando por cambios debido a la dinámica comercial y los avances tecnológicos que trae la nueva era de globalización; esto produce una aceleración del comercio y la producción (Feinsilber, 2021; Coppelli, 2018). El mismo escenario se presenta en el sector productivo ladrillero, que tan solo en América Latina se cuenta con un aproximado de 45 mil productores cuyas actividades productivas generalmente son realizadas por métodos artesanales con limitaciones e insuficiencias (Bahena et al., 2019). La asociación de problemáticas en los procesos de producción refleja una deficiencia en la gestión de los mismos que genera bajos indicadores de desempeño productivo.

Las sociedades comerciales de diferentes rubros han sufrido deficiencias en la gestión de recursos, método de trabajo, estandarización y entre otros aspectos que han descuidado el alcance de los objetivos productivos y organizacionales (Torres et al., 2019).

Ahora bien, en la industria ladrillera se han presentado cambios por efecto de la modernización y globalización, esto genera la necesidad de nuevos enfoques que mantengan la industria competente a través de tiempo. Una gran parte la industria ladrillera alberga limitaciones en los ámbitos de innovación, desarrollo y aseguramiento de la calidad que ha producido bajas en la rentabilidad y productividad (Cruz et al., 2020). Es por ello que este sector requiere de un impulso metodológico para optimizar diversas operaciones que vienen realizando desde hace décadas las mismas actividades siendo limitadas por sus propias deficiencias organizacionales y otros factores externos.

En el Perú, uno de los principales sectores del crecimiento nacional es el sector de construcción que en el 2021 tuvo una elevada variación porcentual de producción, este sector aportó con más del 5% al índice nacional de producción (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2022). El consumo diario de ladrillos en el país es de miles de toneladas diarias, tan solo en Lima se destina más de 10 mil toneladas por día acaparando el 50% de la demanda cuyo restante se provee en las regiones de Arequipa, Cusco, Chiclayo, Trujillo y Tacna; el escenario empresarial de la industria posee un índice de formalidad del 20% (Gestión, 2022).

La empresa de estudio es una entidad local del distrito de Cerro Colorado del departamento de Arequipa que reporta problemas en la productividad de su proceso productivo puesto que posee una capacidad actual de 200 toneladas en promedio por mes entre su línea de ladrillos, sin embargo, el personal advierte que existen procesos que producen pérdidas de materiales como el proceso de moldeo (proceso manual), secado (forma natural) y cocción (horno), de los cuales, el proceso de cocción en un horno produce un 80% de ladrillos calificados como aptos para la venta. Diversas empresas del sector han presentado problemas significativos similares por productos defectuosos como efecto una falta de estandarización en la cocción (Pineda y Torres, 2020), así mismo por no controlar adecuadamente la fuente de quema (Ruiz y Ortecho, 2021), y ocasionando reprocesamiento por productos defectuosos (Martinez y Calambas, 2020). Los métodos tradicionales no poseen la capacidad para satisfacer el mercado actual, generando la necesidad de nuevos métodos de optimización para incrementar la capacidad y el rendimiento.

El personal indica que en los procesos que originan pérdidas en el área de producción son ocasionados por deficiencias de las maquinarias y del horno, las cuales podrían ser el resultado de la falta de un plan de mantenimiento regular o de las actividades realizadas en el proceso artesanal, estas deficiencias producen que se realice el reprocesamiento de materia prima en el proceso de

formado y secado, sin embargo, al reproducirse en el proceso de cocción da pase a una pérdida de ingresos por los productos de segunda, dado que estos no pueden ser reprocesados.

Desencadenando a la empresa atrasos en la entrega de productos debido a la demanda de sus clientes, incrementos en los costos de producción, y hasta podría posicionar a la empresa dentro de la industria como incompetente o con baja eficiencia.

Por tal motivo, la investigación se plantea como propósito principal analizar y diseñar una propuesta del proceso de cocción que resuelva los problemas críticos que limitan la productividad de su proceso de manufactura, mediante la integración y formación de la ingeniería de procesos.

Se planteó realizar la investigación de tipo aplicada, debido a que será desarrollada en una situación real con datos reales y veraces para resolver los problemas de baja productividad y deficiencias del sistema productivo en la ladrillera. La investigación será de nivel descriptiva, dado que se analizará los datos de las variables mediante estudios, se describirá la situación actual y se propondrá una mejora planteando soluciones para los puntos críticos y medidas de control. Se examinará la información obtenida de la ladrillera, es decir, los datos actuales y reales de sus operaciones productivas a través del método de la estadística descriptiva, por medio de cuadros y gráficos de Excel, resumiendo el diagnóstico situacional.

Se analiza la situación actual de la empresa para identificar la causa que genera pérdidas de materia prima a través de las técnicas de observación y análisis documental, por lo cual se visitará la planta de producción y se tomarán apuntes del proceso de producción con distintos lotes, la información se recaudará en fichas de observación. Una vez identificado el proceso que genera las pérdidas, se buscará analizar cómo sería posible reducir las pérdidas y que modificaciones requiere el horno para mejorar el método de cocción actual. Para ello se requerirá analizar el proceso y solicitar información a la empresa ladrillera sobre los puntos indispensables en este proceso como el tipo de horno, el consumo de energía, rendimiento, combustible empleado, entre otros.

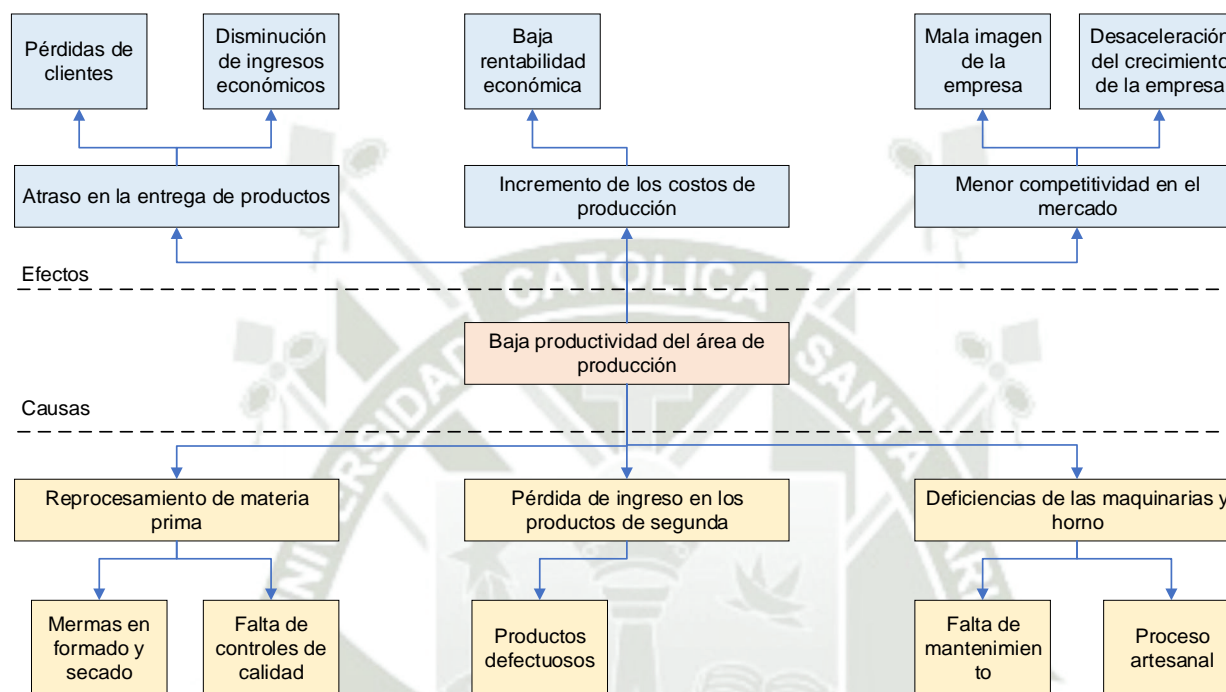
Así mismo, a través del análisis de datos de las fichas de observación se calculará la productividad de la materia prima, eficacia y eficiencia actual en el proceso de cocción para que posteriormente sean comparados con los resultados proyectados de darse la implementación de la propuesta que se sugiera. Se realizará el horneado con los cambios sugeridos a una muestra de 10 ladrillos de acuerdo a la Norma Técnica Peruana E.070 de Albañilería, para realizar ensayos e identificar su calidad y rendimiento, para asegurar el cumplimiento de las regulaciones de la industria o caso contrario identificar los defectos.

Finalmente se describirá la propuesta de mejora. Así mismo emplea un método hipotético-deductivo puesto que a raíz de la información estudiada se definirá si la propuesta determinada cumple con la hipótesis planteada. Diseñando soluciones para los puntos críticos y medidas de control, se analizará el supuesto de implementarla logrando obtener nuevos datos, los cuales serán utilizados para calcular los puntos mencionados anteriormente y se comparara con los reales para analizar si la propuesta es viable.

1.1.2. Árbol del problema

Figura 1.

Árbol del problema



Nota. Adaptado de “Líneas directrices Gestión del Ciclo del Proyecto”, por (Comisión Europea, 2024)

1.1.3. Enunciado del problema

Análisis y propuesta de mejora en el proceso de producción de ladrillos para incrementar la productividad y reducir costos en una empresa ladrillera.

1.1.4. Formulación del problema

1.1.4.1. Problema general

¿Cómo mejorar el proceso de cocción de ladrillos a fin de incrementar la productividad de una empresa ladrillera?

1.1.4.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es el estado situacional del proceso de cocción ladrillos que afecta la productividad de una empresa ladrillera?
- ¿Cómo se desarrollará el diseño de una propuesta de mejora para el proceso de cocción en la producción de ladrillos que logre incrementar la productividad de una empresa ladrillera?
- ¿Cuál es el costo beneficio de la propuesta de mejora en el proceso de cocción de la producción de ladrillos para incrementar la productividad de una empresa ladrillera?

1.1.5. Campo, área y línea

1.1.5.1. Campo

Producción

1.1.5.2. Área

Propuesta de mejora

1.1.5.3. Línea

Productividad

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Desarrollar un análisis y propuesta de mejora en el proceso de cocción de ladrillos a fin de incrementar la productividad de una empresa ladrillera.

1.2.2. Objetivos específicos

- Efectuar un análisis situacional de las pérdidas de materia en el proceso de producción de ladrillos que afecta la productividad de una empresa ladrillera.
- Diseñar una propuesta de mejora e indicadores de control y seguimiento para el proceso de cocción de ladrillos que logre incrementar la productividad de una empresa ladrillera.
- Evaluar el ratio beneficio costo de la propuesta de mejora para el proceso de cocción de ladrillos enfocada en el incremento de la productividad de una empresa ladrillera.

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación práctica

La investigación desarrollará una propuesta en el proceso productivo para un escenario real dentro de la producción del ladrillo, estas propuestas se basarán en función a datos históricos mediante la ejecución de herramientas de la ingeniería para determinar las causas del problema identificado en la productividad de la producción analizando que herramientas prácticas de la ingeniería sirven adecuadamente para brindar una solución que logre

incrementar el indicador de productividad de una ladrillera mecanizada de la ciudad de Arequipa.

1.3.2. Justificación económica

El diseño de la propuesta tendrá un enfoque de evaluación económica que analizará los beneficios y costos económicos que pudiera producir su posible implementación. La propuesta de mejora se formulará con el propósito de acrecentar el indicador de productividad en las empresas ladrilleras de producción mecanizada, este efecto repercutirá en los indicadores de rentabilidad al mejorar la cadena productiva mediante el diseño de métodos para la mejora, dando como resultado excelentes beneficios económicos para la empresa, la industria y el mercado.

1.3.3. Justificación teórica

El estudio empleará modelos teóricos de propuestas de diseños y mejora en el proceso productivo, herramientas de diagnóstico de los problemas y factores críticos para la propuesta en función a modelos cuantitativos. La investigación busca solucionar las brechas e insuficiencias de la empresa mediante la aplicación y desarrollo de propuestas de diseño que aplican conocimientos existentes argumentados en teorías y enfoques de ingeniería.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Es probable que al desarrollar un análisis y propuesta de mejora en el proceso de cocción de ladrillos incremente la productividad de una empresa ladrillera.

1.4.2. Hipótesis específicas

- Es probable que al efectuar un análisis situacional revele pérdidas de materia en el proceso de producción de ladrillos que afecta la productividad de una empresa ladrillera.
- Es probable que al diseñar una propuesta de mejora e indicadores de control y seguimiento para el proceso de cocción de ladrillos se logre incrementar la productividad de una empresa ladrillera.
- Es probable que la propuesta de mejora para el proceso de cocción de ladrillos enfocada en incrementar la productividad de una empresa ladrillera presente un ratio beneficio costo positivo.

1.5. Variables e Indicadores

1.5.1. Variable

- **Independiente: Propuesta de mejora**

Es un plan de mejoras organizadas previamente por la detección de deficiencias o dificultades las cuales formulan soluciones estratégicas con el objetivo de rediseñar los puntos o procesos críticos para el correcto funcionamiento de un proceso (Becerra et al., 2020).

- **Dependiente: Productividad**

Es la medición sobre el uso de los recursos para la producción tanto de productos como de servicios, es también determinada como la eficiencia y eficacia de la producción puesto que evalúa la cantidad producida sobre el uso de los recursos disponibles (Ramírez et al., 2022).

1.5.2. Dimensiones e indicadores de las variables

- **Variable independiente**

- a) Identificación del proceso crítico
 - Pérdidas de materia prima.
- b) Propuesta de diseño para el proceso crítico
 - Método de cocción.

- **Variable dependiente**

Las variables dependientes permiten analizar la gestión de recursos y la obtención de objetivos.

- c) Productividad de materia prima: Relación entre la producción y los insumos empleados.

$$PMP = \frac{\text{producción (ladrillos)}}{\text{insumos (ton)}}$$

- d) Eficacia: Capacidad de lograr los resultados deseados.

$$E1 = \frac{\text{materia prima (ton)}}{\text{producción (ton)}}$$

- e) Eficiencia: Optimización del uso de los recursos para alcanzar los resultados deseados.

$$E2 = \frac{\text{Costos de producción (S/)}}{\text{Costo unidad de venta (S/)}}$$

1.5.3. Operacionalización de las variables de investigación

Tabla 1

Matriz de operacionalización

Variable	Dimensión	Indicador	Técnica	Instrumento
Variable independiente:	Identificación del proceso crítico	Perdidas de materia prima (ton)	Observación Análisis documentario	Fichas de observación
Propuesta de mejora	Propuesta de diseño para el proceso crítico	Propuesta de método de cocción - Tipo de horno - Energía de consumo (Kcal) - Rendimiento (%) - Combustible óptimo - Equipos adicionales	Observación documental	Análisis de contenido
Variable dependiente:	Productividad MP	$PMP = \frac{\text{producción (ton)}}{\text{insumos (ton)}}$	Observación	Fichas de observación
Productividad	Eficacia	$\text{Eficacia} = \frac{\text{Ladrillos producidos (unid)}}{\text{Ladrillos planificados (unid)}}$		
	Eficiencia	$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Costos de producción (S/)}}{\text{Costo unidad de venta (S/)}}$		

1.6. Técnicas, instrumentos y materiales

1.6.1. Técnicas

Las técnicas nos permitirán recabar datos para la formulación y diseño de la propuesta que tienen como paso preliminar un análisis situación en el que se emplearan las siguientes técnicas de investigación.

- Observación: Se analizará las etapas operacionales que conforman el ciclo productivo de la elaboración de ladrillos en una ladrillera mecanizada de la ciudad de Arequipa durante diversos lotes productivos para evaluar los procesos críticos que producen pérdidas de materias, es decir, mermas que relaciona con la productividad del proceso.
- Revisión documental: Se realizará una revisión de los datos históricos de bienes producidos, ventas, insumos empleados, la organización de los procesos para la producción del ladrillo en una ladrillera mecanizada de la ciudad de Arequipa.

1.6.2. Instrumentos

Los instrumentos son la herramienta cuantitativa para la recolección de la data que formulara el estado situacional de la industria ladrillera y el proceso de producción.

- Fichas de cogida de información: Mediante la observación y estudio documental se tomará los datos para determinar los puntos críticos y la situación inicial de la productividad. Las fichas evaluarán de manera cuantitativa el estado de producción a través de los indicadores definidos en la operacionalización de las variables: la eficiencia y eficacia. Campo de verificación.

1.6.3. Ubicación geográfica

La propuesta de mejora fue diseñada para una empresa ladrillera de la ciudad de Arequipa, dicha empresa se encuentra legalmente registrada en el distrito de Cerro Colorado.

1.6.4. Ubicación en el tiempo

El proyecto se desempeñó en un determinado periodo mensual que abarque el desarrollo del proyecto de tesis y la presentación final del mismo, en el que se realizará la recopilación de datos para la formulación de propuestas. El periodo anual corresponde a un estudio entre el 2023 y 2024 donde se mantendrá comunicación y apoyo de la empresa del estudio.

1.7. Unidades de estudio

1.7.1. Unidad de análisis

La unidad de análisis es el proceso operativo productivo del ladrillo. Se desarrollará la investigación en la industria ladrillera, especialmente en una empresa de producción mecanizada de donde se tomará como objeto de estudio las capacidades de producción mensuales para identificar las pérdidas de materiales en los procesos.

1.7.2. Población

La población es la que conforma las empresas de producción mecanizada de ladrillos, los operarios que integran los procesos, los materiales e insumos que componen el proceso productivo

1.7.3. Procedimientos de muestreo

Se procedió llevar a cabo un muestreo no probabilístico por conveniencia siguiendo la Norma Técnica Peruana ITINTEC 331.017. Esta norma establece el procedimiento para el muestreo y recepción de ladrillos de arcilla utilizados en actividades de albañilería y actividades relacionadas. Según esta norma, para lotes de producción de 50,000 unidades o menos, se debe realizar una secuencia de ensayos denominada "A"; mientras que para lotes que excedan las 50,000 unidades, se deben realizar los ensayos de la secuencia "A" y además la secuencia "B" por cada grupo adicional de 100,000 ladrillos o fracción.

Siguiendo la Norma técnica peruana NTP 399.613:2017 “Unidades de albañilería. Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería”. establece que, para ensayos de propiedades físicas y mecánicas del ladrillo, como la resistencia a la compresión, absorción, alabeo, rotura y resistencia a la abrasión se deben ensayar al menos 10 unidades representativas cuando el lote es de hasta 1 000 000 de ladrillos. Para lotes mayores, se deben añadir cinco unidades adicionales por cada 500 000 ladrillos adicionales. (Instituto Nacional de Calidad – INACAL, 2017)

Aunque esta norma se refiere específicamente a ladrillos de arcilla, también sirve como referencia para procedimientos similares en ladrillos tipo King Kong, ya que la metodología de muestreo y cantidad mínima tiende a ser equivalente o ajustada en otras normas aplicables, como la NTP 399.604, que se utiliza en algunos estudios sobre King Kong hechos en el Perú.

En este sentido, al tratarse de un lote de producción que consta de un promedio de 185,378 unidades, lo cual es mayor que 50,000; por lo tanto, se optó por una muestra de 10 ladrillos que comparten dimensiones y condiciones de fabricación similares. Esta decisión se

basó en los requisitos de la norma, que especifica la cantidad de muestras necesarias para cada tipo de ensayo:

- Para el ensayo de alabeo, se requieren 10 unidades de muestra.
- Para el ensayo de resistencia a la compresión, se necesitan 5 unidades de muestra.
- Para el ensayo de densidad, se precisan 5 unidades de muestra.
- Para el ensayo de módulo de rotura, se necesitan 5 unidades de muestra.
- Para los ensayos de absorción y absorción máxima, succión y eflorescencia, se requieren 5, 5, 5 y 10 unidades de muestra respectivamente.

Esta muestra de 10 ladrillos se seleccionó para satisfacer los requisitos de la norma en cuanto a la cantidad de muestras necesarias para cada tipo de ensayo especificado.

1.8. Estrategias para el recogimiento de la información

1.8.1. Método

De acuerdo a las características del planteamiento del estudio, el método definido es el cuantitativo, puesto que describe y evalúa cuantitativamente las características de las variables estudiadas (Bernal, 2010). En este caso se plantea como eje incrementar la productividad por ende se aplicará modelos cuantitativos matemáticos para la expresión de esta variable en función a la propuesta del estudio. Así mismo emplea un método hipotético-deductivo puesto que a raíz de la información estudiada se definirá sí la propuesta determinada cumple con la hipótesis planteada.

1.8.2. Diseño, tipo y nivel de la investigación

1.8.2.1. Diseño

El proyecto investigativo se desarrollará de acuerdo a un diseño no experimental, en dichas investigaciones los datos no son afectados por la alteración intencional del investigador, el único ejercicio es el seguimiento y descripción de los caracteres de las variables. (Hernández y Mendoza, 2018). La investigación desarrollará una propuesta en base a un análisis que solo empleará instrumentos de información y dicha propuesta no será de forma implementada por lo que los resultados serán simulados mediante análisis descriptivo.

1.8.2.2. Tipo

Se determina un estudio de tipo aplicada debido a que se desarrollará en una situación real en una empresa ladrillera en Arequipa resolviendo los problemas de baja productividad y deficiencias del sistema productivo. Los datos recolectados fueron veraces y reales presentados con objetividad para generar un cambio. Una investigación aplicada utiliza métodos de confianza para resolver problemas reales (Del Cid et al., 2007).

1.8.2.3. Nivel

La investigación será descriptiva por ende solo determinará las variables en sus atributos definidos mediante la operacionalización. Se describirá la propuesta de mejora planteando soluciones para los puntos críticos y medidas de control. Un estudio descriptivo indaga las características de la muestra definida mediante estudios en un determinado tiempo (Hernández y Mendoza, 2018).

1.8.3. Métodos para el análisis de la información

En la investigación recurrió a la estadística descriptiva para describir y presentar hallazgos por medio de cuadros y gráficos resumen que caracterizaron las variables e indicadores. Estos gráficos y tablas resumieron el diagnóstico situacional de la empresa ladrillera sobre sus operaciones productivas, mientras se analizará los puntos críticos situaciones que den origen a la formulación de la propuesta.

Las herramientas que se utilizaron son el programa Microsoft Excel para el estudio y síntesis de datos, así como de otros programas de presentación de gráficos visuales. La observación recolectará datos de forma manual para luego ser procesados en un computador que presentará en un informe la investigación.



CAPÍTULO II

2. Marco Teórico

2.1. Antecedentes

2.1.1. Internacional

Aponzá y Angola (2022) idearon un proyecto que tenía el propósito de formular un modelo que propondría estándares para el ciclo productivo de ladrillos en una ladrillera de Calí que se encontraba en el sector artesanal. Los investigadores definieron su proyecto dentro del estudio aplicado y descriptivo situándose dentro de las investigaciones de propuesta de solución previo diagnóstico. La evaluación de la cadena productiva llegó a determinar que se perdía un tercio de su capacidad es decir 60,000 ladrillos-mes de un total de 90,000 ladrillos-mes como nivel instalado de producción. Para definir la estandarización realizaron un manual de procesos de acuerdo a normativa internacional, que dentro de ello optimizaron la distribución ahorrando un espacio de 35 metros estimando una reducción de 6.5 días en el ciclo operativo del ladrillo.

Lara (2021) desarrollo un estudio experimental para determinar los factores importantes que integran el proceso de cocción, integro el cálculo energético para cambiar el proceso artesanal de ladrillos. El problema base a resolver fue la presencia de mermas en los materiales, el desgaste del combustible y el rendimiento del horno, por lo que el ladrillo presentaba una baja calidad de producto. El autor llego a establecer cuáles eran los factores adecuados de temperatura para la producción de una línea homogénea de ladrillos.

Pérez y Cañas (2020) realizaron un estudio que tenía como objetivo realizan un diagnóstico preliminar del sistema productivo del ladrillo de una empresa colombiana y posteriormente proponer un plan de mejoras que influya en la reducción de productos defectuosos e incrementar la eficiencia mediante herramientas de ingeniería. La investigación era de tipo investigativo y de propósito puesto que identificó los cuellos de botella del proceso

mediante análisis de fallos y efecto. La aplicación de herramientas de diagnóstico como diagramas de flujo, costos y balance de materia identifico las fases productivas. En las situaciones de mejora propusieron la elaboración de un plan preventivo de acciones de mantenimiento que incrementaría la eficiencia hasta un 86% y un ahorro los costos de producción de productos defectuosos del 69%, la recuperación de ladrillo alcanzaría las 2 mil unidades mensuales. En conclusión, la propuesta representaría cambios significativos en la obtención de mejores resultados de productividad y a reducción de las unidades defectuosas.

Hernández y Martínez (2018) presentaron una investigación que aspiraba a formular mejoras para el sistema productivo en una empresa ladrillera colombiana a través del análisis de la cadena de valor con el fin de elevar la productividad. Se definió que el estudio sería de carácter descriptivo y de tipo aplicada, empleó el método inductivo puesto que determino mediante la percepción las condiciones laborales de producción. Los resultados determinaron desperdicio sean recursos, tiempos y materia prima: 4 unidades de defectuosos por día, las paradas dejaban un saldo de producción de 40 unidades por minuto y un 23% de tiempo de ocio en molienda, movilización, almacenamiento y extracción. La propuesta consistió en la formulación aplicativa de las 5s y el AMEF que permitió formular mejores resultados cuantitativos y cualitativos, así mismo desarrollar un mapa de valor que propuso reducir las 70 horas empleadas a un total de 68 horas, el nuevo proceso trabajaría a un ritmo del 90% total de su capacidad. El plan de mejoramiento presentó normas y descripción de actividades para cada proceso que estandarice el producto y proceso, dentro de ello se planteó la integración de una nueva máquina que transporta el ladrillo entre unidades evitando la manipulación y generando modificaciones. El estudio llego a la conclusión que los planes de mejora obtendrán una mejor ruta de producción que presentaría resultados de tiempos, métodos e indicadores.

Astudillo et al. (2022), en un estudio afín a una evaluación y propuesta de mejora de la eficiencia energética de un horno de cocción para ladrillos y tejas debido a que las circunstancias iniciales del horno presentaban una eficiencia energética del 9% que producían desperdicios en la manufactura en un rango de 15% a 20%. El modelo fue esquematizado en un software que planteaba integrar una tapa semiesférica al horno de cocción que tenía como propósito minimizar la reducción del flujo energético y estaba equipado con materiales de alta capacidad de resistencia a la energía térmica y corrosión. La propuesta logró estimar que la eficiencia lograría incrementarse en un 7.6% y su evaluación económica alcanzaba un costo de 4.3 mil USD cuya modificación y aplicación alcanzaría a igualar a hornos similares en el mercado de 20 mil USD por tanto la propuesta era viable en el plano económico.

2.1.2. Nacional

Pineda y Torres (2020) presentaron una investigación cuyo propósito fundamental fue realizar un diseño de propuesta de mejora previo a una observación analítica y una evaluación de la cadena productiva del ladrillo de una empresa situada en Tacna. En la metodología, los autores definieron el estudio como exploratorio de tipo descriptivo y nivel perceptual, teniendo como población a 88 colaboradores de los cuales 68 formaron parte de la muestra a quienes se aplicó cuestionarios para la obtención de datos. Las herramientas de propuesta empleadas fueron la definición de los estándares en el proceso de cocción de producción, se desarrolló un planeamiento de la producción que evitaría problemas en la variación de los diferentes tipos de líneas productivas, así mismo se planificó un programa de capacitación sobre procesos de trabajo en el personal obrero el cual sería evaluado mediante encuestas y cuyo objetivo era optimizar el índice de productividad y la motivación en el recurso humano. Como resultado,

los autores determinaron que la propuesta contribuye en la reducción de las unidades defectuosas de forma directa e indirecta.

Guerrero (2020) se enfocó en desarrollar un estudio con el propósito de mejorar la productividad en una empresa ladrillera en Chiclayo diseñando un sistema mecanizado de cocción para el proceso de producción del ladrillo. Su producción tenía un desperdicio del 24% en donde el 69% era correspondiente al proceso de cocción que le generaba pérdidas por desperdicios. Su diseño fue modelar el consumo calórico, energético y modelo de ventilación y combustión para la cocción. Como resultado final sus indicadores de productividad mejoraron hasta un 95%. En su evaluación económica tuvo un beneficio de 1.48 soles por cada sol invertido.

Vigil y Quispe (2021) presentaron una investigación que se desarrollaba con el ideal de plantear mejoras en la cadena de valor productiva de la empresa Mochica y Agregados ubicada en Chiclayo, con el fin de reducir las pérdidas puesto que presentaba bajas en los resultados de productividad e indicadores de rentabilidad. El estudio tuvo un enfoque cuantitativo y fue de tipo aplicada; el previo análisis del estado productivo detalló que el proceso de valor presentaba pérdidas en los insumos por una falta de estandarización en las mezclas, en total se perdía hasta el 30% de la materia por año. La propuesta planteó la implementación de estándares para la cadena de valor, la adición de equipos que agilice el proceso y aplicación de las 5s. El costo beneficio de su propuesta arrojó una ganancia de 6.94 soles de cada sol invertido, estimando su periodo de recuperación en 6 meses. En conclusión, el proyecto sí pudo plantear la reducción de los desperdicios y generar mejores indicadores.

Sousa (2020) desarrolló un estudio que se planteó como meta principal definir mejoras para la cadena productiva de una empresa ladrillera de Chiclayo para incrementar la rentabilidad. El autor determinó la metodología de su estudio dentro de un diseño no

experimental, enfoque cuantitativo y nivel descriptivo. Los análisis del proceso mostro que existen perdidas en los recursos de su cadena de valor así mismo se presenta mermas en la materia prima y las maquinas del proceso productivo carecen de un mantenimiento preventivo. Las herramientas propuestas en el plan de mejora fueron el lean manufacturing, aplicación de kaizen y VSM, aplicación de mantenimiento. El valor económico estimado que se le atribuyó a la propuesta fue de un total de 55 mil soles y que su impacto generaría un beneficio de 0.68 soles por cada sol invertido. Es decir que se podría mejorar la rentabilidad e incluso alcanzar mejores beneficios productivos.

Crisanto (2022) en su estudio referente a estudio y diseños de métodos de mejora sobre el área operativa de una empresa ladrillera en Piura planteó como propósito plantear propuestas en los procesos operativos. El procedimiento realizado partió de una evaluación inicial de las operaciones de producción de la empresa cuyos datos fueron recogidos por entrevistas. Entre las oportunidades a mejorar encontradas fueron: desplazamiento innecesario, falta de mantenimiento, equipos innecesarios en áreas de trabajo, mermas de producción, falta de distribución del área y falta de capacitación. El desarrollo de propuestas empezó definiendo 8 puntos de control para mejorar la trazabilidad de los resultados, se diseñó un programa de input y output para el almacén, se formuló 7 indicadores de gestión para los procesos y aplicación de las 5s. El gasto total calculado ascendió a S/86 mil soles cuya comparativa con el ahorro (S/ 2.01 mil millones de soles) deja un saldo de S/1.937 millones de soles anuales debido a que se plantea reducir la merma en un 5%, incrementar la producción por día de 249 a 270 y minimizar la merma de cocción en un 2%. En conclusión, la propuesta es efectiva puesto que ayudó a minimizar actividades sin valor y mermas que incrementaron la producción.

2.1.3. Local

En el ámbito local, el desarrollo de antecedentes referentes a mejoras en el proceso productivo de ladrilleras en Arequipa se ha encontrado las siguientes investigaciones:

Núñez y Peralta (2020) presentaron un estudio cuya finalidad era modelar y estudiar una sugerencia que mejoraría la secuencia productiva de ladrillos en una planta de la ciudad de Arequipa, la mejora se basó en la redistribución de la planta y tuvo como finalidad incrementar la eficiencia y productividad del ciclo productivo. Los problemas encontrados se relacionaban con deficiencias en el aprovechamiento del espacio, tiempos productivos y la capacidad productiva; el estudio empleó el SPL, herramientas de diagnóstico y el análisis de factores que permitió a los investigadores formular dos posibles alternativas de solución de las cuales se eligió la que tenía mayor viabilidad y rentabilidad. Como resultados, el nivel de producción lograría un incremento del 4% por periodo anual, en ello se evaluó una reducción del proceso productivo en un 77%. En conclusión, la propuesta logró eliminar aquellos procesos que no otorgan valor al producto y logró mejorar índices de productividad.

Del Carpio (2017) en un estudio afín al área productiva de la empresa Ladrillera Continental se determinó como propósito plantear una propuesta que optimizara el flujo productivo con el objetivo de elevar las ventas, por lo que aplicó encuesta, fichas de observación y entrevista para determinar las características operacionales de trabajo. La empresa no poseía la capacidad de abastecer su demanda lo que perdía un 3% de ventas debido a que la capacidad se encontraba en un 45%, entre las diligencias formuladas se definió integrar un horno tipo túnel que incrementaba el 125% de la producción y a 119% de las ventas puesto que la capacidad estaría alcanzando las 1920 toneladas mes, la propuesta alcanzó el valor económico VAN de S/ 3,5 millones y TIR de 40%.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Producción del ladrillo

2.2.1.1. Ladrillo

Es un material empleado en el rubro de construcción de gran popularidad, beneficio económico por costos bajos y de fácil manipulación compuesto principalmente por arcilla que pasa por un proceso de alteración física y química controlada en rangos determinados para no fluctuar y afectar las características de durabilidad y resistencia del material (Ramakrishnan et al., 2023).

Los ladrillos pueden conformar elementos estructurales y no estructurales en la construcción y existen amplia variedad de materiales que puede servir de materia prima para la producción del ladrillo, el proceso integra la combustión de materiales que tienen una resonancia en el medio ambiente (Zultiniar et al., 2018)

El color característico del ladrillo de rojo o anaranjado depende de la temperatura de cocción la cuál varía desde los 900°C hasta los 1200°C cual densidad característica es de 2 mg/m³ para productos a base de arcilla (Ramos & López, 2019).

De acuerdo a Manzano (2018), el ladrillo es una pieza de construcción perteneciente a los cerámicos que pueden ser perforados, macizos y huecos de forma paralelepípedo elaborada con arcilla mezclada con diferentes aditivos comprimida y quemada.

Figura 2.

Ladrillos de arcilla



Nota. Flores et al. (2019)

2.2.1.2. Características y propiedades

Moro (2023) plantea que de acuerdo a los materiales empleados en la producción de un ladrillo se puede obtener una variedad de tonalidades, las cuales son:

- Roja: Color característico cuando predomina en su composición el óxido de hierro y alto flujo de oxígeno en el proceso de cocción.
- Amarilla: Color característico por un bajo contenido de hierro y alto contenido de marga.
- Rojo oscuro: Color característico efecto de un bajo flujo de oxígeno en el proceso de cocción.

Así mismo, el ladrillo empleado en la construcción puede adquirir diversas funciones específicas como:

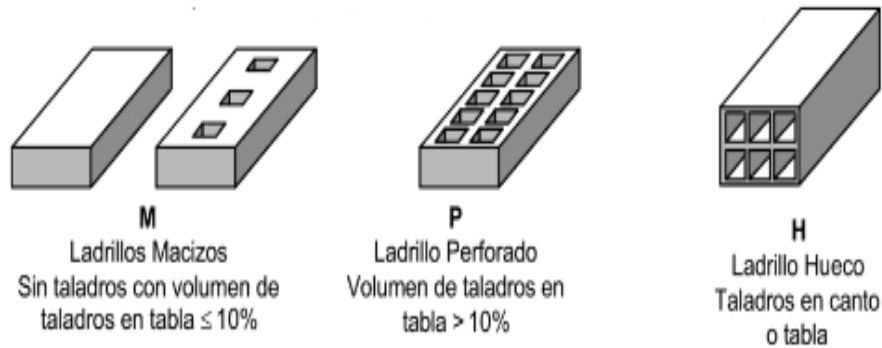
- Resistencia a la compresión

- Aislante térmico
- Aislante acústico
- Protección contra incendios
- Resistencia a bajas temperaturas
- Protección contra la penetración de agua
- Entre otros.

2.2.1.3. Tipos de ladrillos

Según Manzano García (2018) los ladrillos se pueden clasificar de acuerdo a su configuración, presentando los siguientes tipos:

- Ladrillos macizos: Unidades que no contienen perforaciones que modifican la estructura del ladrillo atravesándolo de manera perpendicular. Es tipo de ladrillos es de forma rectangular de masa compacta cuyas dimensiones varía de acuerdo a país o región donde se encuentra.
- Ladrillos perforados: Unidades que contienen perforaciones paralelas a cualquiera de las aristas del ladrillo, el volumen de las perforaciones representa más del 25% del ladrillo y menos del 45%.
- Ladrillos huecos: Unidades que contienen perforaciones paralelas a una de las aristas del ladrillo cuyo volumen hueco representa entre el 45% al 70% del ladrillo. Dentro de los ladrillos huecos se encuentra otro tipo de clasificación de acuerdo a su tamaño, longitud, grosor y utilidad.

Figura 3.*Tipos de ladrillo*

Nota. Fernández (2010)

Adicional a esta clasificación García (2018) menciona que existen otros tipos de ladrillo de acuerdo a su uso, los cuales son:

- Ladrillo caravista: Producto diseñado para aplicarse sin recubrimiento colocado tanto como exteriores como para interiores, su principal función es la estética sin embargo tienen alta resistencia y es bueno como material aislante acústico y térmico.
- Ladrillo refractario: Producto característico por su resistencia a altas temperaturas empleado comúnmente en hornos y chimeneas. Destaca entre sus características la baja conducción térmica y textura lisa.
- Ladrillo de tejar: Producto empleado para la rehabilitación de edificios antiguos puesto que imita a los ladrillos artesanales en su apariencia teniendo una cara rugosa y tosca, empleado para fines ornamentales.

2.2.1.4. Proceso de producción

Es el cúmulo de actividades operativas secuenciales que gran parte de ellas generan valor transformando insumos en productos finales. Este bien final tiene un alto potencial de cumplir con las necesidades del cliente las cuales se plasman en atributos que fueron adicionados al producto mediante la cadena de valor del proceso productivo. Un proceso productivo parte de la planificación y programación de actividades preliminares para la producción sucesiva y secuencial de productos. En dicho proceso se emplean otros recursos como el tecnológico, humano y económico, y en la actualidad se ha integrado el concepto de calidad que son requerimientos para el cumplimiento de estándares (Zaldivar et al., 2022).

La producción de ladrillos parte de la elección de la materia prima base puesto que existe una diversidad de insumos para la producción del ladrillo. En la preferencia de los insumos y la elaboración de ladrillos convencionales se emplea frecuentemente la arcilla puesto que este material tiene como característica la absorción de agua hasta un 70%, al mezclarse con el agua el producto se transforma en una masa de alta plasticidad lo cual es ideal para el moldeado del ladrillo. Una vez obtenida la forma final del ladrillo, este no debe ser manipulado y debe pasar por un periodo de secado protegido de elementos externos como la lluvia. En la etapa del endurecimiento, se puede optar por dos métodos tradicionales, la cocción y el secado que le atribuyen su calidad sólida en donde la masa pierde un total de masa hasta el 15% (Del Puerto y Riveros, 2021).

Figura 4.

Proceso de producción del ladrillo cerámico



Nota. Karmaoui et al. (2022)

De acuerdo Lara (2021), la producción de ladrillo artesanal consta de las etapas de mezclado de materiales, moldeado del ladrillo y secado por cocción. El factor determinante para la producción de este bien es la aplicación de calor que a su vez se descompone de diversos subprocesos de cambio de estado a diferentes temperaturas.

Entre los niveles de cocción se determina los siguientes:

- Deshidratación del bien: generado en una temperatura alrededor de los 120 grados centígrados donde se reduce la humedad de la unidad.
- Descomposición: cuando los materiales vegetales que se introdujeron en la mezcla se eliminan, realizado a una temperatura de 120 a 350 grados centígrados.
- Transformación a cerámica: cuando la humedad es reducida totalmente a cero, la temperatura del proceso es de 350 a 450 grados centígrados.

- Oxidación: se produce CO , CO_2 , SO , SO_2 y SO_3 por el proceso químico oxidativo del sulfuro y el carbono. Alcanza los 800 grados centígrados.
- Vitrificación: alcance de las características óptimas del ladrillo (fortalecimiento), este subproceso supera la temperatura de la oxidación.

De Acuerdo a San Bartolomé et al. (2019), las operaciones que conforman el proceso de producción del ladrillo son:

- a) Extracción de la materia prima: Mediante la función de actividad manual y operación de máquinas se extrae el material de las canteras que de acuerdo a la estructuración del proceso clasificar los materiales tamizándolos para obtener un material más fino, la finalidad es que se eliminen materiales extraños para la mezcla.
- b) Molienda: Obtención de un material fino de las materias extraídas realizada comúnmente con molinos en el proceso industrial.
- c) Mezclado: El material fino es mezclado con otros elementos como la arena y agua que en el proceso industrial se emplea maquinas dosificadoras de material. Los aditivos y las proporciones dependen del tipo de ladrillo se quiera elaborar por lo que cada producto tiene una formula especializada.
- d) Moldeado: La mezcla obtenida es vertida en prensas hidráulicas o manuales que aplica fuerza mecánica para extruir la masa en la forma deseado, en esta operación se aplican actividades adicionales de recorte para pulir las aristas del producto.
- e) Secado: Se deja secar el producto a la intemperie siendo tendidas y secadas parcialmente a temperatura ambiente, mientras que en la actividad industrial se emplean hornos de a 200°C . El secado reduce el contenido de agua en la mezcla extruida para evitar roturas en la cocción (Moro, 2023).

- f) Quemado: El producto secado es transportado hacia hornos de quema abierta o tipo túnel que emplean leña, carbón, petróleo o gas para mantener una temperatura de aproximadamente 1200°C. Los componentes mezclados son unidos de manera permanente en este proceso por lo que es irreversible (Moro, 2023).

De acuerdo a Del Puerto y Riveros el proceso de producción del ladrillo se compone de maduración, tratamiento, humidificación, moldeado, secado, cocción y almacenaje como se muestra en la siguiente figura.

Figura 5.

Proceso productivo del ladrillo



Nota. Del Puerto y Riveros (2021)

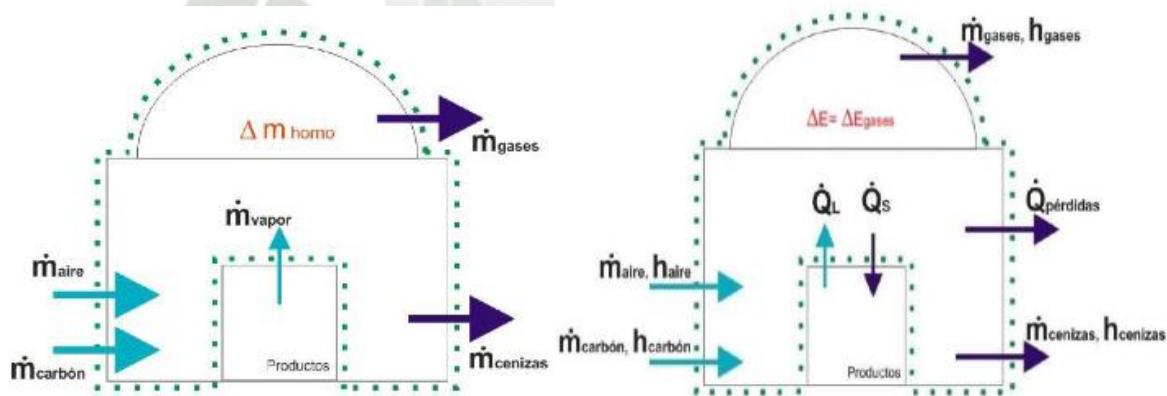
La cocción es un proceso fisicoquímico donde se genera movilidad atómica que une las partículas de arcilla y disminuye la porosidad; es necesario mantener la rapidez con la que se varia

la temperatura en el horno, dado que un descenso súbito en la temperatura puede generar una rápida contracción y provocar tensiones que llegan a fracturar el material; igualmente se debe conocer y mantener el rango de temperatura adecuado durante la cocción, el cual depende de la pasta utilizada en cada quema (Guerrero, Espinel, & Sánchez, Análisis de temperaturas durante la cocción de ladrillos macizos y sus propiedades, 2017).

El comportamiento del flujo de energía dentro de un horno está en función a la masa que intervienen, mediante el cálculo del balance de energía se determina la energía necesaria para la combustión adecuada del horno considerando las pérdidas de calor de las paredes, gases, cenizas y el flujo de aire (Medina & Jaramillo, 2019).

Figura 6.

Flujo másico en el interior del horno



Nota. En la figura 6 se visualiza el diagrama superior el balance de masa, ingreso de aire y carbón y salida de gases y cenizas, en el diagrama inferior se muestra el balance de energía, entrada de entalpía del aire y carbón y salida de la entalpía de entalpía de gases y cenizas, por Medina y Jaramillo (2019)

2.2.2. Mejora de proceso

Una propuesta de mejora define diversas estrategias para la aplicación ante identificación de problemas, dentro del diseño se presenta la caracterización detallada de las acciones a realización mediante documentación, también se describe el método de aplicación de las estrategias definidas y en diversos casos las medidas de control de la mejora para su estabilidad en el tiempo. Estas medidas comparan los resultados obtenidos de la propuesta para sintetizar y evaluar resultados cualitativos y cuantitativos (Velasco y Souza, 2018). Propuesta de mejora planteada para procesos de trabajo establece mejores resultados entre los cuales pueden ser la optimización del desempeño laboral, la estandarización de los procesos y el idóneo empleo de los materiales. Cuando se habla de mejora en empresas se pretende transformar la visión organizacional de la empresa dando como resultado mejores indicadores de desempeño económico (Jaen et al., 2020).

Un elemento fundamental para implementar mejorar en los procesos es contar con el apoyo y compromiso de los órganos dirigentes en las empresas, inculcando el trabajo en equipo (Carvallo y García, 2022).

En función a ello, se determina el siguiente procedimiento

- Los procesos deben responder las necesidades de la empresa y sus estrategias, por ende, también a sus clientes.
- Cada órgano de la empresa debe estar concentrado en los procesos importantes y adecuados.
- Los procesos deben representarse de tal forma que logren alcanzar los objetivos de eficiencia y eficacia, para trabajos de impacto económico.

- Fomentar y desarrollar una cultura de gestión en cada proceso resaltando los principios y valores de cada individuo de la empresa. Con esto se quiere llegar a alcanzar la mejora continua.

2.2.3. Productividad

La productividad es la medida que evalúa la eficiencia en el ámbito de producción, es un punto fundamental que determina la persistencia de las compañías en los mercados y económicas actuales puesto que cada vez se vuelve más difícil y exigente permanecer a flote. En ámbitos generales, la productividad significa la búsqueda del mejoramiento de diversos aspectos que producen un bien final con el propósito de que en el futuro sea mucho mejor que el ayer (Franco et al., 2021).

El concepto integra una multidimensionalidad de aspectos puesto que evalúa la utilización del elemento humano, organizacional y tecnológico entre los cuales se desglosan los recursos empleados para la producción. El alcance de los objetivos debe emplear dichos aspectos y recursos de manera equilibrada y óptima para conseguir alto nivel de productividad. Es por ello que al expresarnos sobre el entorno y escenario de la productividad se hace referencia a idóneos ambientes de trabajo en función a producción y gastos (Jaimes et al., 2018).

En la premisa de la obtención de productos o bienes competitivos, se plantea que para el alcance de dicho enunciado se regule y optimice la utilización de recursos. En ello, la productividad se define como el ejercicio de obtener mayores resultados con el uso de un menor recurso o esfuerzo. El concepto ha pasado a formar parte dentro de la filosofía de desarrollo económico en los últimos años y actualmente es considerado como un factor clave para las sociedades y países desarrollados. Entre el pasar de los años el concepto se ha ido transformando

desde la relación entre producción y elementos empleados a la manera de determinar la eficiencia en trabajos de generación de valor (Gordillo et al., 2020).

$$Productividad = \frac{Producción\ total\ final}{Recursos\ totales\ empleados}$$

De acuerdo a Singh et al (2022), en el medio empresarial la relación de la producción está vinculada con la eficacia y eficiencia por lo que emplean estos indicadores para medirla, es la forma clásica la determinación tiene afín a la razón entre los elementos y costos de salida sobre los elementos y costos empleados para producirlos.

Figura 7.

Factores que afectan la productividad



Nota. La figura 7 muestra los principales factores que internos y externos que suelen afectar la productividad, por Fontalvo et al. (2017).

La productividad del recurso humano o también mencionada como el rendimiento de los colaboradores, es factor considerando determinante dentro de la productividad puesto que el recurso humano es un bien activo que posee la capacidad de influir en los resultados. Los elementos como la motivación, la disposición de materiales de trabajo, experiencia laboral, la planificación de las actividades de trabajo y la administración son fuerzas impulsoras que se relacionan con el nivel de productividad (Coronel et al., 2022).

$$P. de MO = \frac{\textit{Producción total final}}{\textit{Nro. de colaboradores involucrados}}$$

De acuerdo a Álvarez (2021), la productividad en el medio laboral determina la producción de un colaborador en un tiempo determinado que mide la producción en función a la cuantificación física de los bienes producidos o el valor precio total producido.

La productividad de la materia prima, mide el uso puntual e ideal de los materiales empleados en un proceso de generación de valor en el cual se trata de evitar la generación de desperdicios (Jiménez, 2019).

$$P. de MP = \frac{\textit{Producción total final}}{\textit{Insumos empleados}}$$

2.2.4. Eficiencia

La eficiencia se enfoca en la óptima, racional e ideal manejo de los materiales que conlleven al cumplimiento de las metas y propósitos planteados valorando la estimación del tiempo empleado, en diversos aspectos cuando se habla de una combinación de insumos que alcanzan objetivos sin generar efecto sobre otros aspectos internos de las empresas (Fontalvo et al., 2017).

De acuerdo a Padrón et al. (2022) la eficiencia en un indicador de éxito en cuanto a capacidades de producción, determina que tan óptimo se ha empleado los elementos de entrada para lograr producir un bien o elemento terminado.

Desde el punto de vista de Parrales et al. (2022), cuando una empresa desea reducir los recursos y medir la producción en función a la economía, los recursos y materias primas empleadas, la eficiencia es determinante puesto que verifica que las actividades realizadas cumplan adecuadamente con el logro de los objetivos evaluando que tanto consumen los recursos.

2.2.5. Eficacia

La eficacia está encaminada a evaluar el logro y éxito de las finalidades y propósitos que examina la utilización de los bienes en el cual se modela por dos perspectivas, la conquista de las metas y la minimización de los materiales e insumos. Así mismo dentro de la eficacia se distingue las acciones que se emplean para alcanzar los objetivos anteriores mencionados que visto desde otra perspectiva, la eficacia se denomina a las acciones que se ejecutan para el éxito de los ideales en donde se distingue y separa de la eficiencia por la evaluación de los medios para emplear los bienes disponibles (Ramírez et al., 2022).

De acuerdo a Patel (2021), la eficacia es formulada desde el concepto de capacidad atribuido a un objetivo o sujeto que realiza un trabajo con el ideal de alcanzar algún objetivo, es decir, producir un resultado final, el término es ampliamente aplicado en las ciencias médicas e ingenieriles y comúnmente confundido con la efectividad, no obstante, se diferencia a esta en el sentido de que mide el nivel de alcance de un objetivo mientras que la efectividad determina que tanto se cumple el objetivo. En el área de operaciones y en función a las actividades la eficacia es la forma de medición para establecer que tan bien un sujeto o elemento realiza el trabajo.

De acuerdo a Burches y Burches (2020), la eficacia está enfocada en el éxito de trabajo realizado determinando en que cantidad o valor cuantificable se logró el efecto o producto en un ambiente determinado.

2.3. Marco conceptual

- **Merma**

Es la pérdida física de un producto ocasionada por causas externas e internas al proceso productivo, son un indicador inherente al proceso y representa una disminución en la rentabilidad y productividad de la empresa (González et al., 2018).

- **Balance de energía**

Relación de equilibrio cuantificable de los fluidos o elementos que intervienen en un proceso de intercambio y transformación de energía (Sinnott y Towler, 2019)

- **Extrusión**

Dar forma a una masa haciéndola salir por una abertura especialmente armada (Manzano, 2018).

- **Arcilla**

Material natural de la superficie terrestre empleado para la producción de cerámicos, se encuentra en sedimentos y es producto de la alteración de una roca en sus componentes más finos (García, Florez, & Medina, 2018).

- **Densidad**

Medido en unidades masa (kg, gr, o mgr.) y volumen (m^3), es la relación matemática entre la masa por cada unidad de volumen, cuya relación puede atribuir otras propiedades a los materiales como aislante y propiedades mecánicas. (Cuitiño Rosales, Rotondaro, & Esteves, 2020)

- **Conductividad térmica**

Capacidad de transmitir en una dirección el calor de otro objeto a través de su superficie y por un determinado tiempo. (Cuitiño Rosales, Rotondaro, & Esteves, 2020).

- **Horno de cocción**

Espacio cerrado en forma de bóveda o cámaras divididas en donde se carga el producto a una altura determinada y el combustible a emplear a mantener una temperatura optima (Guerrero et al., 2018).



CAPÍTULO III

3. Análisis Situacional

3.1. Descripción de la industria

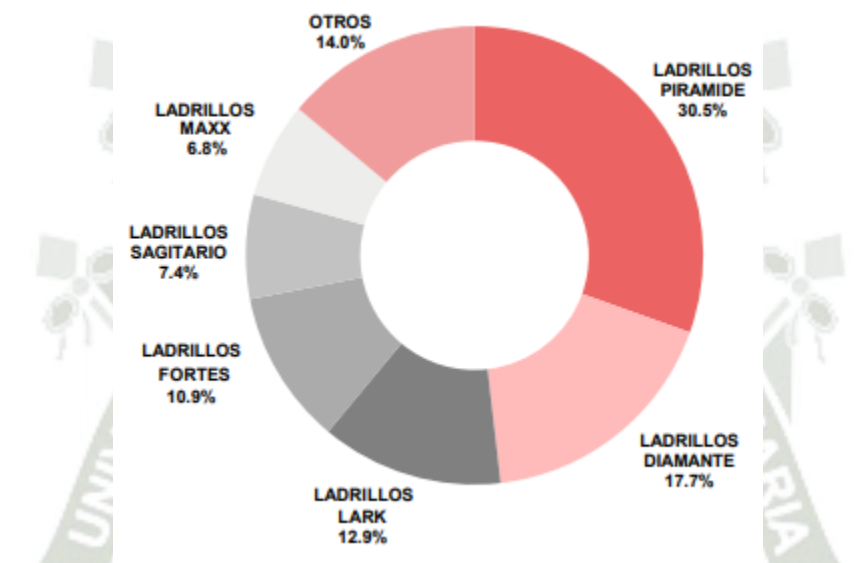
De acuerdo a un informe económico de construcción de la Cámara Peruana de la Construcción (2021), se analizó que el sector ladrillero es una industria que ha sufrido una transformación en los últimos años por parte de la industrialización y la preocupación por el impacto ambiental que genera las emisiones de las actividades operativas. En la operación del sector se encuentra el proceso operativo artesanal y mecanizado; las prácticas productivas de ladrillos artesanales generalmente se encuentran en las zonas andinas del Perú desde los años noventa y en la actualidad aún persisten gran parte del proceso, sin embargo, en las zonas costeras las fábricas han mejorado sus líneas de producción a procesos industriales con el empleo de hornos a gas natural, carbón y biomasa. El impacto que tuvo la industrialización en sector ladrillero se vio reflejada en la capacidad de producción y abastecimiento de la demanda de construcción que en los últimos años tuvo tendencias de crecimiento, no obstante, la economía informal en el sector es una característica predominante que repercute en el marco ambiental, legal, técnico, laboral y administrativo del sector.

En el mercado de empresas ladrilleras en el Perú existen 65 empresas que alcanzan un valor de ventas anuales de 380 millones de soles en el 2019 en la producción formal de ladrillos de arcilla de las cuales 6 ladrilleras abarcan el 86% de la facturación (Figura 7). Sin embargo, este conjunto de empresas abarca el 41% de toda la producción nacional dejando el restante 59% a la competencia de producción semiformal generando un perjuicio en la calidad del producto en el mercado debido a que los productores informales incumplen estándares normativos como la resistencia a la compresión producto del deficiente sistema de producción e ineficiente cocción. De acuerdo a la N.T. E070 el porcentaje de vacío en la cara de asiento es de un 30% a lo que las empresas informales

fabrican ladrillos un 45% de vacío incumpliendo con la normativa del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Figura 8.

Empresas ladrilleras que dominan el mercado formal en 2019



Nota. De “Gráfico circular de empresas ladrilleras con mayor facturación en el sector (86%)”, por el Cámara Peruana de la Construcción.

3.2. Planteamiento Metodológico

A través de los datos recaudados en la empresa ladrillera se analizará el proceso de producción actual identificando cada una de las operaciones a través de un diagrama de flujo de procesos, esta herramienta es fundamental para identificar la secuencia de procesos que se deben seguir en la producción de ladrillos, de este modo nos permitirá elaborar el diagrama de bloques y el diagrama de ingresos y salidas para poder distinguir los ingresos y salidas de cada proceso de la materia prima en cantidades, permitiéndonos identificar los productos obtenidos en relación a la materia empleada. Seguidamente se elaborará un árbol de problemas para conocer las causas y efectos,

permitiéndonos tener una idea de la naturaleza del problema, su complejidad y por donde abordar para solucionar el problema. Seguidamente se realizará un diagrama de Ishikawa para la obtención de las causas raíz del problema, una vez identificado las causas elaboraremos un diagrama de Pareto con información brindada por los colaboradores que indicaran la frecuencia en que suceden para reconocer las principales causas, posteriormente se correlacionaran con las operaciones del proceso en el que suceden para determinar el proceso que genera mayor cantidad de problemas y pérdidas.

Se analizará la productividad actual de la empresa de acuerdo a los datos recaudados en la ladrillera, primero se identificará la eficacia actual, para ello se elaborará un cuadro con la cantidad de ladrillos producidos y los planificados para identificar la capacidad actual para lograr los resultados deseados. Luego, se analizará la eficiencia para identificar la optimización del uso de los recursos para alcanzar los resultados deseados para ello se elaborará un cuadro de los costos de producción y del precio de venta actual, finalmente para calcular la productividad se elaborará un cuadro con los datos de materia prima empleada.

Con el proceso de producción a analizar identificado se buscará optimizar su eficiencia, para ello se investigará los factores determinantes. En este estudio al ser el proceso de cocción, su factor determinante es la temperatura por ello se analizará el flujo de calor requerido por el horno de cocción que tiene la empresa ladrillera en función a la masa (materia prima del ladrillo), mediante el cálculo del calor requerido de la humedad, de cocción y de las pérdidas de calor; determinando el calor necesario para la combustión adecuada del horno considerando las pérdidas de calor de las paredes, techo, suelo y aberturas; para ello se considerara el área y medidas de las paredes del horno, entre otros. Se verificará si la ladrillera implementa el flujo de calor determinado revisando los datos recolectados.

Una vez se cuente con el flujo de calor requerido se analizará el combustible utilizado actualmente y otras opciones, eligiendo un combustible ecoamigable y conveniente para satisfacer

las necesidades del horno. Se calculará el gasto de combustible requerido considerando su poder calorífico inferior en función al flujo de calor requerido por el horno para una quema; así mismo se calculará su costo monetario.

Considerando la mejora en el horno de cocción que se daría al satisfacer su requerimiento de flujo de calor, se calculara nuevamente la eficiencia, eficacia y productividad considerando la nueva cantidad de unidades producidas y los costos de combustible, con el fin de compararlo con los resultados reales.

Se realizará ensayos de las características físicas a una muestra de 10 unidades de ladrillos de acuerdo a la norma técnica peruana. Estos ensayos serán empleados en las unidades producidas por la empresa ladrillera y en unidades horneadas a una temperatura constante del requerimiento establecido, para posteriormente verificar si se encuentran diferencias en los resultados obtenidos y si estos son óptimos para la venta.

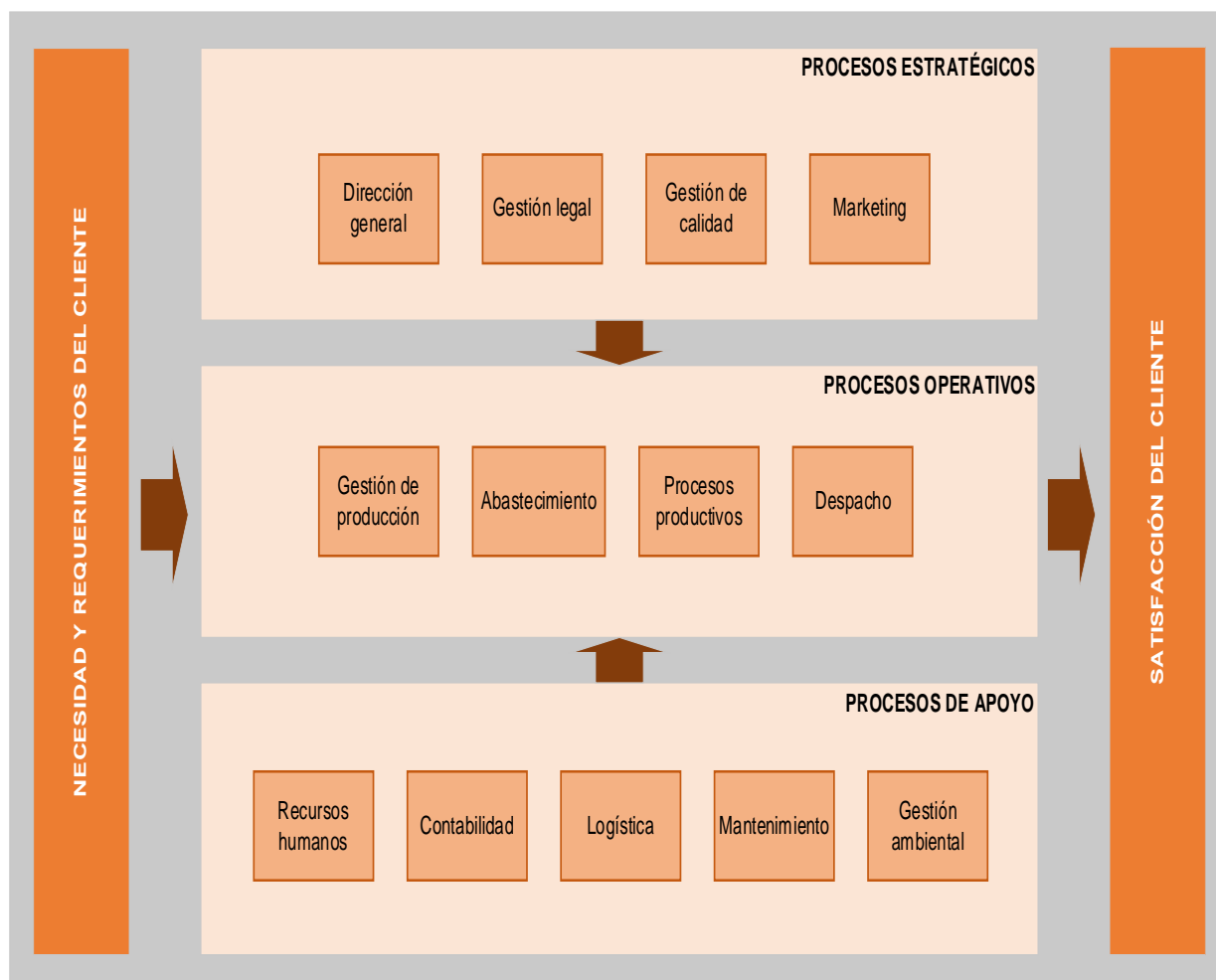
De acuerdo a los datos obtenidos tanto en el cálculo como en el diagnostico situacional de la empresa ladrillera sobre sus operaciones productivas se evaluará e investigará los requerimientos a implementar en el horno de cocción para que mejore su rendimiento y se minimicen la perdida de productos aptos para venta.

Finalmente, con las mejoras identificadas se realizará un análisis de costo beneficio para evaluar si la propuesta es viable.

3.3. Mapa de procesos

Figura 9.

Mapa de procesos de las empresas del sector ladrillero



Nota. Formulación de mapa de procesos de empresas del sector ladrillero de acuerdo a un análisis de las principales actividades, adaptado de “Dirección y gestión de procesos” por (Restrepo, 2011). Elaborado en base a una empresa ladrillera de la ciudad de Arequipa.

3.4. Flujo del proceso de fabricación

Se analizará el flujo del proceso de fabricación mecanizado del sector cerámico en la producción de ladrillos través del diagrama de flujo operativo, diagrama de bloques y diagrama de entradas y salidas presentadas a continuación.

3.4.1. Diagrama de flujo

Figura 10.

Diagrama de flujo del proceso de fabricación del ladrillo

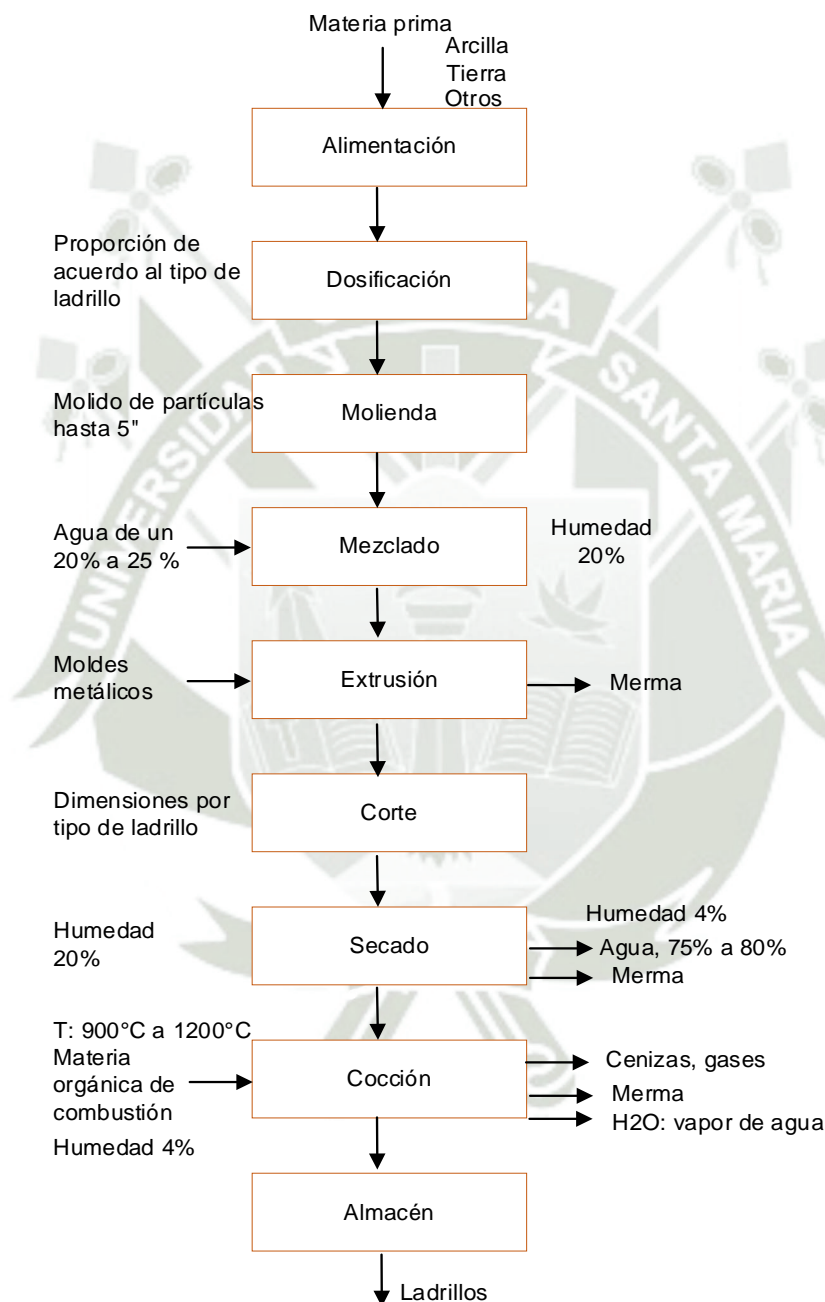


Nota. Diagrama del proceso de fabricación mecanizado del ladrillo, adaptado de “Dirección y gestión de procesos” por (Restrepo, 2011). Elaborado en base a una empresa ladrillera de la ciudad de Arequipa.

3.4.2. Diagrama de bloques

Figura 11.

Diagrama de bloques del proceso de fabricación



Nota. Diagrama de bloques en dónde se aprecia los principales intervinientes en el proceso de fabricación, adaptado de “Dirección y

gestión de procesos” por (Restrepo, 2011). Elaborado en base a una empresa ladrillera de la ciudad de Arequipa.

El diagrama de bloques representa de forma secuencial y simplificada las etapas del proceso de producción de ladrillos. Cada bloque corresponde a una fase del proceso y muestra cómo fluye la materia prima desde su ingreso hasta el producto final, incluyendo los puntos donde pueden generarse pérdidas.

Etapas del proceso:

1. Alimentación: Recepción de arcilla y otros materiales.
2. Dosificación: Medición precisa de materiales según la formulación.
3. Molienda: Reducción del tamaño de partículas para homogeneidad.
4. Mezclado: Integración de materiales secos y húmedos para obtener una mezcla plástica.
5. Extrusión: Formación del ladrillo mediante presión, aquí pueden generarse pérdidas por deformaciones o salida defectuosa del material.
6. Corte: Separación de las piezas según medidas establecidas.
7. Secado: Eliminación de humedad mediante control de temperatura y ventilación; hay pérdidas por agrietamiento o deformación.
8. Cocción: Etapa crítica donde el ladrillo es endurecido a altas temperaturas. Las piezas defectuosas en esta fase no pueden ser reprocesadas.
9. Almacén: Clasificación y almacenamiento del producto final

Pérdidas en el proceso

- Extrusión y secado: Las piezas dañadas pueden ser reprocesadas (molidas y reincorporadas a la mezcla).

- Cocción: Es la etapa más crítica, ya que los productos que fallan aquí no pueden recuperarse. Se pierde materia prima, energía, tiempo y dinero, y las piezas deben ser descartadas completamente.

Importancia de la cocción como etapa crítica

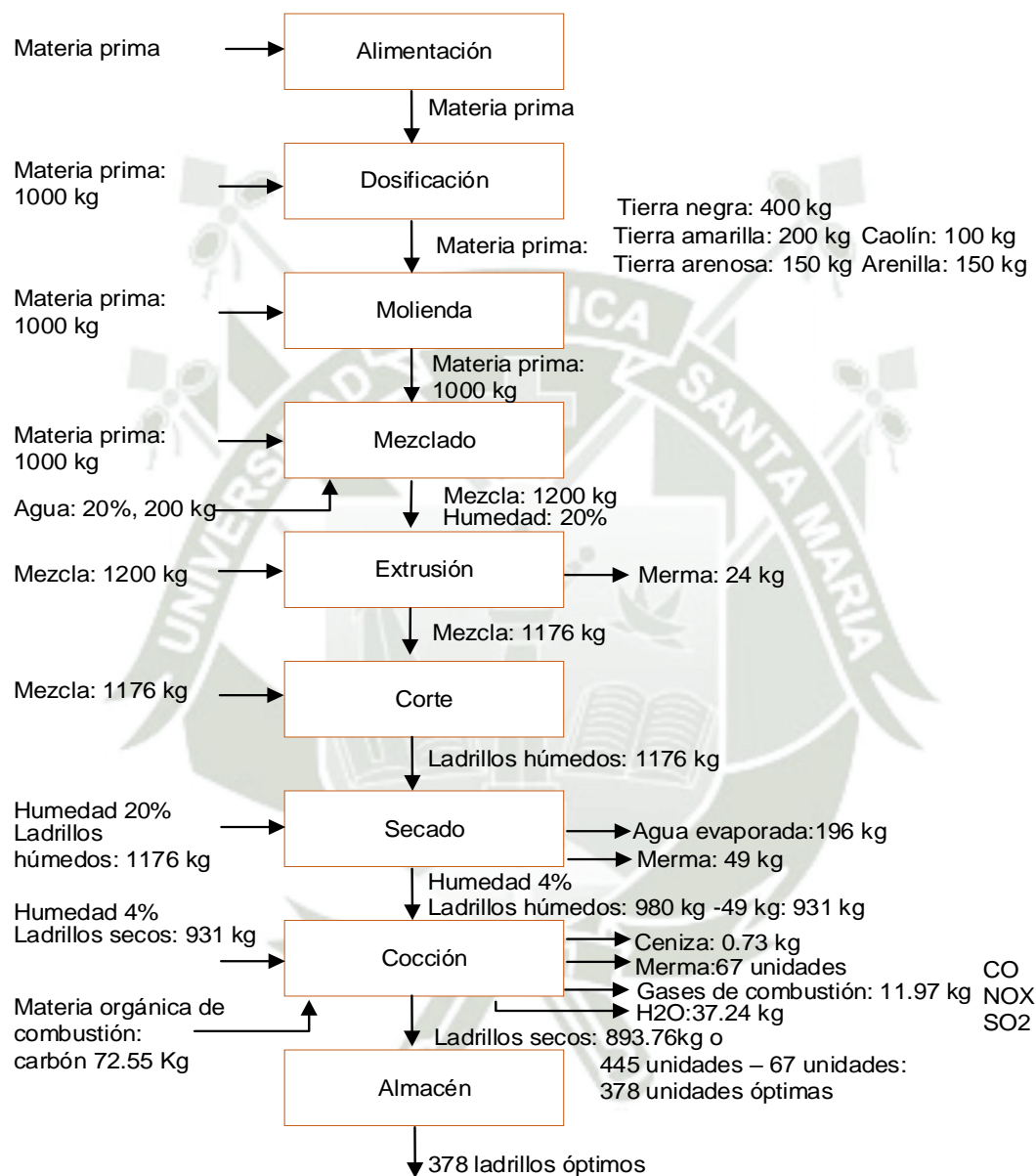
- Es donde se consolidan las propiedades mecánicas del ladrillo (resistencia, dureza, estabilidad).
- Una cocción inadecuada puede provocar grietas, deformaciones, ladrillos crudos o sobrecocción.
- Las pérdidas en esta etapa son definitivas, ya que el material cocido no puede reincorporarse al proceso.
- Además, representa un alto consumo energético, lo que eleva el costo de las pérdidas.

El diagrama de bloques no solo ayuda a visualizar el flujo del proceso, sino también a identificar los puntos críticos de control y mejora. Aunque puede haber reprocesamiento en etapas anteriores, la cocción exige un monitoreo riguroso, ya que los errores aquí representan pérdidas irreversibles tanto en material como en recursos.

3.4.3. Diagrama de entradas y salidas

Figura 12.

Diagrama de entradas y salidas del proceso de fabricación



Nota. Diagrama de entradas y salidas de los principales elementos en el cálculo teórico del proceso de producción de ladrillo, adaptado de “Dirección y gestión de procesos” por (Restrepo, 2011). Elaboración propia en base a una empresa del sector ladrillero de Arequipa.

El diagrama de entradas y salidas es una herramienta visual que permite representar gráficamente los recursos que ingresan y los resultados que se obtienen de un proceso productivo, desde el inicio del proceso hasta la obtención del producto final. Es fundamental para la mejora continua, ya que facilita la comprensión del funcionamiento de cada etapa del proceso, ayudando a identificar qué recursos se utilizaron, cómo fueron transformados y qué resultados se generaron.

Para el diagrama realizado se identificó cada proceso y su secuencia en el proceso de producción de ladrillos. Se consideró el diagrama en función al ingreso de 1000 kg de materia prima.

1. Alimentación: Ingreso de Materia Prima compuesto de tierra negra (400Kg), tierra amarilla (200 Kg), tierra arenosa (150 Kg), Caolin (100 Kg) y Arenilla (100 Kg), que ingresa al proceso de producción, salen de él proceso los 1000 kg de materia prima.
2. Dosificación: Los 1000 Kg de materia prima pasan al proceso de Dosificación donde se realizan las medidas de las cantidades necesarias en proporción a el tipo de ladrillo, salen de él proceso los 1000 kg de materia prima.
3. Molienda: Los 1000 Kg ingresan para ser triturados hasta llegar a un tamaño de partículas de hasta 5", salen de él proceso los 1000 kg de materia prima.
4. Mezclado: Ingresan 1000 Kg de materia prima y una proporción de 20% de agua, es decir, 200 litros de agua (200 Kg). Se mezcla hasta tener una masa elástica y moldeable. Saliendo una mezcla de 1200 Kg con un 20% de humedad.
5. Extrusión: Ingresan la mezcla de 1200 Kg, esta es colocada en moldes metálicos de acuerdo a su tipo de ladrillo, en este proceso se pierde una merma de 24 Kg y sale una mezcla de 1176 Kg.

6. Corte: Ingresan la mezcla moldeada de 1176 Kg, aquí se realizan los cortes correspondientes para obtener ladrillos por unidad, salen ladrillos húmedos en una proporción de 1176 Kg.
7. Secado: Ingresan ladrillos húmedos de 1176 Kg con una humedad del 20%, en este proceso se elimina una gran parte del agua presente en los ladrillos crudos, esta comienza a evaporarse hasta una proporción de 196 Kg lentamente para evitar que el ladrillo se deforme o agriete. A medida que el agua se evapora, las partículas de arcilla se compactan más. De este proceso se pierde 49 Kg de merma y salen ladrillos húmedos de 931 Kg con una humedad del 4%.
8. Cocción: Una vez seco, el ladrillo está lo suficientemente firme como para ser manipulado y trasladado al horno sin romperse. Ingresan ladrillos secos de 931 Kg con una humedad del 4% al horno de cocción y son sometidos a una temperatura de 950°C, a su vez, ingresa materia orgánica de combustión de 72.55 kg. Durante el proceso se elimina 0.73 Kg de ceniza, 11.97 Kg de gases de combustión (CO,NOX,SO2). Salen 893.76 kg, lo que sería en unidades 445, sin embargo, en este proceso se produce una pérdida de 67 unidades, por ladrillos crudos, sobrequemados o con roturas, los cuales no pueden ser reprocesados. Salen 378 unidades de ladrillos óptimos.
9. Almacén: Una vez enfriados, los ladrillos son clasificados y almacenados hasta su venta, es decir, ingresan 378 ladrillos a almacén y salen los mismos 378 ladrillos óptimos como producto final para venta.

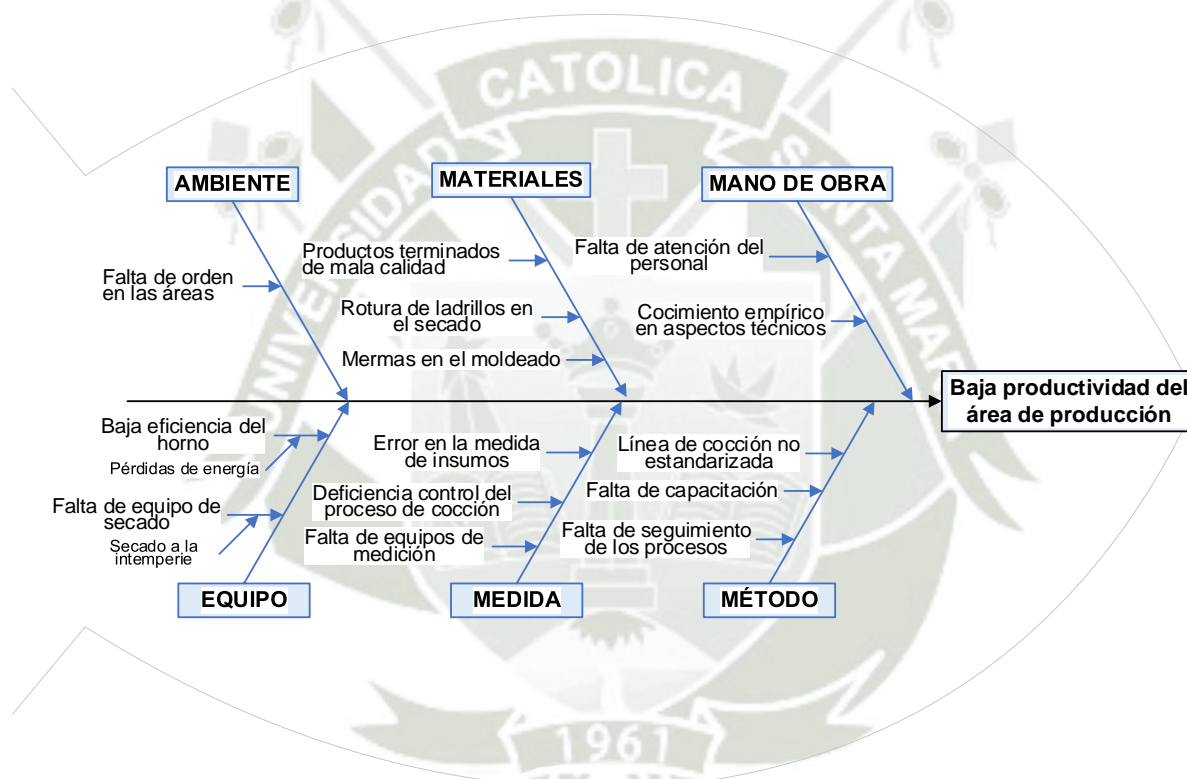
3.4.4. Fundamentación del problema

3.4.4.1. Diagrama de Ishikawa

Se identificó y analizó las posibles causas que ocasionan la baja productividad en el área de producción de la empresa ladrillera.

Figura 13.

Diagrama de Ishikawa



Nota. Elaborado en base a una empresa ladrillera de la ciudad de Arequipa. Adaptado de “Gestión de la calidad total”, por (R. Evans & Lindsay, 2015)

La frecuencia es un factor determinado por las ocurrencias de estas causas en el proceso de producción, información que fue apreciada por los colaboradores.

Tabla 2

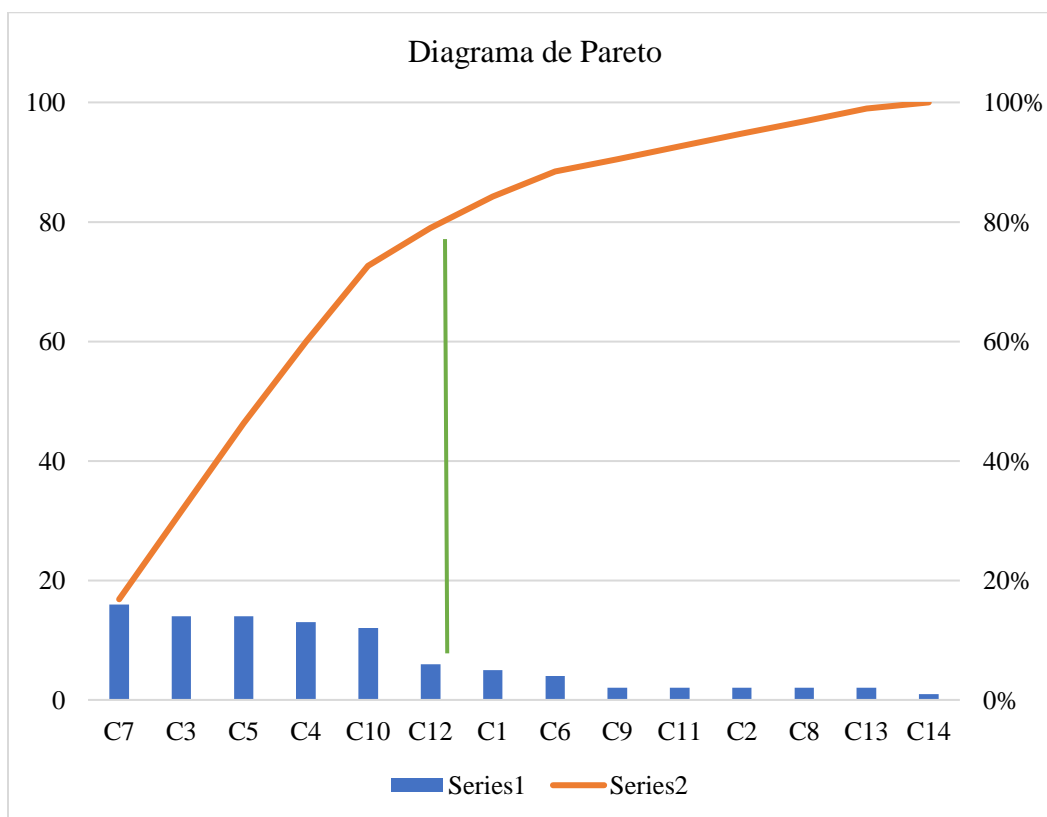
Frecuencia de las principales causas

Código	Causa Raíz	Frecuencia	Porcentaje	Acumulado
C7	Baja eficiencia del horno	16	16.84%	16.84%
C3	Productos terminados de mala calidad	14	14.74%	31.58%
C5	Mermas en el moldeado	14	14.74%	46.32%
C4	Rotura de ladrillos en el secado	13	13.68%	60.00%
C10	Deficiencia de control del proceso de cocción	12	12.63%	72.63%
C12	Línea de cocción no estandarizada	6	6.32%	78.95%
C1	Falta de atención del personal	5	5.26%	84.21%
C6	Falta de orden en las áreas	4	4.21%	88.42%
C9	Error en la medida de insumos	2	2.11%	90.53%
C11	Falta de equipos de medición	2	2.11%	92.63%
C2	Conocimiento empírico en aspectos técnicos	2	2.11%	94.74%
C8	Falta de equipo de secado	2	2.11%	96.84%
C13	Falta de capacitación	2	2.11%	98.95%
C14	Falta de seguimiento de los procesos	1	1.05%	100.00%

Nota. Elaborado en base a una empresa ladrillera de la ciudad de Arequipa. Mediante el diagrama de Pareto evaluamos que las principales causas de la baja productividad son las causas raíces C7, C3, C5, C4, C10 y C12.

Figura 14.

Diagrama de Pareto



Nota. Elaborado en base a una empresa ladrillera de la ciudad de Arequipa. Del mismo modo se presenta el gráfico de Pareto expresando que las 6 primeras causas comprenden el 80% del problema en general.

Para determinar el proceso que se interrelaciona a estas causas, se vincula las causas mediante un check list como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3

Correlación de causas raíces con las operaciones del proceso

Cód.	Causa raíz	Proceso de producción					
		Alimentación de materia prima	Dosificación	Mezclado	Moldeado	Secado	Cocción
C7	Baja eficiencia del horno						X
C3	Productos terminados de mala calidad					x	X
C5	Mermas en el moldeado				x		
C4	Rotura de ladrillos en el secado					x	
C10	Deficiencia de control del proceso de cocción						X
C12	Línea de cocción no estandarizada						X

Nota. Elaborado en base a una empresa ladrillera de la ciudad de Arequipa.

Mermas de las operaciones de moldeado, secado y cocción. De acuerdo a los datos de las cantidades de producto que son desechados del proceso por una baja calidad del producto, el proceso de cocción presenta mayor cantidad de mermas al contar una baja eficiencia en producción. Sin embargo, los procesos de secado y moldeado cuando presentan mermas existen la posibilidad de reprocesar el producto, en cambio a los ladrillos de cocción son destilados a la venta como productos de segunda de acuerdo al tipo de ladrillo.

Tabla 4

Mermas de los principales procesos críticos

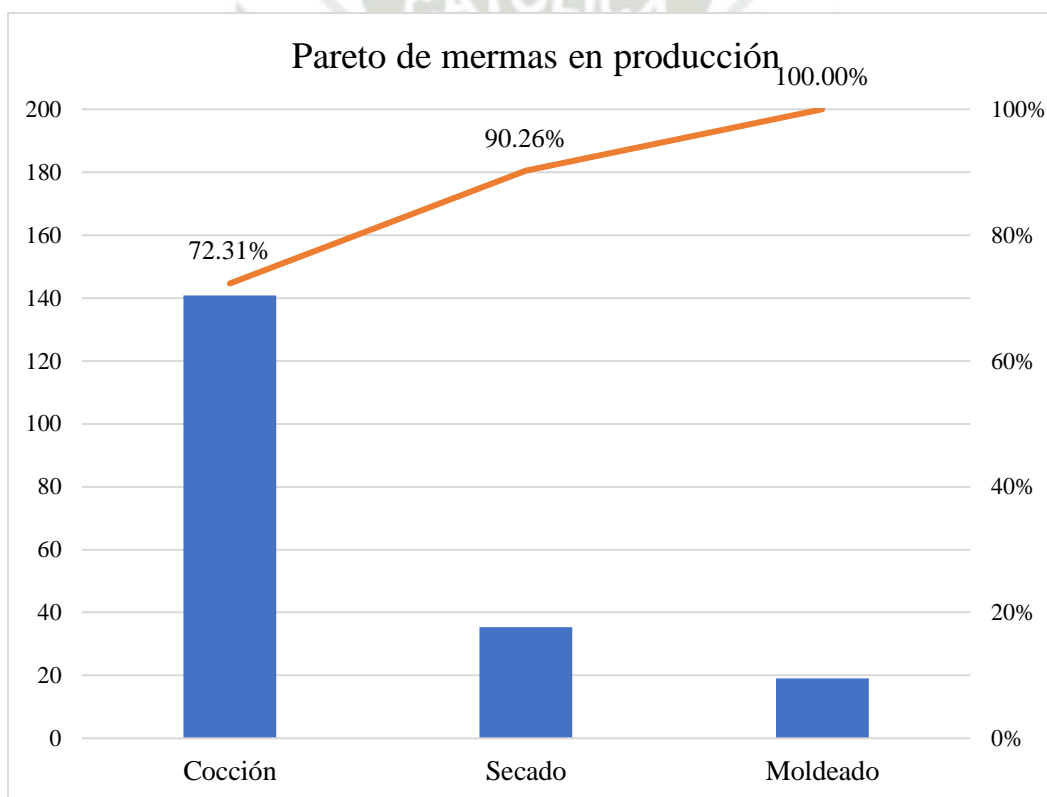
Proceso	Mermas (unidades)	Porcentaje	Acumulado
Cocción	141	72.31%	72.31%
Secado	35	17.95%	90.26%
Moldeado	19	9.74%	100.00%
Total	195		

Nota. Elaborado en base a una empresa ladrillera de la ciudad de Arequipa.

Al presentar el proceso de cocción mayores cantidades de mermas es que se considera como importante el análisis y propuesta de mejora de esta operación mediante una evaluación sistemática de la dinámica energética en el horno de cocción para que produzca ladrillos de mejor calidad y no represente una pérdida de ingreso para la empresa.

Figura 15.

Pareto de las mermas en los procesos de cocción, secado y moldeado



Nota. Elaborado en base a una empresa ladrillera de la ciudad de Arequipa. El Pareto de las mermas muestra que el 72.31% se encuentra en el proceso de cocción por lo cual es el proceso crítico más importante.

3.4.5. Análisis de la productividad

Para el análisis de la productividad del proceso de producción del ladrillo se analizó una empresa ladrillera de la ciudad de Arequipa respecto a su proceso de producción mecanizado que tenía alta proporción de mermas en el proceso de cocción.

- **Eficacia**

$$\text{Eficacia} = \frac{\text{Ladrillos producidos (unid)}}{\text{Ladrillos planificados (unid)}}$$

Tabla 5

Producción total de ladrillos en la empresa de estudio

Mes	Producción total (unid)	Planificación de producción (unid)
Enero	158,204	200,000
Febrero	190,980	230,000
Marzo	167,914	200,000
Abril	201,143	230,000
Mayo	218,938	250,000
Junio	178,037	200,000
Julio	203,051	230,000
Agosto	191,205	230,000
Setiembre	147,925	200,000
Octubre	214,338	220,000
Noviembre	187,967	230,000
Diciembre	164,831	200,000
Promedio	185,378	218,333
Total	2,224,533	2,620,000

Nota. Elaborado en base a una empresa ladrillera de la ciudad de Arequipa.

$$\text{Eficacia} = \frac{2,224,533}{2,620,000}$$

$$\text{Eficacia} = 0.849 \%$$

- **Eficiencia**

El precio de venta del ladrillo King Kong es de 1000 soles por un millar de ladrillos en la ciudad de Arequipa.

Tabla 6

Costos de producción del ladrillo King Kong por millar

Recursos	Costos (soles)
Materia prima	230.00
Mano de obra	250.00
Energía	100.00
Agua	10.00
Combustible	47.60
Total	637.60

Nota. Elaborado en base a una empresa ladrillera de la ciudad de Arequipa.

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Costos de producción (S)}}{\text{Costo unidad de venta (S)}}$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{637.60 \text{ soles/millar}}{1000 \text{ soles/millar}}$$

Eficiencia = 63.76 %

• **Productividad**

Tabla 7

Materia prima empleada en la producción total de ladrillos 2023

Mes	Tierra negra (ton/mes)	Tierra amarilla (ton/mes)	Tierra arenosa (ton/mes)	Caolín (ton/mes)	Arenilla (ton/mes)	Chamota (ton/mes)	Total
Enero	167.41	83.71	62.78	41.85	41.85	20.93	418.53
Febrero	202.10	101.05	75.79	50.52	50.52	25.26	505.24
Marzo	177.69	88.84	66.63	44.42	44.42	22.21	444.22
Abril	212.85	106.42	79.82	53.21	53.21	26.61	532.12
Mayo	231.68	115.84	86.88	57.92	57.92	28.96	579.20
Junio	188.40	94.20	70.65	47.10	47.10	23.55	471.00
Julio	214.87	107.43	80.58	53.72	53.72	26.86	537.17
Agosto	202.33	101.17	75.88	50.58	50.58	25.29	505.83
Setiembre	156.53	78.27	58.70	39.13	39.13	19.57	391.34
Octubre	226.81	113.41	85.05	56.70	56.70	28.35	567.03
Noviembre	198.91	99.45	74.59	49.73	49.73	24.86	497.27
Diciembre	174.42	87.21	65.41	43.61	43.61	21.80	436.06
Total	2,354.00	1,177.00	882.75	588.50	588.50	294.25	5,885.01

Nota. Elaborado en base a una empresa ladrillera de la ciudad de Arequipa.

$$\text{Productividad de la materia prima} = \frac{\text{Producción Total}}{\text{Insumos totales}}$$

$$\text{Productividad de la materia prima} = \frac{2,224,533(\text{unid})}{5,885.01 (\text{ton})}$$

$$\text{Productividad de la materia prima} = 378 \frac{(\text{unid})}{(\text{ton})}$$



CAPÍTULO IV

4. Propuesta de Mejora

4.1. Desarrollo de la propuesta de mejora

La propuesta de mejora se formula en función optimizar la eficiencia del horno de cocción debido a que tiene una tasa de pérdidas del 10.00%. El horno de cocción de estudio tiene una capacidad de 400 toneladas, el promedio de su producción real de un año es de 185, 378 unidades de ladrillo (370.75 toneladas).

$$\text{Eficiencia inicial} = \frac{\text{Unidades Optimas (Producción real)}}{\text{Unidades totales (Capacidad de producción)}}$$

$$\text{Eficiencia inicial} = \frac{370.75 \text{ ton}}{400 \text{ ton}}$$

$$\text{Eficiencia inicial} = 92.69\%$$

En función de la eliminación de las deficiencias. Se observó que en la industria ladrillera el control de la temperatura es un factor determinando para un adecuado proceso de cocción.

La ladrillera de estudio cuenta con una temperatura no homogénea en todo el horno, Para ello se analizará el flujo de calor requerido en el proceso de cocción de los ladrillos, a su vez, se propondrá la implementación del equipo necesario para mantenerla constante y homogénea.

La segunda propuesta será analizar la cantidad de combustible necesario para satisfacer el calor del horno de estudio, por otro lado, analizar si es más funcional realizar un cambio de combustible en búsqueda de la disminución de costos y satisfacción del requerimiento.

4.1.1. Calor requerido por el horno

- **Calor necesario para disminuir la humedad total del ladrillo**

De acuerdo al diagrama de entradas y salidas la humedad inicial del ladrillo es de un 4% del producto del proceso de secado, la capacidad calorífica del agua es de C_p : 4.18 KJ/Kg $^{\circ}$ K, la evaporación del agua se produce al alcanzar los 100 $^{\circ}$ C (373.15 $^{\circ}$ K) y la temperatura inicial considerada en el proceso es de 25 $^{\circ}$ C. Así mismo se determina el valor de la entalpia para el vapor y líquido saturado.

$$Q_{agua} = \text{Masa del ladrillo} \times \% \text{Humedad} \times (C_p \times \Delta T + (H_v - H_s))$$

$$Q_{agua} = 400,000 \text{ kg} \times 0.04 \times \left(4.18 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^{\circ}\text{K}} \times (373.15 - 298.15^{\circ}\text{K}) + \left(2674.9 - 417.5 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right) \right)$$

$$Q_{agua} = 41,134,400 \text{ KJ}$$

La quema de ladrillos en el horno tiene un tiempo aproximado de 120 horas por quema que equivale a 5 días de trabajo.

$$Q_{agua} = 41,134,400 \times \frac{\text{KJ}}{120 \text{ horas}} = 342,787 \frac{\text{KJ}}{\text{h}}$$

- **Calor para la cocción adecuada de los ladrillos**

El horno de cocción posee una capacidad máxima de 400 toneladas siendo un total de 400000 kg de ladrillos, así mismo, el calor específico del ladrillo es de 0.84 KJ/Kg $^{\circ}$ K. Se considera una temperatura de cocción de 950 $^{\circ}$ C (1223.15 $^{\circ}$ K) y una temperatura inicial de 25 $^{\circ}$ C(298.15 $^{\circ}$ K).

$$Q_{ladrillos} = m \times C_p \times \Delta T$$

$$Q_{ladrillos} = 400,000 \text{ Kg} \times 0.84 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^{\circ}\text{K}} \times (1223.15 - 298.15^{\circ}\text{K})$$

$$Q_{ladrillos} = 310,800,000 \text{ KJ/quema}$$

La quema de ladrillos en el horno tiene un tiempo aproximado de 120 horas por quema que equivale a 5 días de trabajo.

$$Q_{ladrillos} = 310,800,000 \frac{\text{KJ}}{\text{quema}} \times \frac{\text{quema}}{120 \text{ horas}} = 2,590,000 \frac{\text{KJ}}{\text{h}}$$

- **Calor de las pérdidas**

Figura 16.

Esquema del horno de cocción Hoffman



Nota. Horno de cocción de la empresa Ladrillera de estudio.

El calor generado en la cocción tiene pérdidas en las diferentes áreas de contacto, el calor perdido es cálculo a través de la siguiente fórmula:

$$Q_{Pérdidas} = Q_{Paredes} + Q_{Techo} + Q_{Suelo} + Q_{Aberturas}$$

Las paredes internas del área de contacto son de forma rectangular con una altura considerable, las paredes están compuestas por ladrillos refractarios (evitan pérdida de calor) cuya constante de conductividad se mide en kelvin metros por vatio ($K \cdot m/W$) es de $k: 1.05 W/m^{\circ}K$. Las dimensiones internas del horno de cocción en donde se produce la transferencia de calor:

Alto: 3.6 m (Zona de carga)

Largo: 50 m

Espesor: 1.5 m

A de la pared = alto x ancho

$$A \text{ de la pared} = 3.6 \text{ m} \times 50 \text{ m} = 180 \text{ m}^2$$

Entonces, el calor requerido para contrarrestar la pérdida en las paredes es de:

$$Q_{Paredes} = k A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$Q_{Paredes} = 2 \times 1.05 \frac{W}{mK^{\circ}} \times 180 \text{ m}^2 \times \frac{(1223.15 - 298,15 \text{ }^{\circ}K)}{1.5 \text{ m}}$$

$$Q_{Paredes} = 233100 \text{ W} = 64750,00 \frac{KJ}{h}$$

Las paredes frontal y posterior, son retiradas durante la operación de llenado y vaciado del horno, posee un área de:

Alto: 3.6 m (Zona de carga)

Ancho: 3.50 m

Espesor: 0.4 m

A de la pared = alto x ancho

$$A \text{ de la pared} = 3.6 \text{ m} \times 3.50 \text{ m} = 12.6 \text{ m}^2$$

Entonces, el calor requerido para contrarrestar la pérdida en las paredes es de:

$$Q_{\text{Paredes}} = k A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$Q_{\text{Paredes}} = 2 \times 1.05 \frac{\text{W}}{\text{mK}^\circ} \times 12.6 \text{ m}^2 \times \frac{(1223.15 - 298,15 \text{ }^\circ\text{K})}{0.4 \text{ m}}$$

$$Q_{\text{Paredes}} = 61188.75 \text{ W} = 16996,875 \frac{\text{KJ}}{\text{h}}$$

El techo de un horno Hoffman es descrito como un ortoedro de base cuadrada cuya área es:

Espesor: 1 m (c)

Largo: 50 m (a)

Ancho: 3.5 m (b)

$$A \text{ del techo} = \text{largo} \times \text{ancho}$$

$$A \text{ del techo} = 3.5 \text{ m} \times 50 \text{ m} = 175 \text{ m}^2$$

El calor requerido para contrarrestar las pérdidas de calor de las paredes es de:

$$Q_{\text{Techo}} = k A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$Q_{\text{Techo}} = 1.05 \frac{\text{W}}{\text{mK}^\circ} \times 175 \text{ m}^2 \times \frac{(1223.15 - 298,15 \text{ }^\circ\text{K})}{1 \text{ m}}$$

$$Q_{\text{Techo}} = 169968.75 \text{ W} = 47213.54 \frac{\text{KJ}}{\text{h}}$$

El suelo del horno es un área cuadrada compuesta de concreto sólido, cuyo coeficiente de conductividad es de k: 0,29 W/m °K.

Las dimensiones del área del suelo del horno son:

Espesor: 1 m

Largo: 50 m

Ancho: 3.5 m

A del suelo = alto x ancho

$$A \text{ del suelo} = 3.5 \text{ m} \times 50 \text{ m} = 175 \text{ m}^2$$

El calor perdido en el área del suelo se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$Q_{\text{Techo}} = k A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$Q_{\text{Techo}} = 1.05 \frac{\text{W}}{\text{mK}^\circ} \times 175 \text{ m}^2 \times \frac{(1223.15 - 298,15 \text{ }^\circ\text{K})}{1 \text{ m}}$$

$$Q_{\text{Techo}} = 169968.75 \text{ W} = 47213.54 \frac{\text{KJ}}{\text{h}}$$

El horno posee unas aberturas para expulsar todos los gases de combustión producto de la quema del material orgánico de cocción, se considera dos ductos como abertura que poseen un largo de 1 metro y un ancho de 1.5 metros.

A de la abertura = alto x ancho

$$A \text{ de la abertura} = 1.0 \text{ m} \times 1.5 \text{ m} = 1.5 \text{ m}^2$$

Para medir la transferencia de calor de una fuente hacia un área más fría se emplea la Ley de Stefan –Boltzman, en la fórmula se emplea la constante (σ) de Boltzmann cuyo valor es de $5.6703 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ y la emisividad térmica de los ladrillos refractarios (e) del cual está compuesto el horno es de 0.6.

$$P = e \sigma A (T^4 - T_c^4)$$

$$Q_{Aberturas} = 0.6 \times 5.6703 \times 10^{-8} \times \frac{W}{m^2 K^4} \times 1.5 m^2 (1223.15^4 - 298.15^4 K)$$

$$Q_{Aberturas} = 227,646.8 W = 819,528.48 \frac{KJ}{h}$$

El calor total de las pérdidas corresponde a un valor de:

$$Q_{Pérdidas} = Q_{Paredes} + Q_{Techo} + Q_{Suelo} + Q_{Aberturas}$$

$$Q_{Pérdidas} = 64,750.00 \frac{KJ}{h} + 16,996.87 \frac{KJ}{h} + 47,213.57 \frac{KJ}{h} + 47,213.54 \frac{KJ}{h} + 819,528.48 \frac{KJ}{h}$$

$$Q_{Pérdidas} = 995,702.46 \frac{KJ}{h}$$

- **Calor total**

$$Q_{total} = Q_{Humedad} + Q_{Cocción} + Q_{Pérdidas}$$

$$Q_{total} = 342,787 \frac{KJ}{h} + 2,590,000 \frac{KJ}{h} + 995,702 \frac{KJ}{h}$$

$$Q_{total} = 3,928,489 \frac{KJ}{h}$$

4.1.2. Combustible requerido

La empresa actualmente utiliza combustible sólido que es una mezcla de aserrín de madera con guano de corral como combustible, La proporción de la mezcla es de 5 partes de aserrín por 1.2 a 1.5 partes de guano y emplea 80 m³ para una quema de producción de un *millar* de ladrillos King Kong con un costo de 10400,00 S/.

Tabla 8

Tipos de combustibles para cocción de ladrillos

Material de combustión	PCI (Poder Calorífico inferior)	Unidad	Precio (S/.)	Unidad
Carbón siderúrgico	29,335	KJ/kg	0.3388	S/-Kg
Gas natural	39,900	KJ/kg	0.55	S/- m3
Aserrín de pino	17,038	KJ/kg	0.66	S/-Kg
Petróleo	40,895	KJ/kg	0.05	S/- m3
Cascarilla de arroz	13,800	KJ/kg	1.2	S/-Kg
GLP	45,764	KJ/kg	2.21	S/-Kg
Combustible Solido	5892.73	KJ/kg	130.00	S/- m3

Nota. Elaborado en base a centros de venta de combustible.

Tabla 9

Cuadro comparativo de características de los Tipos de Combustible

Combustible / Fuente	Grado de contaminación	Eficiencia energética / uso energético	Emisión de gases	Característica adicional destacada
Carbón siderúrgico	Alta contaminación (mucho material particulado y SO ₂)	Comparativamente baja; altos requerimientos energéticos	Elevada emisión de CO ₂ , SO ₂ y partículas	Común en zonas limítrofes industriales, pero ambientalmente perjudicial
Gas natural	Relativamente baja contaminación; no produce SO ₂ ni partículas	Alta eficiencia de combustión; menos combustible requerido	Menor CO ₂ que otros fósiles; fugas de metano preocupan	Quema más limpia y segura; ideal para ambientes sensibles
Aserrín de pino (biomasa)	Menor contaminación que el carbón; pero deforestación si se usa intensamente	Variable; depende de tipo de horno; continuo es más eficiente	Emite partículas, CO, NOx; menor SO ₂ que carbón	Fuente renovable, pero su sostenibilidad depende del manejo forestal

Combustible / Fuente	Grado de contaminación	Eficiencia energética / uso energético	Emisión de gases	Característica adicional destacada
Cascarilla de arroz (biomasa agrícola)	Relativamente baja contaminación; mejora si se mezcla con carbón MDPI+1	Eficiencia energética variable; depende de mezcla y horno MDPIFAOHome	Menor emisión de SO ₂ ; reducción de partículas con mezclas MDPI	Reaprovecha residuos agrícolas; economía circular
GLP (Gas licuado de petróleo)	Contaminación baja-mediana (menos SO ₂ y partículas)	Alta eficiencia térmica (limpio y controlable)	CO ₂ principalmente, menos contaminantes sólidos	Fácil de almacenar y controlar, buena opción para producción moderna
Combustible sólido (aserrín + guano de corral)	Biomasa mezclada; contaminación intermedia: menor SO ₂ , pero puede emitir amoniaco o malos olores	Similar a otros biocombustibles; depende del horno y mezcla	Emite CO ₂ , partículas, posible NH ₃ (amoniaco)	Usa residuos orgánicos, promueve economía circular, pero puede generar olores

Nota. Elaborado en base a diversas fuentes: (Wikipedia, s.f.), (wood., s.f.), (US EPA., 2007).

(ResearchGate, 2023), (MDPI, 2024).

Se analizó que el gas natural es una alternativa óptima debido a que tiene un grado de contaminación bajo y que produce menos gases que contribuyen al efecto invernadero y que a comparación del GLP posee un menor precio.

Gasto de combustible para abastecer una quema en ***Kg/h.***

$$gasto\ de\ combustible = \frac{Q}{PCI}$$

$$gasto\ de\ combustible = \frac{3,928,489\ KJ/h}{39,900\ KJ/Kg}$$

$$gasto\ de\ combustible = 98.46\ Kg/h$$

Gasto de combustible para abastecer una quema en m^3 .

$$\text{gasto de combustible}(m^3) = 98.46 \frac{Kg}{h} \times 0.001 \frac{m^3}{Kg} \times 120h$$

$$\text{gasto de combustible}(m^3) = 0.09846 \frac{m^3}{h} \times 120h$$

$$\text{gasto de combustible}(m^3) = 11.8152 m^3$$

Costo de combustible para una quema en soles.

$$\text{costo de combustible} = 11.8152 m^3 \times 0.55 \frac{S/}{m^3}$$

$$\text{costo de combustible} = 6.50 S/.$$

4.2. Propuesta de mejora

4.2.1. Propuesta implementación Equipo especializado

Para lograr mantener el calor de $3,928,489 \frac{KJ}{h}$ constante y uniforme en el horno se propone la implementación de equipos especializados que logren el objetivo de controlar la temperatura en tiempo real durante la quema manteniéndola en un rango programado, el equipo funciona con la información que le proporciona las termocuplas. Estas envían la temperatura requerida generando que el equipo en caso de estar alta se detenga, en caso de estar baja inyecte combustible para mantener el rango deseado.

- Equipo de quema para combustibles sólidos: Garantiza una correcta difusión y homogenización de cocción dentro de la cámara de combustión.

Figura 17.

Equipo de quema de combustibles sólidos



Nota. Imagen adquirida de cotización

- Gasificador a Fueloil: Descompone el combustible en gas para el horno.

Figura 18. Gasificador a Fueloil



Nota. Imagen adquirida de cotización

- Termocuplas: Sensor de temperatura.

Figura 19. Termocuplas



Nota. Imagen adquirida de cotización

- Equipos de medición y regularización: cuadro eléctrico de control, medidores de temperatura, cable especial con malla de protección para conexión a centro de medición y regulación.

Figura 20. Medidor de temperatura



Nota. Imagen adquirida de cotización

Figura 21. Cuadro eléctrico de control



Nota. Imagen adquirida de cotización

4.2.2. Propuesta de Cambio de Combustible: Gas Natural

Se propone el cambio de combustible a gas natural, después de calcular el requerimiento de combustible de 11.8152 m^3 necesario para satisfacer el horno, y analizar los combustibles que podría ser utilizados, en cuestión de costos al resultar por quema un gasto de S/. 6.50, mucho menor al costo actual, se considera que el cambio a gas natural es lo más adecuado. Su uso genera una visible diferencia en los costos de producción.

Además de generar una mejora en la calidad de los ladrillos por la combustión limpia, asegurando uniformidad en el ingreso de combustible al horno, reflejara el incremento de la eficiencia energética y reducción de emisiones de gases.

El cambio de combustible a gas natural implica la instalación interna de tuberías y válvulas en la planta ladrillera.

El gas natural se suministra por redes de tuberías subterráneas, tal como el servicio de agua potable. Cada artefacto conectado al gas natural cuenta con una válvula que permite suspender o restituir el servicio.

La instalación se da desde la cámara que regula la presión a la establecida para que circule por la tubería dentro de la planta para dar acceso a este, y luego pase por un cuadro de medición (medidor fiscal) que registra el consumo de GN en m³.

4.3. Mejora de la productividad

De acuerdo a la mejora, un horno de cocción Hoffman que es el tipo de horno empleado con mayor recurrencia en la industria ladrillera, la calidad del producto obtenido es de un 95% óptimo contemplando un 85% en productos buenos y un 10% de productos de menor calidad, sin embargo, las pérdidas y roturas de la cocción aún perduran en un 5% que puede hacer afluencia a otros aspectos químicos u operativos del proceso de producción.

- **Eficacia**

Tabla 10

Pronóstico de la productividad con la mejora del proceso de cocción

Mes	Producción total 84%	Producción total al 95%	Planificación de producción
Enero	158,204	176,941	200,000
Febrero	190,980	213,599	230,000
Marzo	167,914	187,801	200,000
Abril	201,143	224,966	230,000
Mayo	218,938	244,868	250,000
Junio	178,037	199,123	200,000
Julio	203,051	227,100	230,000
Agosto	191,205	213,851	230,000
Setiembre	147,925	165,445	200,000
Octubre	214,338	239,723	220,000
Noviembre	187,967	210,229	230,000
Diciembre	164,831	184,353	200,000
Promedio	185,378	207,333	218,333
Total	2,224,533	2,487,999	2,620,000

Nota. Elaborado en base a una empresa ladrillera de la ciudad de Arequipa.

$$\text{Eficacia} = \frac{2,487,999}{2,620,000}$$

$$\text{Eficacia} = 0.9496\%$$

- **Eficiencia**

Tabla 11

Pronóstico de los costos de producción del ladrillo King Kong por millar

Recursos	Costos (soles)
Materia prima	230.00
Mano de obra	250.00
Energía	100.00
Agua	10.00
Combustible	0.03
Total	590.03

Nota. Elaborado en base a una empresa
ladrillera de la ciudad de Arequipa.

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Costo unidad de venta (S/)}}{\text{Costos de producción (S/)}}$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{590.03 \text{ soles/millar}}{1000 \text{ soles/millar}}$$

$$\text{Eficiencia} = 59.003\%$$

- **Productividad**

$$\text{Productividad de la materia prima} = \frac{\text{Producción Total}}{\text{Insumos totales}}$$

$$\text{Productividad de la materia prima} = \frac{2,487,999 \left(\frac{\text{und}}{\text{mes}}\right)}{5885.01 \text{ (ton/mes)}}$$

$$\text{Productividad de la materia prima} = 423 \frac{\text{(unid)}}{\text{(ton)}}$$

4.4. Mejora en las características físicas del ladrillo

Se sometió a pruebas de ensayo de características físicas una muestra de 10 ladrillos quemados con el calor y temperatura constante calculada. Observando que las características físicas no tienen una variación significativa en los ladrillos al mantenerse el horno de cocción a una temperatura constante y uniforme comparado estos resultados con el horno de la empresa. De acuerdo a los ensayos de la empresa de estudio, se comparó con los datos obtenidos. Obteniendo los siguientes datos.

OBRA: CONTROL DE CALIDAD

MUESTRAS: CONFORMADO POR 10 UNIDADES DE 24X24X10 cm

MATERIAL: UNIDADES DE ALBAÑILERIA DE ARCILLA CALCINADA CON 18

PERFORACIONES OVOIDES-LADRILLO KING KONG

NORMA: NORMA TECNICA E.070 ALBAÑILERIA – 2006 NTP 399.613

ENSAYO

Tabla 12

Variación dimensional

N° DE MUESTRA	LARGO cm	V(%)	ANCHO cm	V(%)	ALTO cm	V(%)
# 1 UNIDAD DE ARCILLA	24.0	0	14.1	0	10.1	13
# 2 UNIDAD DE ARCILLA	24.0	0	13.9	1	10.2	13
# 3 UNIDAD DE ARCILLA	24.0	0	14.0	0	10.1	12
# 4 UNIDAD DE ARCILLA	24.0	0	14.1	1	10.2	13
# 5 UNIDAD DE ARCILLA	24.0	0	14.2	1	10.3	14
# 6 UNIDAD DE ARCILLA	24.1	0	14.2	1	10.1	12
# 7 UNIDAD DE ARCILLA	24.0	0	14.1	0	10.2	13
# 8 UNIDAD DE ARCILLA	24.1	0	14.2	1	10.1	13
# 9 UNIDAD DE ARCILLA	24.1	0	14.1	1	10.2	13
# 10 UNIDAD DE ARCILLA	10.1	58	14.1	1	10.2	13
Clasifica como:	Clase V		Clase V		Clase V	

Nota. Ensayo elaborado por empresa ladrillera Arequipeña

Conclusiones: El lote se clasifica como UNIDAD DE ALBAÑILERIA CLASE: LADRILLO

V, de acuerdo a la muestra ensayada por VARIACIÓN DE DIMENSIONES.

Tabla 13

Variación dimensional con Mejora

N° DE MUESTRA	LARGO cm	V(%)	ANCHO cm	V(%)	ALTO cm	V(%)
# 1 UNIDAD DE ARCILLA	24.1	0	14.2	0	10.1	12
# 2 UNIDAD DE ARCILLA	24.0	0	14.1	0	10.2	13
# 3 UNIDAD DE ARCILLA	24.1	0	14.0	1	10.2	13
# 4 UNIDAD DE ARCILLA	24.1	0	14.1	1	10.2	12
# 5 UNIDAD DE ARCILLA	24.0	0	14.1	0	10.1	13
# 6 UNIDAD DE ARCILLA	24.1	0	14.2	1	10.1	12
# 7 UNIDAD DE ARCILLA	24.0	0	14.1	0	10.2	12
# 8 UNIDAD DE ARCILLA	24.1	0	14.1	1	10.1	13
# 9 UNIDAD DE ARCILLA	24.1	0	14.1	1	10.2	13
# 10 UNIDAD DE ARCILLA	10.1	1	14.1	1	10.1	13
Clasifica como:	Clase V		Clase V		Clase V	

Nota. Ensayo realizado en laboratorio

Conclusiones: El lote se clasifica como UNIDAD DE ALBAÑILERIA CLASE: LADRILLO

V, de acuerdo a la muestra ensayada por VARIACIÓN DE DIMENSIONES.

Tabla 14

Alabeo

N° DE MUESTRA	CONCAVIDAD (mm)	CONVEXIDAD (mm)
# 1 UNIDAD DE ARCILLA	0.5	1.5
# 2 UNIDAD DE ARCILLA	0.0	2
# 3 UNIDAD DE ARCILLA	1.0	1
# 4 UNIDAD DE ARCILLA	0.5	2.5
# 5 UNIDAD DE ARCILLA	1.0	2.5
# 6 UNIDAD DE ARCILLA	0.5	2
# 7 UNIDAD DE ARCILLA	1.0	3
# 8 UNIDAD DE ARCILLA	1.5	3.5
# 9 UNIDAD DE ARCILLA	0.5	2.5
# 10 UNIDAD DE ARCILLA	1.0	3

Nota. Ensayo elaborado por empresa ladrillera Arequipeña

PROMEDIO CONCAVIDAD = 2.6 mm

Conclusión: El lote se clasifica como UNIDAD DE ALBAÑILERIA CLASE: LADRILLO IV,
de acuerdo a la muestra ensayada por ALABEO.

Tabla 15

Alabeo con mejora

N° DE MUESTRA	CONCAVIDAD (mm)	CONVEXIDAD (mm)
# 1 UNIDAD DE ARCILLA	0.5	1.5
# 2 UNIDAD DE ARCILLA	1.5	2
# 3 UNIDAD DE ARCILLA	0.5	1
# 4 UNIDAD DE ARCILLA	1.0	1
# 5 UNIDAD DE ARCILLA	0.5	1.5
# 6 UNIDAD DE ARCILLA	0.5	2
# 7 UNIDAD DE ARCILLA	1.0	2.5
# 8 UNIDAD DE ARCILLA	1.0	3
# 9 UNIDAD DE ARCILLA	0.5	2.5
# 10 UNIDAD DE ARCILLA	1.0	2

Nota. Ensayo realizado en laboratorio

PROMEDIO CONCAVIDAD = 2.4 mm

Conclusión: El lote se clasifica como UNIDAD DE ALBAÑILERIA CLASE: LADRILLO IV,
de acuerdo a la muestra ensayada por ALABEO.

Tabla 16

Resistencia a la compresión

ESPECIFICACIÓN DE MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	AREA BRUTA cm ²	ALTURA cm	CARGA kg	ESFUERZO DE ROTURA f'b=kg/cm ²	ESFUERZO DE ROTURA f'b=Mpa
M – 1	27/06/2024	166.33	9.94	38102	229	22.46
M – 2	27/06/2024	165.72	10.02	34247	207	20.3
M – 3	27/06/2024	166.1	9.94	39690	239	23.44
M – 4	27/06/2024	163.53	9.89	36061	221	21.67
M – 5	27/06/2024	166.94	9.96	37875	227	22.26

Nota. Ensayo elaborado por empresa ladrillera Arequipeña

MEDIA ARITMETICA X= 225.00 kg/cm²
 DESVIACIÓN ESTANDAR S= 11.78 kg/cm²
 COEFICIENTE DE VARIACIÓN CV= 5.24 %

RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A LA COMPRESIÓN

f'b=	X-S
f'b=	213.22 kg/cm ²
f'b=	20.91 Mpa

Conclusiones:

- Las unidades ensayadas, de acuerdo a su manufactura se clasifican como UNIDADES MECANIZADAS
- Se ha realizado la medición física para la determinación del Área de Vacíos, la cual ha dado como resultado el 50.5% del área total de la unidad por lo tanto la muestra de unidades se considera como UNIDAD HUECA
- El lote de ladrillos se clasifica como UNIDAD DE ALBAÑILERIA CLASE: LADRILLO V, de acuerdo a las muestras ensayadas POR RESISTENCIA A LA COMPRESION.

Tabla 17

Resistencia a la compresión con Mejora

ESPECIFICACIÓN DE MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	AREA BRUTA cm ²	ALTUR A cm	CARGA kg	ESFUERZO DE ROTURA f'b=kg/cm ²	ESFUERZO DE ROTURA f'b=Mpa
M – 1	20/11/2024	166.46	10.03	37656	225	22.06
M – 2	20/11/2024	165.89	9.77	39740	240	23.53
M – 3	20/11/2024	166.76	9.97	37866	227	22.25
M – 4	20/11/2024	165.94	10.01	34567	208	20.39
M – 5	20/11/2024	166.45	9.89	38052	228	22.35

Nota. Ensayo realizado en laboratorio

MEDIA ARITMETICA
DESVIACIÓN
ESTANDAR
COEFICIENTE DE
VARIACIÓN

X= 225.60 kg/cm²
S= 11.46 kg/cm²
CV= 5.08 %

RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A LA COMPRESIÓN

f'b=	X-S
f'b=	214.14 kg/cm ²
f'b=	20.99 Mpa

Conclusiones:

- Las unidades ensayadas, de acuerdo a su manufactura se clasifican como UNIDADES MECANIZADAS
- Se ha realizado la medición física para la determinación del Área de Vacíos, la cual ha dado como resultado el 50.5% del área total de la unidad por lo tanto la muestra de unidades se considera como UNIDAD HUECA
- El lote de ladrillos se clasifica como UNIDAD DE ALBAÑILERIA CLASE: LADRILLO V, de acuerdo a las muestras ensayadas POR RESISTENCIA A LA COMPRESION.

Tabla 18

Absorción

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	PESO SECO (g)	PESO SAT. SUP. SECO (24h) (g)	ABSORCIÓN (%)
MUESTRA 01	27/06/2024	4154.0	4770.0	15.08
MUESTRA 02	27/06/2024	4240.0	4900.0	15.57
MUESTRA 03	27/06/2024	4115.0	4725.0	14.82
MUESTRA 04	27/06/2024	4185.0	4815.0	15.05
MUESTRA 05	27/06/2024	4145.0	4745.0	14.48

Nota. Ensayo elaborado por empresa ladrillera Arequipeña

PROMEDIO ABSORCIÓN	15.00%
---------------------------	--------

Tabla 19

Absorción con Mejora

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	PESO SECO (g)	PESO SAT. SUP. SECO (24h) (g)	ABSORCIÓN (%)
MUESTRA 01	20/11/2024	4210.0	4890.0	16.15
MUESTRA 02	20/11/2024	4165.0	4813.0	15.55
MUESTRA 03	20/11/2024	4189.0	4823.0	15.13
MUESTRA 04	20/11/2024	4154.0	4766.0	14.73
MUESTRA 05	20/11/2024	4123.0	4737.0	14.89

Nota. Ensayo realizado en laboratorio

PROMEDIO ABSORCIÓN	15.29%
---------------------------	--------

4.5. Resultados

Inicialmente se realizó un análisis de la productividad actual del proceso de producción del ladrillo, obteniendo, de eficacia en la producción un 0.84%, en eficiencia de los costos de producción 63.56% y finalmente la productividad de materia prima de 378 unidades/tonelada. Se evaluó la eficiencia inicial de producción del horno de cocción obteniendo un 92.69%.

Asimismo, realizando la evaluación situacional de la empresa ladrillera y de la industria se identificó que en los hornos de las ladrilleras el control de la temperatura es un factor indispensable para la producción de ladrillos, por ello, se analizó el flujo de calor requerido para el proceso de cocción de los ladrillos obteniendo que para una quema se requiere un calor total de 3,928,489.00 *KJ/h*.

A su vez, se analizó el requerimiento de combustible para mantener el calor, determinando que se requiere 98.46 *Kg/h*. Se evaluó el combustible empleado actualmente y opciones de los combustibles mayormente empleados en el sector ladrillero, optando por emplear gas natural al ser un combustible económico y eficaz para la quema de ladrillos.

Considerando la cocción de ladrillos en horno Hoffman que posee la ladrillera de estudio, además de ser el diseño de horno empleado con mayor recurrencia en la industria ladrillera, ya que produce un 95% de producción óptima se analizaron los nuevos datos.

De implementar la propuesta, se obtendrá mayor eficacia en la producción obteniendo un 0.94%, en eficiencia de los costos de producción 59.003% y finalmente la productividad de materia prima de 423 unidades/tonelada.

Se sometió a pruebas de ensayo de características físicas una muestra de 10 ladrillos quemados con el calor y temperatura constante calculada. Las características físicas no tienen una variación significativa en los ladrillos al mantenerse el horno de cocción a una temperatura constante y uniforme, caso contrario, al variar el calor y temperatura se produce la pérdida de ladrillos.

Con la evaluación de los ensayos se comprobó lo analizado anteriormente, es decir, que, para los hornos de cocción de las ladrilleras, el factor más importante es la temperatura y es indispensable mantenerla constante durante la quema de ladrillos.

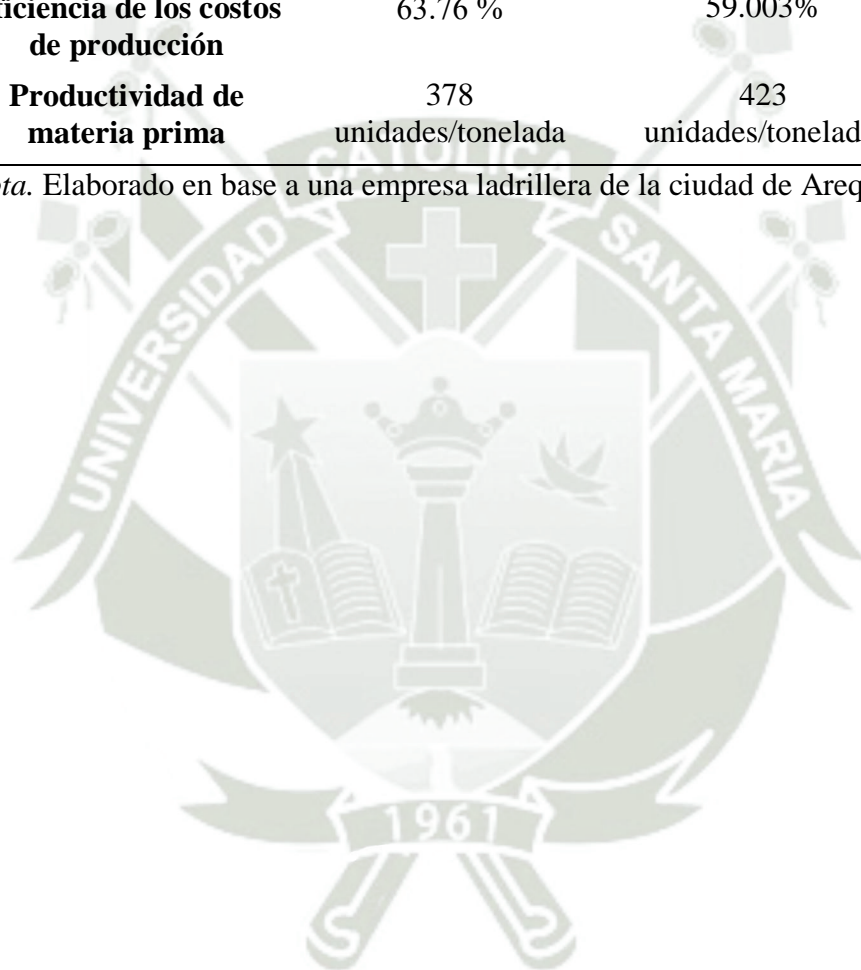
4.5.1. Cuadro comparativo

Tabla 20

Cuadro Comparativo: Eficacia, Eficiencia, Productividad

	REAL	PROPUESTA
Eficacia en la producción	0.84%	0.94%
Eficiencia de los costos de producción	63.76 %	59.003%
Productividad de materia prima	378 unidades/tonelada	423 unidades/tonelada.

Nota. Elaborado en base a una empresa ladrillera de la ciudad de Arequipa.





CAPÍTULO V

5. Evaluación Económica

Para la implementación de la propuesta se consideró implementar un equipo especializado que mantenga la temperatura constante en el horno para la cocción de ladrillos. Teniendo en cuenta la inversión total requerida se consideró los criterios horas hombre en la implementación del equipo, costo de materiales y costo de transporte siendo una inversión total de S/. 402 038.67 soles.

Costos equipo especializado

La cotización contempla costos de embalaje y transporte (Embalajes especiales para transporte marítimo, Desplazamientos hasta el puerto origen de Barcelona (España), gastos de estiba y documentación de exportación, Flete marítimo hasta su destinación en Puerto Callao (Perú), Documentación necesaria para tramitar toda la importación.)

Tabla 21

Cotización equipo especializado para horno

EQUIPOS DE QUEMA PARA COMBUSTIBLES	
SÓLIDOS	
x5 EQUIPOS	66.100,00 €
TOTAL CFR Puerto Callao (Perú),	66.100,00 €
	1 € - 1,08 \$ USD 71.388,00 \$
	1 \$ USD- 3,65 260.566,20
	PEN PEN
GASIFICADOR A FUELOIL	

x1 EQUIPO		28.180,00 €
-----------	--	-------------

TOTAL CFR Puerto Callao (Perú)		28.180,00 €
--------------------------------	--	--------------------

1 € - 1,08 \$ USD	30.434,40 \$
-------------------	--------------

1 \$ USD- 3,65	111.085,56
----------------	------------

PEN	PEN
-----	-----

SONDA/TERMOCUPLA

x5 UNIDADES		230,00 €
-------------	--	----------

TOTAL CFR Puerto Callao (Perú)		230,00 €
--------------------------------	--	-----------------

1 € - 1,08 \$ USD	248,40\$
-------------------	----------

1 \$ USD- 3,65	906,66 PEN
----------------	------------

PEN

**SISTEMA CERRADO DE MEDICIÓN Y
REGULACIÓN**

x1 EQUIPO		6.375,00 €
-----------	--	------------

TOTAL CFR Puerto Callao (Perú)		6.375,00 €
--------------------------------	--	-------------------

1 € - 1,08 \$ USD	6.885,00 \$
-------------------	-------------

1 \$ USD- 3,65	25.130,25
----------------	-----------

PEN	PEN
-----	-----

TOTAL		S/
--------------	--	-----------

397,688.67

Nota. Cotización elaborada por una empresa de Asistencia y Tecnología para la Industria Cerámica.

Tabla 22

Cotización Transporte Callao – Arequipa

TRANSPORTE	S/. 750.00
TOTAL	S/. 750.00

Nota. Cotización elaborada por una empresa de Transportes

Tabla 23

Cotización Instalación

MANO DE OBRA	3600.00
TOTAL	3600.00

Nota. Cotización elaborada por empresa dedicada a soluciones integrales en ingeniería.

Costos instalación Gas Natural

Para el uso de gas natural se averiguo los requerimientos, en los cuales implica la instalación interna como obra, así mismo, se obtuvo una cotización de una empresa proveedora de gas natural que se encarga tanto de la instalación como de proveer el gas natural.

De realizar el cambio de combustible se considera la implementación de los equipos necesarios de instalación interna para el gas natural, la cual contempla un plan de adquisiciones de todos los materiales, accesorios y equipos involucrados siendo una inversión total de 1,243,556.92 soles.

Tabla 24

Cotización instalación interna para gas natural

Ítem	Descripción	US\$
1	Acometida – AIE	6,900.00
2	Expedientes Técnicos PIG1 y PIG2. Certificación	12,247.50
3	ERMP Doble Rama, Ø 3” x 3” Pr Ingreso 06/1.5-02 bar, Pr regulada 1 bar. Caudal 404.00 Sm ³ /h, con Instalación. Eléctrica Anti-explosiva y Pozo a Tierra, incluye medidor FMR G160 de 3” y Unidad Correctora.	36,610.23
4	Obra civil (Caseta), Instalación Eléctrica Anti-Explosiva + Puertas y Ventanas ventiladas.	16,497.43
5	Red Interna de Tuberías HDPE + Acero Ø 3” aérea aprox 70 mts para alimentar 01 Horno.	23,134.73
6	01 Estación de Regulación Secundaria (ERS) para 01 horno de ladrillo.	10,002.39
7	Red de Distribución a Quemadores (Luego de ERS)	46,041.84
8	Quemadores – Sistemas de combustión a gas nat.	133,385.15
Total US Dólares (No incluye IGV)		288,729.26
TOTAL SOLES		S/ 1,053,861.80
TOTAL SOLES CON IGV		S/ 1,243,556.92

Nota. Cotización elaborada por una empresa dedicada a soluciones integrales en ingeniería y puesta en servicio de estaciones y plantas de gas.

Análisis Beneficio-Costo (B/C)

Para calcular los Beneficios de la propuesta de implementación, se consideró que en proyectos de mejora operativa, la producción mejora y los costos bajan, pero no se tiene certeza de que se venderá más.

Se plantea el análisis beneficio-costo sin depender directamente de un aumento en la venta.

Considerando el ahorro en costos de producción, es decir, se considera que si se produce lo mismo, pero con menos costos, se obtiene un beneficio.

Se comparó los costos de producción de los últimos 5 años de la empresa ladrillera con los costos de producción total con la mejora. El beneficio se encuentra en la diferencia de los costos de producción, dado que la propuesta no asegura el incremento en ventas, sin embargo, si una mejora en la cantidad de unidades producidas y disminución en los costos de producción.

Por ende, nuestro beneficio se encuentra en la diferencia de los costos de producción.

Tabla 25

Costos de producción total Real

Periodo	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	TOTAL	
Unidades Producidas	2,599,000	2,637,800	2,617,900	2,630,500	2,620,000	13,105,200	
Recursos	Materia prima	S/597,770.00	S/606,694.00	S/602,117.00	S/605,015.00	S/602,600.00	S/3,014,196.00
	Mano de obra	S/649,750.00	S/659,450.00	S/654,475.00	S/657,625.00	S/655,000.00	S/3,276,300.00
	Energía	S/259,900.00	S/263,780.00	S/261,790.00	S/263,050.00	S/262,000.00	S/1,310,520.00
	Agua	S/25,990.00	S/26,378.00	S/26,179.00	S/26,305.00	S/26,200.00	S/131,052.00
	Combustible	S/123,712.40	S/125,559.28	S/124,612.04	S/125,211.80	S/124,712.00	S/623,807.52
	Total	S/1,657,122.40	S/1,681,861.28	S/1,669,173.04	S/1,677,206.80	S/1,670,512.00	S/8,355,875.52

Nota. Elaborado en base a una empresa ladrillera de la ciudad de Arequipa.

Tabla 26

Costos de producción total con la mejora

Periodo	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	TOTAL	
Unidades Producidas	2,599,000	2,637,800	2,617,900	2,630,500	2,620,000	13,105,200	
Recursos	Materia prima	S/597,770.0 0	S/606,694.0 0	S/602,117.0 0	S/605,015.0 0	S/602,600.0 0	S/3,014,196 .00
	Mano de obra	S/649,750.0 0	S/659,450.0 0	S/654,475.0 0	S/657,625.0 0	S/655,000.0 0	S/3,276,300 .00
	Energía	S/259,900.0 0	S/263,780.0 0	S/261,790.0 0	S/263,050.0 0	S/262,000.0 0	S/1,310,520 .00
	Agua	S/25,990.00	S/26,378.00	S/26,179.00	S/26,305.00	S/26,200.00	S/131,052.0 0
	Combustible	S/77.97	S/79.13	S/78.54	S/78.92	S/78.60	S/393.16
	Total	S/1,533,487 .97	S/1,556,381 .13	S/1,544,639 .54	S/1,552,073 .92	S/1,545,878 .60	S/7,732,461 .16

Nota. Elaboración propia basada en una empresa ladrillera de la ciudad de Arequipa.

- **Beneficios de la propuesta de implementación**

$$\text{Beneficio} = \text{CPr total Real} - \text{CPr total con la mejora}$$

$$\text{Beneficio} = 8,355,875.52 - 7,732,461.16$$

$$\text{Beneficio} = \text{S}/623,414.36$$

Los costos de inversión consideraron la implementación del equipo especializado para mantener la temperatura constante en el horno.

Con una inversión total de S/. 402 038.67 soles. Y la implementación de los equipos para el uso de gas natural con una inversión de S/1,243,556.92. Siendo una inversión total de S/1,646,145.59.

Por falta de liquides económica se contempló un préstamo bancario a 5 años, de acuerdo a la información brindada por la empresa se consideró una tasa de interés del 28%.

Préstamo: S/ 1,646,145.59

Tiempo (años) : 5

Periodos (meses): 60

Interés anual: 28%

$$i_{mensual} = (1 + ie)^{1/12} - 1$$

$$i_{mensual} = (1 + 28\%)^{1/12} - 1$$

$$i_{mensual} = 2.078\%$$

Interés mensual: 2.078%

Valor de cuota: S/48,260.28

Interés total a pagar: S/1,249,471.14

TOTAL A PAGAR DEL PRESTAMO: S/2,895,616.73

Tabla 27

Amortización De Préstamo

N°	CUOTA MENSUAL	CAPITAL	INTERESES	SALDO
				S/1,646,145.59
1	S/48,260.28	S/14,045.59	S/34,214.69	S/1,632,100.00
2	S/48,260.28	S/14,337.52	S/33,922.76	S/1,617,762.48
3	S/48,260.28	S/14,635.53	S/33,624.75	S/1,603,126.95
4	S/48,260.28	S/14,939.72	S/33,320.56	S/1,588,187.23
5	S/48,260.28	S/15,250.24	S/33,010.04	S/1,572,936.99
6	S/48,260.28	S/15,567.21	S/32,693.07	S/1,557,369.78
7	S/48,260.28	S/15,890.77	S/32,369.51	S/1,541,479.01
8	S/48,260.28	S/16,221.06	S/32,039.22	S/1,525,257.96
9	S/48,260.28	S/16,558.21	S/31,702.07	S/1,508,699.75
10	S/48,260.28	S/16,902.36	S/31,357.91	S/1,491,797.38
11	S/48,260.28	S/17,253.68	S/31,006.60	S/1,474,543.71
12	S/48,260.28	S/17,612.29	S/30,647.99	S/1,456,931.42
13	S/48,260.28	S/17,978.35	S/30,281.92	S/1,438,953.07
14	S/48,260.28	S/18,352.03	S/29,908.25	S/1,420,601.04
15	S/48,260.28	S/18,733.47	S/29,526.81	S/1,401,867.56
16	S/48,260.28	S/19,122.84	S/29,137.44	S/1,382,744.72
17	S/48,260.28	S/19,520.31	S/28,739.97	S/1,363,224.42
18	S/48,260.28	S/19,926.03	S/28,334.25	S/1,343,298.39
19	S/48,260.28	S/20,340.19	S/27,920.09	S/1,322,958.20
20	S/48,260.28	S/20,762.95	S/27,497.33	S/1,302,195.25
21	S/48,260.28	S/21,194.50	S/27,065.77	S/1,281,000.74
22	S/48,260.28	S/21,635.03	S/26,625.25	S/1,259,365.72
23	S/48,260.28	S/22,084.70	S/26,175.57	S/1,237,281.01
24	S/48,260.28	S/22,543.73	S/25,716.55	S/1,214,737.28
25	S/48,260.28	S/23,012.29	S/25,247.98	S/1,191,724.99
26	S/48,260.28	S/23,490.60	S/24,769.68	S/1,168,234.39
27	S/48,260.28	S/23,978.84	S/24,281.43	S/1,144,255.55
28	S/48,260.28	S/24,477.24	S/23,783.04	S/1,119,778.31
29	S/48,260.28	S/24,985.99	S/23,274.29	S/1,094,792.32
30	S/48,260.28	S/25,505.32	S/22,754.96	S/1,069,287.00
31	S/48,260.28	S/26,035.44	S/22,224.84	S/1,043,251.56
32	S/48,260.28	S/26,576.58	S/21,683.70	S/1,016,674.98
33	S/48,260.28	S/27,128.97	S/21,131.31	S/989,546.02
34	S/48,260.28	S/27,692.83	S/20,567.45	S/961,853.18

N°	CUOTA MENSUAL	CAPITAL	INTERESES	SALDO
35	S/48,260.28	S/28,268.42	S/19,991.86	S/933,584.76
36	S/48,260.28	S/28,855.97	S/19,404.31	S/904,728.79
37	S/48,260.28	S/29,455.74	S/18,804.54	S/875,273.05
38	S/48,260.28	S/30,067.97	S/18,192.31	S/845,205.09
39	S/48,260.28	S/30,692.92	S/17,567.36	S/814,512.17
40	S/48,260.28	S/31,330.86	S/16,929.41	S/783,181.30
41	S/48,260.28	S/31,982.07	S/16,278.21	S/751,199.23
42	S/48,260.28	S/32,646.81	S/15,613.47	S/718,552.43
43	S/48,260.28	S/33,325.36	S/14,934.92	S/685,227.07
44	S/48,260.28	S/34,018.02	S/14,242.26	S/651,209.05
45	S/48,260.28	S/34,725.08	S/13,535.20	S/616,483.97
46	S/48,260.28	S/35,446.83	S/12,813.45	S/581,037.14
47	S/48,260.28	S/36,183.58	S/12,076.70	S/544,853.56
48	S/48,260.28	S/36,935.65	S/11,324.63	S/507,917.92
49	S/48,260.28	S/37,703.34	S/10,556.94	S/470,214.57
50	S/48,260.28	S/38,487.00	S/9,773.28	S/431,727.58
51	S/48,260.28	S/39,286.94	S/8,973.34	S/392,440.64
52	S/48,260.28	S/40,103.51	S/8,156.77	S/352,337.13
53	S/48,260.28	S/40,937.05	S/7,323.23	S/311,400.09
54	S/48,260.28	S/41,787.91	S/6,472.37	S/269,612.17
55	S/48,260.28	S/42,656.46	S/5,603.82	S/226,955.71
56	S/48,260.28	S/43,543.07	S/4,717.21	S/183,412.64
57	S/48,260.28	S/44,448.10	S/3,812.18	S/138,964.55
58	S/48,260.28	S/45,371.94	S/2,888.34	S/93,592.61
59	S/48,260.28	S/46,314.98	S/1,945.30	S/47,277.63
60	S/48,260.28	S/47,277.63	S/982.65	S/0.00

Nota. Elaboración propia basada en una empresa ladrillera de la ciudad de Arequipa. Se consideró una tasa de interés nominal.

La evaluación económica de la propuesta se basó en el análisis de los beneficios derivados de la reducción de los costos de producción reales, comparados con los costos actuales. Para estimar el costo de la inversión, se consideró únicamente el costo financiero asociado al préstamo,

específicamente los intereses, dado que el capital principal se transforma en activos productivos (herramientas y equipos).

Este enfoque permite aislar el efecto de la eficiencia operativa sobre la rentabilidad del proyecto. En otras palabras, se evaluó cómo la disminución de los costos operativos puede contribuir a la viabilidad económica de la propuesta, asumiendo que la producción se mantiene constante y que el beneficio proviene del ahorro neto generado.

Con ello, se construyó un análisis beneficio-costo.

$$B/C = \frac{\text{Beneficios netos}}{\text{Costos de inversión}}$$

$$B/C = \frac{623,414.36}{1,249,471.14}$$

$$B/C = 0.49$$

Como resultado del análisis de costo beneficio se obtuvo un valor final de 0.49 indicando que la propuesta de mejora no es viable. La implementación de los equipos requiere de una inversión que no es rentable para de la empresa ladrillera de la ciudad de Arequipa.

CONCLUSIONES

PRIMERA: Se realizó un análisis y propuesta de mejora para el proceso de cocción mediante una evaluación sistemática de la dinámica energética en el horno de cocción para que produzca ladrillos de mejor calidad. Se identificó que en la industria ladrillera el control de la temperatura es un factor indispensable, se analizó el flujo de calor requerido para mantener la temperatura de 950°C en el proceso de cocción de los ladrillos, a su vez, el requerimiento de combustible para mantener el calor. Actualmente posee una eficiencia de materia prima de 378 unidades por tonelada de materia prima, al implementar la propuesta incremento a 423 unidades por tonelada con una variación de 45 unidades.

SEGUNDA: El diagnóstico realizado sobre el estado actual del proceso de producción de ladrillos ha permitido identificar que, del total de mermas, el 72.31% se encuentra en el proceso de cocción. Este presenta mayor cantidad de mermas al contar con una baja eficiencia en producción generando que los ladrillos de cocción no aptos para venta que se encuentren en un estado de quema excesiva, mala cocción y con roturas sean desechados o dependiendo de su estado, destilados a la venta como productos de segunda de acuerdo al tipo de ladrillo.

TERCERA: Al desarrollar la propuesta de implementación de un equipo especializado que conserve el calor a $3,928,489 \text{ KJ/h}$, mantendrá la temperatura adecuada y constante de 950°C en el horno durante la quema y estará distribuida de forma uniforme en toda el área del horno, evitara la quema excesiva, mala cocción y perdida de ladrillos. A su vez, un cambio de combustible a gas natural traerá consigo una disminución en costos económicos y será más eficaz para la quema de ladrillos, el horno de estudio requiere 98.46 Kg/h .

CUARTA: Se sometió a pruebas de ensayo de características físicas una muestra de 10 ladrillos quemados con el calor y temperatura constante calculada. Observando que las características físicas no tienen una variación significativa comparado estos resultados con los ladrillos de la empresa al mantenerse el horno de cocción a una temperatura constante y uniforme.

QUINTA: La evaluación de la propuesta de mejora, reflejada en un índice beneficio-costos de 0.49, lo cual indica que no es rentable la implementación de un equipo especializado que mantenga la temperatura constante y la instalación del equipo para uso de gas natural. Acreditando que la aplicación de esta propuesta de mejora no traería mejoras significativas para la empresa ladrillera cuantitativas, sin embargo, si cualitativas, debido que para la empresa representaría una reducción de merma de ladrillos, maximizando su capacidad de producción de estos y disminución de los costos de combustible.

RECOMENDACIONES

PRIMERA: Realizada la investigación, se sugiere la implementación del equipo especializado para mantener el calor adecuado y asegurarse que la temperatura se encuentra constante y uniforme alrededor de toda el área del horno de cocción

SEGUNDA: Se recomienda implementar la revisión constante y rigurosa para comprobar con termocuplas que la temperatura se mantiene constante, estos sensores de temperatura serán utilizados durante las 120 horas de la quema de ladrillos para evitar ladrillos defectuosos.

TERCERA: Es conveniente cambiar de combustible a gas natural, al ser una alternativa económica y óptima, que genera un grado de contaminación bajo, produce menos gases que contribuyen al efecto invernadero, mejora la calidad de los ladrillos al generar temperaturas uniformes y controladas.

CUARTA: Es importante la capacitación constante del personal a cargo de la quema del horno, debido que los equipos sugeridos requieren de un manejo técnico especializado, así como, su mantenimiento.

QUINTA: Es favorable que la empresa negocie el precio del gas con el proveedor directo, una vez analizado el gasto anual global, para obtener un descuento por convenio.

SEXTA: Se recomienda la revisión periódica de la infraestructura del horno para identificar posibles rasgaduras por donde pueda escapar el calor, generando pérdidas de calor, una disminución de temperatura e ineficiencia de quema produciendo ladrillos no aptos.

SÉPTIMO: Finalmente, se recomienda realizar un análisis de ventas o análisis comercial que examine las ventas actuales y proyecte el futuro, a su vez un análisis de mercado donde se realice un diagnóstico de la demanda y competencia. Para evaluar si es beneficioso para la empresa realizar la inversión.



REFERENCIAS

- Álvarez, A. (2021). Gestión de recursos humanos y relación con la productividad laboral en las organizaciones comerciales. *CIENCIAMATRIA*, 7(2), 902-915. doi:10.35381/cm.v7i2.562
- Aponzá, V., & Angola, A. (2022). *Propuesta de un modelo de estandarización del proceso de producción de ladrillos artesanal en la Ladrillera "La Jamaica"*. Universidad José Camacho: Cali.
- Astudillo, S., Jara, N., Albuja, D., Peñaherrera, S., Cabrera, N., & Morocho, H. (2022). Disminución del gradiente de temperaturas en la cámara de cocción de un horno artesanal para la quema de ladrillos y tejas. *XV Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica*, (págs. 22-24). Madrid. Obtenido de <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>
- Bahena, F., Corral, A., Juárez, A., Rosas, J., Reyes, M., & Bedolla, R. (2019). Estudio socioambiental del sector ladrillero artesanal en el municipio de Coyuca de Benítez, Guerrero. *Ciencia en la frontera*, XVI(1), 7-19.
- Becerra, Y., Gonzales, I., Espinosa, L., & Valdés, Y. (2020). Propuesta metodológica para el mejoramiento del proceso buffet del Hotel Tryp Cayo Coco. *Yachasun*, 4(7), 64-78. doi:10.46296/yc.v4i7edespdic.0074
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación*. Bogotá: Pearson Educación.
- Burches, E., & Burches, M. (2020). Efficacy, Effectiveness and Efficiency in the Health Care: The Need for an Agreement to Clarify its Meaning. *IAPHCM*, 4(1), 1-3. doi:10.23937/2643-4512/1710035
- Cámara Peruana de la Construcción. (2021). *IEC N°45 Construcción: Tras doce meses de crecimiento afronta posible estacamiento en el 2022*. Piura. Obtenido de https://www.construccioneindustria.com/iec/descarga/IEC45_0921.pdf
- Cardigan Group. (s.f.). *Cardigan Group*. Obtenido de <https://cardigan.pro/tabla-de-emisividad/>
- Carrero, L., Gómez, B., Velásquez, P., & Santis, A. (2021). Design of a Strategy for the Quality Management System in a Bricks Manufacturing Company in Colombia. *Chemical Engineering Transactions*, 86, 643-648. doi:10.3303/CET2186108
- Carvalho, Y., & García, M. (2022). Método para mejorar de procesos, como estrategia competitiva en las MIPYMES de la provincia de El Oro Ecuador. *Digital Publisher CEIT*, 7(6-2), 39-47. doi:10.33386/593dp.2022.6-2.1453
- Colegio de Ingenieros del Perú. (2019). *Colegio de Ingenieros del Perú*. Obtenido de <https://www.cip.org.pe/publicaciones/2021/enero/portale.070-alba-ileria-sencico.pdf>
- COMEXPERU. (2021). *Las micro y pequeñas empresas en el Perú. Resultados en 2021*. Lima.
- Comisión Europea. (2024). *Líneas directrices*. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas. Obtenido de file:///C:/Users/USER-SYS/Downloads/manuales_gestion_del_ciclo_de_proyecto_final2004.pdf
- Coppelli, G. (2018). La globalización económica del siglo XXI. Entre la mundialización y la desglobalización. *Estudios Internacionales*, 50(191), 57-80. doi:10.5354/0719-3769.2018.52048
- Coronel, E., Quezada, J., & Gárate, P. (2022). Análisis de factores que afectan el rendimiento de mano de obra en instalaciones eléctricas. *Pol. Con.*, 7(10), 1473-1497. doi:10.23857/pc.v7i8

- Crisanto Morales, J. (2022). *Análisis y propuesta de mejora de operaciones de la empresa Ladrillos Fortes - planta Piura*. Piura: Tesis de pregrado (Título de Ingeniero Industrial y de Sistemas). Obtenido de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/5481/ING_2203.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Crisanto, J. (2022). *Análisis y propuestas de mejora de operaciones de la empresa Ladrillos Fortes - plantas Piura*. Universidad de Piura: Piura.
- Cruz, R., Mora, E., & Bonilla, D. (2020). Los retos de la industria ladrillera en la actualidad para la asociación nacional de fabricantes de ladrillo y productos de arcilla. *Germina*, 2(2), 95-101. doi:10.52948/germina.v2i2.212
- Cuitiño Rosales, M., Rotondaro, R., & Esteves, A. (2020). Análisis comparativo de aspectos térmicos y resistencias mecánicas de los materiales y los elementos de la construcción con tierra. *Revista de Arquitectura*, 22(1), 138-151. Obtenido de 10.14718/RevArq.2020.2348
- Del Carpio Lima, M. (2017). *Propuesta de mejora en el área de producción para incrementar las ventas de ladrillos de la Ladrillera Continental S.A.C. - Arequipa*. Arequipa: Tesis de pregrado (Universidad Católica Santa María). Obtenido de <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/5990>
- Del Cid, A., Méndez, R., & Sandoval, F. (2007). *Investigación. Fundamentos y metodología*. México: Pearson Educación.
- Del Puerto, P., & Riveros, S. (2021). Industrialización de ladrillos con utilización de mezcladora mecánica para los oleros de la ciudad de Pilar. *Ciencia Latina*, 5(6). doi:10.37811/cl_rcm.v5i6.1302
- Díaz, J. (2022). *Propuesta de mejora en la planta de Topería de la empresa Nelana S.A.C. para mejorar la productividad de sus procesos, Arequipa 2020*. Universidad Católica de Santa María: Arequipa.
- Feinsilber, S. (2021). Impacto de la globalización y la industria 4.0 en las exportaciones argentinas de manufacturas. *A&P Continuidad*, 8(15), 66-75. doi:10.35305/23626097v8i15.326
- Fontalvo, T., De La Hoz, E., & Morelos, J. (2017). La productividad y sus factores: incidencia en el mejoramiento organizacional. *Dimension empresarial*, 15(2), 47-60. doi:10.15665/rde.v15i2.1375
- Franco, J., Uribe, J., & Agudelo, S. (2021). Factores clave en la evaluación de la productividad: estudio de caso. *CEA*, 7(15), e1800. doi:10.22430/24223182.1800
- García Segura, V. (2018). *Ejecución de fábricas para revestir. EOCB0108*. Málaga: IC Editorial.
- García, R., Florez, E., & Medina, Y. (2018). Caracterización física de las arcillas utilizadas en la fabricación de productos de mampostería para la construcción en Ocaña Norte de Santander (Colombia). *Espacios*, 39(53), 6. Obtenido de <https://www.revistaespacios.com/cited2017/cited2017-06.pdf>
- Gestión. (13 de Abril de 2022). *Asociación Ladrillera de Cerámicas del Perú inicia sus actividades gremiales y presenta sus objetivos*. Obtenido de <https://gestion.pe/economia/asociacion-ladrillera-ceramicos-peru-inicia-actividades-gremiales-presenta-objetivos-144325-noticia/?ref=gesr>
- González, L., Gutierrez, Y., Naranjo, M., Cepero, Z., Reyes, K., Del Carmen, M., . . . Chacon, O. (2019). Evaluación preliminar y actualización de las mermas productivas para mejorar la rentabilidad del Instituto Finlay de vacunas. *Vaccimonitor*, 27(2), 37-44. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-028X2018000200001&lng=e

- Gordillo, J., Sánchez, Y., Terrones, A., & Cruz, M. (2020). La productividad académica en las instituciones de educación superior en México: de la teoría a la práctica. *Propósitos y Representaciones*, 8(3), e441. doi:10.20511/pyr2020.v8n3.441
- Guerrero, G., Acevedo, C., & Escobar, N. (2018). *Eficiencia energética en hornos de producción de materiales cerámicos*. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana.
- Guerrero, G., Espinel, E., & Sánchez, H. (2017). Análisis de temperaturas durante la cocción de ladrillos macizos y sus propiedades. *Revista Tecnura*, 21(51), 118-131. doi:10.14483/udistrital.jour.tecnura.2017.1.a09
- Guerrero, M. (2020). *Propuesta de diseño de un sistema automatizado en la etapa de cocción para mejorar la productividad de la empresa Mochica Ladrillos y Agregados E.I.R.L.* Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.
- Hernández, L., & Martínez, M. (2018). *Mejora en el sistema productivo de Ladrillería La Clay S.A. a través del análisis de la cadena de valor*. Universidad de Cartagena: Cartagena de Indias D.T. Y.C.
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. México: McGraw Hill Interamericana Editores, S.A. de C. V.
- Instituto Nacional de Calidad – INACAL. (2017).
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2022). *Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales 2022*. Lima. doi:https://www.gob.pe/institucion/inei/informes-publicaciones/3799078-anuario-de-estadisticas-ambientales-2022
- Jaen, F., Villanueva, V., & Novillo, E. (2020). Análisis y propuesta de mejora de procesos aplicando 5s en una empresa de mantenimiento. Caso Ecuaclima. *Digital Publisher CEIT*, 5(3), 27-37. doi:10.33386/593dp.2020.3.207
- Jaimés, L., Luzardo, M., & Rojas, M. (2018). Factores determinantes de la productividad laboral en pequeñas y medianas empresas de confecciones del área metropolitana de Bucaramanga, Colombia. *Información Tecnológica*, 29(5), 175-186. doi:10.4067/S0718-07642018000500175
- Jiménez, A. (2019). Productividad en obras de construcción. *Tecnología Vital*, 2(6), 40-43.
- Karmaoui, D., Al Balkhy, W., Danel, T., Jullien, A., Lafhaj, Z., & Chapiseau, C. (2022). IoT-Based Architecture to Improve Workflow in bricks manufacturing. *MOC*, 27-29. doi:10.29173/mocs263
- Lara, J. (2021). *Mejora del proceso de cocción de ladrillo artesanal en horno tipo MK2 por simulación numérica*. Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas: Guanajuato.
- Lara, J. (2021). *Mejora del proceso de cocción de ladrillo artesanal en horno tipo MK2 por simulación numérica*. León: Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas CIATEC.
- Manzano, F. (2018). *Ejecución de fábricas a cara vista. EOCB0108* (2 ed.). Málaga: IC Editorial.
- Martínez, J., & Calambas, Y. (2020). *Propuesta de mejora para optimizar el proceso de elaboración de ladrillo en la microempresa Buena Vista ubicada en el corregimiento el Zarzal (Tambo)*. Popayán: Fundación Universitaria Popayán.
- MDPI. (2024). Obtenido de <https://www.mdpi.com/2073-4433/10/3/107>
- Medina, A., & Jaramillo, J. (2019). Recuperación energética y análisis térmico del proceso de cocción en la industria cerámica. *UIS Ingenierías*, 18(1), 81-89. doi:10.18273/revuin.v18n1-2019007
- Mendoza, U., & Solís, F. (2022). Calidad, conocimiento e innovación de procesos de manufactura en Ciudad Juárez, México. *Retos*, 12(23), 83-109. doi:10.17163/ret.n23.2022.05

- Ministerio de producción. (14 de Julio de 2022). *gob.pe*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/produce/noticias/631677-produce-cuenta-con-estrategia-de-cinco-ejes-para-el-fortalecimiento-de-las-mype>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (1 de Agosto de 2022). *Perú: Evolución Mensual de la actividad del sector construcción (PBI construcción): 2016-2022*. Obtenido de <https://www3.vivienda.gob.pe/destacados/construccion.aspx>
- Moro, J. (2023). *El proyecto constructivo en arquitectura - del principio al detalle* (Vol. 1). Stuttgart: Verlag GmbH Germany. doi:10.1007/978-3-662-66558-9
- Núñez, T., & Peralta, S. (2020). *Propuesta de mejora enfocada a la distribución de planta de una ladrillera mecanizada en Arequipa*. Universidad Católica San Pablo: Arequipa.
- Padrón Quindemil, F., Díaz Contino, C., & Flores García, M. (2022). Criterios para la evaluación de la eficiencia de proyectos I+D+i en universidades públicas. *ReHuSo*, 7(2), 119-136. doi:10.5281/zenodo.6537618
- Parrales Carbajal, V., Aguirre Sanabria, M., Ledesma Álvarez, G., & Garofalo Velasco, D. (2022). Gestión administrativa factor fundamental para la productividad en las pequeñas y medianas empresas. *Journal of Science and Research*, 7(2), 136-150. Obtenido de <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/2663>
- Patel, P. (2021). Efficacy, Effectiveness, and Efficiency. *National Journal of Community Medicine [en línea]*, 12(2), 33-39. Obtenido de <https://njcmindia.com/index.php/file/article/view/290>
- Pérez, D., & Cañas, L. (2020). *Propuesta de mejoramiento en el sistema productivo de una ladrillera del norte del Valle utilizando herramientas de ingeniería industrial*. Universidad del Valle: Zarzal.
- Pineda, A., & Torres, I. (2020). *Análisis y propuesta de mejora del proceso de fabricación de ladrillos en la empresa ladrillera Maxx S.A.C. de la ciudad de Tacna, 2020*. Universidad Privada de Tacna: Tacna.
- R. Evans, J., & Lindsay, W. (2015). *Gestión de la calidad total*.
- Ramakrishnan, K., Chellappa, V., & Chandrasekarabarathi, S. (2023). Manufacturing of Low-Cost Bricks Using Waste Materials. *Mater. Proc.*, 13(1), 25. doi:10.3390/materproc2023013025
- Ramírez, G., Magaña, D., & Ojeda, R. (2022). Productividad, aspectos que benefician a la organización. Revisión sistemática de la producción científica. *Trascender, Contabilidad y Gestión*, 7(20), 189-208. doi:10.36791/tcg.v8i20.166
- Ramírez, G., Magaña, D., & Ojeda, R. (2022). Productividad, aspectos que benefician a la organización. Revisión sistemática de la producción científica. *Trascender, Contabilidad y Gestión*, 7(20), 189-208. doi:10.36791/tcg.v8i20.166
- Ramos, B., & López, J. (2019). El ladrillo de bloque de tierra comprimida: una alternativa para reducir la carga ambiental. *Innovare*, 8(2), 88-93. doi:10.5377/innovare.v8i2.9061
- ResearchGate. (2023). Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/376159785>
- Restrepo, M. Á. (2011). *Dirección y gestión de procesos*. Ecoe Ediciones.
- Ruiz, B., & Ortecho, S. (2021). *Propuesta de mejora en áreas de producción y seguridad para reducir costos operacionales en línea de bloques de concreto en una empresa bloquetera, Trujillo 2021*. Trujillo: Universidad Privada del Norte.
- Singh, S., Solkhe, A., & Gautam, P. (2022). What do we know about Employee Productivity?: Insights from Bibliometric Analysis. *Journal of Scientometric Res.*, 11(2), 183-198. doi:10.5530/jscires.11.2.20
- Sinnott, R., & Towler, G. (2019). *Diseño de ingeniería química*. Editorial Reverté S.A.

- Sousa, J. (2020). *Mejora del proceso productivo para aumentar la rentabilidad en la ladrillera San Juan del Norte SAC, Pacanguila, La Libertad, 2019*. Universidad Cesar Vallejo: Chiclayo.
- Springer, Berlín, & Heidelberg. (2008). *Bosch*. Obtenido de <https://www.boiler-planning.com/es/herramientas/principios-basicos-del-vapor-de-agua/tabla-de-vapor-de-agua.html>
- Torres, G., Rodríguez, J., Inca, A., Castelo, Á., & Ríos, E. (Abril-Junio de 2019). La gestión por proceso un sistema de control eficiente en las empresas. *Ciencia Digital*, 3(2.6), 495-514. doi:10.33262/cienciadigital.v3i2.6.600
- US EPA. (2007). Obtenido de <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=P100EF3D.txt>
- VaxaSoftware. (2017). Obtenido de https://www.vaxasoftware.com/doc_edu/qui/caloresph2o.pdf
- VaxaSoftware. (2017). *VaxaSoftware*. Obtenido de https://www.vaxasoftware.com/doc_edu/fis/condutermica.pdf
- Velasco, S., & Souza, L. (2018). *Propuesta de mejora en los procesos contratación del departamento de recursos humanos de Tivit-Colombia S.A.S*. Universidad de la Salle: Bogotá.
- Vigil, A., & Quispe, J. (2021). *Propuesta de mejora para reducir las mermas en el proceso de fabricación de ladrillo pandereta en la empresa Mochica Ladrillos y Agregados EIRL*. Universidad Tecnológica del Perú: Chiclayo.
- Wikipedia. (s.f.). *Wikipedia*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Gas_natural
- wood., F. (. (s.f.). Obtenido de <https://www.fao.org/4/ab780e/ab780e04.htm>
- Zaldivar, D., Valenzuela, C., Gómez, C., & Loja, G. (2022). Manual de procedimientos para el proceso productivo de la empresa Hilanderías Unidas S.A. *Extraordinario*, 3(2), 11-37. doi:10.47606/ACVEN/PH0065
- Zultiniar, Fadli, A., Yenti, S., Drastinawati, & Thariq, M. (2018). Fabricaton of brick without burning process. *OP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*(345), 1-5. doi:10.1088/1757-899X/345/1/012017

ANEXOS

Anexo N°1. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
GENERAL	GENERAL	GENERAL	INDEPENDIENTE	TIPO Y NIVEL
¿Cómo el análisis y propuesta de mejora del proceso de cocción en la producción de ladrillos incrementaría la productividad de una empresa ladrillera?	Desarrollar un análisis y propuesta de mejora en el proceso de producción de ladrillos para incrementar la productividad de una empresa ladrillera.	El análisis y diseño de la propuesta de mejora del proceso de cocción en la producción de ladrillos incrementará la productividad de una empresa ladrillera.	Propuesta de mejora Pérdidas de materia prima Propuesta de diseño para el proceso crítico	TIPO: No experimental Aplicada NIVEL: Descriptiva
ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	ESPECÍFICAS	DEPENDIENTE	METODOLOGÍA
¿Cuál es el estado situacional del proceso de ladrillos que afecta la productividad de una empresa ladrillera?	Efectuar un análisis situacional de las pérdidas de materia en el proceso de producción de ladrillos que afecta la productividad de una empresa ladrillera.	El estado situacional determinará pérdidas en mermas de materiales en el proceso de cocción del ladrillo que afectan la productividad de la empresa ladrillera.	Productividad: Productividad de MP Eficacia Eficiencia	POBLACIÓN: Procesos, materiales, operarios de la empresa Ladrillería Tauro SAC. MUESTRA: Producción mensual de ladrillos TÉCNICA: Observación Análisis documental INSTRUMENTO: Fichas de análisis Análisis de contenido
¿Cómo se desarrollará el diseño de una propuesta de mejora para el proceso de cocción en la producción de ladrillos que logre incrementar la productividad de una empresa ladrillera?	Diseñar una propuesta de mejora e indicadores de control y seguimiento para el proceso de producción de ladrillos que logre incrementar la productividad de una empresa ladrillera.	Se diseñará una propuesta de mejora para el proceso de cocción en la producción de ladrillos que incrementará la productividad de una empresa ladrillera.		
¿Cuál es el costo beneficio de la propuesta de mejora en el proceso de cocción de la producción de ladrillos para incrementar la productividad de una empresa ladrillera?	Evaluar el costo beneficio de la propuesta de mejora en el proceso de producción de ladrillos para incrementar la productividad de una empresa ladrillera.	Se obtendrá un resultado óptimo del costo beneficio de la propuesta de mejora en el proceso cocción de la producción de ladrillos para incrementar la productividad de una empresa ladrillera.		

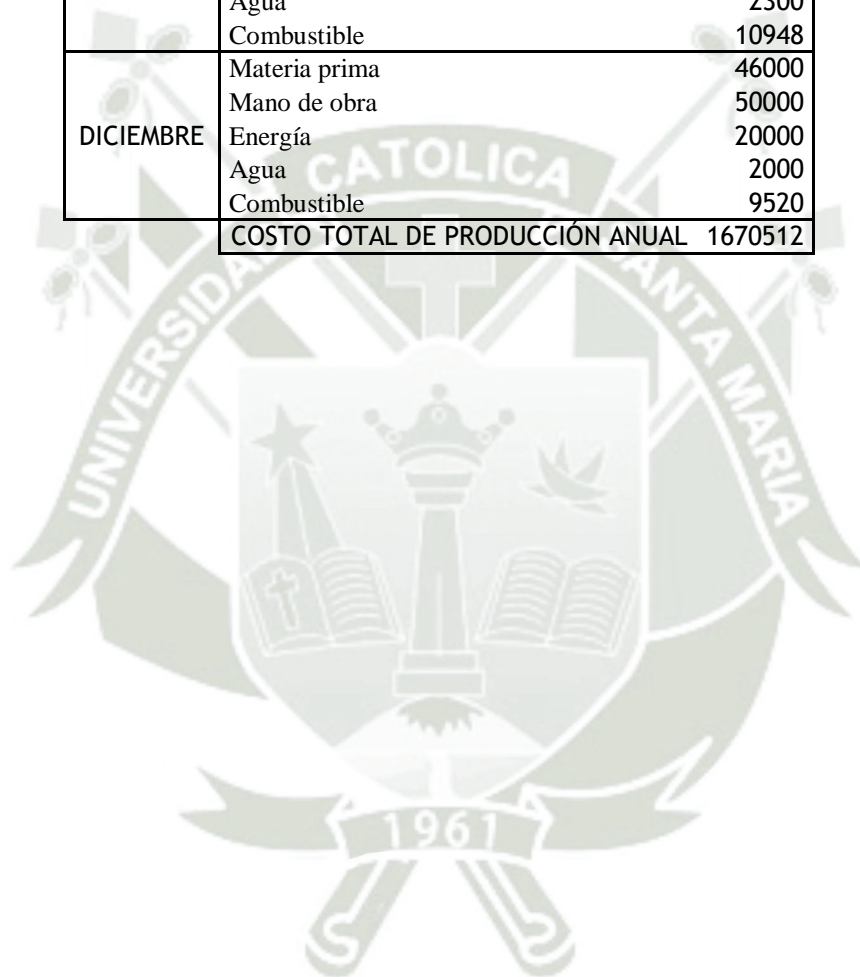
Anexo N°2. Mermas del proceso de Cocción, Secado y Moldeado

Mes	Proceso	Mermas (unidades)	Mes	Proceso	Mermas (unidades)
Enero	Cocción	28200	Julio	Cocción	32430
	Secado	7000		Secado	8050
	Moldeado	3800		Moldeado	4370
Febrero	Cocción	32430	Agosto	Cocción	32430
	Secado	8050		Secado	8050
	Moldeado	4370		Moldeado	4370
Marzo	Cocción	28200	Setiembre	Cocción	28200
	Secado	7000		Secado	7000
	Moldeado	3800		Moldeado	3800
Abril	Cocción	32430	Octubre	Cocción	31020
	Secado	8050		Secado	7700
	Moldeado	4370		Moldeado	4180
Mayo	Cocción	35250	Noviembre	Cocción	32430
	Secado	8750		Secado	8050
	Moldeado	4750		Moldeado	4370
Junio	Cocción	28200	Diciembre	Cocción	28200
	Secado	7000		Secado	7000
	Moldeado	3800		Moldeado	3800

Anexo N°3. Costos de producción

	Recursos	Costos (soles)
ENERO	Materia prima	46000
	Mano de obra	50000
	Energía	20000
	Agua	2000
	Combustible	9520
FEBRERO	Materia prima	52900
	Mano de obra	57500
	Energía	23000
	Agua	2300
	Combustible	10948
MARZO	Materia prima	46000
	Mano de obra	50000
	Energía	20000
	Agua	2000
	Combustible	9520
ABRIL	Materia prima	52900
	Mano de obra	57500
	Energía	23000
	Agua	2300
	Combustible	10948
MAYO	Materia prima	57500
	Mano de obra	62500
	Energía	25000
	Agua	2500
	Combustible	11900
JUNIO	Materia prima	46000
	Mano de obra	50000
	Energía	20000
	Agua	2000
	Combustible	9520
JULIO	Materia prima	52900
	Mano de obra	57500
	Energía	23000
	Agua	2300
	Combustible	10948
AGOSTO	Materia prima	52900
	Mano de obra	57500
	Energía	23000
	Agua	2300
	Combustible	10948
SETIEMBRE	Materia prima	46000
	Mano de obra	50000
	Energía	20000
	Agua	2000
	Combustible	9520

	Recursos	Costos (soles)
OCTUBRE	Mano de obra	
	Energía	22000
	Agua	2200
	Combustible	10472
NOVIEMBRE	Materia prima	52900
	Mano de obra	57500
	Energía	23000
	Agua	2300
	Combustible	10948
DICIEMBRE	Materia prima	46000
	Mano de obra	50000
	Energía	20000
	Agua	2000
	Combustible	9520
COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN ANUAL		1670512



Anexo N°4. Clasificación de ladrillos de acuerdo a su resistencia

TABLA 1					
CLASE DE UNIDAD DE ALBAÑILERÍA PARA FINES ESTRUCTURALES					
CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSIÓN (máxima en porcentaje)			ALABEO (máximo en mm)	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN f'_b mínimo en MPa (kg/cm ²) sobre área bruta
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más de 150 mm		
Ladrillo I	± 8	± 6	± 4	10	4,9 (50)
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	8	6,9 (70)
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	6	9,3 (95)
Ladrillo IV	± 4	± 3	± 2	4	12,7 (130)
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	2	17,6 (180)

Nota. De “Propuesta de NORMA E.070 ALBAÑILERÍA del Reglamento Nacional de Edificaciones” por Colegio de Ingenieros del Perú, 2019.



Anexo N°5. Conductividades térmicas

Material	λ W/(m·K)	Material	λ W/(m·K)
Acero	47 - 58	Hielo	2
Acero inoxidable	12 - 45	Hierro	80,2
Agua	0,58	Hormigón	1,7
Aire	0,025	Ladrillo	0,80
Alcohol	0,16	Ladrillo refractario	0,47 - 1,05
Alpaca	29,1	Latón	81 - 116
Aluminio puro	237	Litio	301,2
Amianto	0,04	Madera	0,04 - 0,4
Bronce	116 - 186	Mercurio	83,7
Caucho	0,16	Mica	0,35
Cemento Portland	0,29	Níquel	52,3
Cinc	106 - 140	Oro	318
Cobre	401	Parafina	0,21
Corcho	0,03 - 0,04	Piedra arenisca	2,4
Diamante	900 - 2300	Plata	429
Estaño	64,0	Plomo	35,0
Fibra de vidrio	0,03 - 0,07	Polipropileno	0,12
Glicerina	0,29	Tierra húmeda	0,8
Helio (superfluidez)	infinito	Vidrio	0,6 - 1,1

Nota. De “Tabla de conductividad térmica” por VaxaSoftware, 2017.

Anexo N°6. Tabla de conversiones

TABLA DE CONVERSIONES		
1 Watt (W)	=	1 Joule (J)/segundo(s)
1 Watt (W)	=	3,600 Joule (J)/hora(h)
°C	=	273.15 °K
1 kg	=	0,001 m ³



Anexo N°7. Material y Emisividad

Aluminium: anodised 0.77	Latón: oxidado 0.61
Aluminium: polished 0.05	Ladrillo: común 0.81-0.86
Asbestos: board 0.96	Ladrillo: común, rojo 0.90
Asbestos: fabric 0.78	Ladrillo: paramento, rojo 0.92
Asbestos: paper 0.93	Ladrillo: arcilla refractaria 0.75
Asbestos: slate 0.96	Ladrillo: mampostería 0.94
Brass: highly polished 0.03	Ladrillo: rojo 0.90
Carbono: hollín de vela 0.95	Cobre: oxidado 0.65
Carbono: grafito, superficie limada 0.98	Cobre: pulido 0.05
Carbono: purificado 0.80	Esmalte: lacado 0.90
Cemento 0.54	Tejido: arpillera, verde 0.88
Carbón vegetal: polvo 0.96	Tejido: arpillera, sin teñir 0.87
Tablero aglomerado: sin tratar 0.90	Fibra de vidrio 0.75
Cromo: pulido 0.10	Tablero de fibra: poroso, sin tratar 0.85
Arcilla: cocida 0.91	Tablero de fibra: duro, sin tratar 0.85
Hormigón 0.92	Relleno: blanco 0.88
Hormigón: seco 0.95	Ladrillo refractario 0.60
Hormigón: rugoso 0.92- 0.97	Fórmica 0.94
Tubo galvanizado 0.46	Yeso 0.8-0.9
Vidrio 0.92	Madera dura: en sentido transversal a la fibra 0.82
Vidrio: material químico (parcialmente transparente) 0.97	Madera dura: en sentido longitudinal a la fibra 0.68-0.73
Vidrio: esmerilado 0.96	Hielo 0.97
Vidrio: esmerilado 0.70	Hierro: muy oxidado 0.91-0.96
Vidrio: placa pulida 0.94	Laca: baquelita 0.93
Vidrio: pulido 0.025	Laca: negro mate 0.97
Oro: sin pulir 0.47	Negro de humo 0.96

Nota. (Cardigan Group, s.f.)

Anexo N°8 Tablas termodinámicas - Tabla de vapor de agua

Presión positiva	Presión absoluta	Temperatura de ebullición	Entalpía			Densidad	
			Agua	Vapor saturado	Evaporación	Agua	Vapor saturado
p	p	t	h'	h''	r	ρ'	ρ''
[barg]	[bara]	[°C]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kg/m³]	[kg/m³]
- 0.9	0.1	45.8	191.8	2,583.90	2,392.10	989.8	0.0682
- 0.8	0.2	60.1	251.4	2,608.90	2,357.50	983.1	0.1308
- 0.7	0.3	69.1	289.2	2,624.60	2,335.30	978.3	0.1913
- 0.6	0.4	75.9	317.6	2,636.10	2,318.50	974.3	0.2504
- 0.5	0.5	81.3	340.5	2,645.20	2,304.70	971	0.3086
- 0.4	0.6	85.9	359.8	2,652.90	2,293.00	968	0.3661
- 0.3	0.7	89.9	376.7	2,659.40	2,282.70	965.4	0.4229
- 0.2	0.8	93.5	391.6	2,665.20	2,273.50	962.9	0.4791
- 0.1	0.9	96.7	405.1	2,670.30	2,265.20	960.7	0.5349
0	1	99.6	417.5	2,674.90	2,257.50	958.6	0.5903
0.1	1.1	102.3	428.8	2,679.20	2,250.40	956.7	0.6453
0.2	1.2	104.8	439.3	2,683.10	2,243.80	954.9	0.7001
0.3	1.3	107.1	449.1	2,686.60	2,237.50	953.1	0.7545
0.4	1.4	109.3	458.4	2,690.00	2,231.60	951.5	0.8086
0.5	1.5	111.4	467.1	2,693.10	2,226.00	949.9	0.8625
0.6	1.6	113.3	475.3	2,696.00	2,220.70	948.4	0.9162
0.7	1.7	115.1	483.2	2,698.80	2,215.60	947	0.9697
0.8	1.8	116.9	490.7	2,701.40	2,210.70	945.6	1.023
0.9	1.9	118.6	497.8	2,703.90	2,206.10	944.2	1.0761
1	2	120.2	504.7	2,706.20	2,201.60	942.9	1.129
1.5	2.5	127.4	535.4	2,716.50	2,181.20	937	1.3914
2	3	133.5	561.5	2,724.90	2,163.40	931.8	1.6507
2.5	3.5	138.9	584.3	2,732.00	2,147.70	927.1	1.9077

Nota. De “Características físicas del agua y el vapor según IAPWS IF-97”, por Springer, Berlín, & Heidelberg, 2008.

Anexo N°9 Tablas termodinámicas - Calor específico del agua entre 0 °C y 100 °C

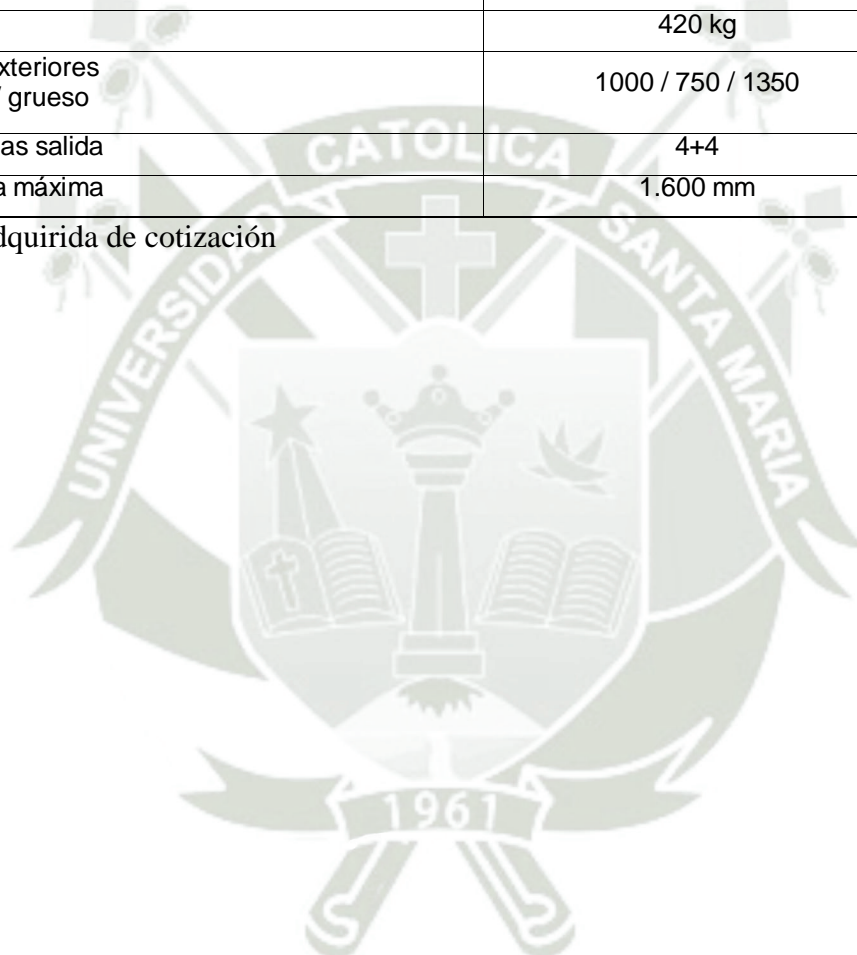
Temp. °C	Calor específico		Temp. °C	Calor específico		Temp. °C	Calor específico	
	$\frac{\text{kJ}}{\text{K}\cdot\text{kg}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{K}\cdot\text{kg}}$		$\frac{\text{kJ}}{\text{K}\cdot\text{kg}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{K}\cdot\text{kg}}$		$\frac{\text{kJ}}{\text{K}\cdot\text{kg}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{K}\cdot\text{kg}}$
0 (hielo)	1,960	0,468	34	4,178	0,999	68	4,189	1,001
0	4,217	1,008	35	4,178	0,999	69	4,189	1,001
1	4,213	1,007	36	4,178	0,999	70	4,190	1,001
2	4,210	1,006	37	4,178	0,999	71	4,190	1,001
3	4,207	1,005	38	4,178	0,999	72	4,191	1,002
4	4,205	1,005	39	4,179	0,999	73	4,192	1,002
5	4,202	1,004	40	4,179	0,999	74	4,192	1,002
6	4,200	1,004	41	4,179	0,999	75	4,193	1,002
7	4,198	1,003	42	4,179	0,999	76	4,194	1,002
8	4,196	1,003	43	4,179	0,999	77	4,194	1,002
9	4,194	1,002	44	4,179	0,999	78	4,195	1,003
10	4,192	1,002	45	4,180	0,999	79	4,196	1,003
11	4,191	1,002	46	4,180	0,999	80	4,196	1,003
12	4,189	1,001	47	4,180	0,999	81	4,197	1,003
13	4,188	1,001	48	4,180	0,999	82	4,198	1,003
14	4,187	1,001	49	4,181	0,999	83	4,199	1,004
15	4,186	1,000	50	4,181	0,999	84	4,200	1,004
16	4,185	1,000	51	4,181	0,999	85	4,200	1,004
17	4,184	1,000	52	4,182	1,000	86	4,201	1,004
18	4,183	1,000	53	4,182	1,000	87	4,202	1,004
19	4,182	1,000	54	4,182	1,000	88	4,203	1,005
20	4,182	1,000	55	4,183	1,000	89	4,204	1,005
21	4,181	0,999	56	4,183	1,000	90	4,205	1,005
22	4,181	0,999	57	4,183	1,000	91	4,206	1,005
23	4,180	0,999	58	4,184	1,000	92	4,207	1,005
24	4,180	0,999	59	4,184	1,000	93	4,208	1,006
25	4,180	0,999	60	4,185	1,000	94	4,209	1,006
26	4,179	0,999	61	4,185	1,000	95	4,210	1,006
27	4,179	0,999	62	4,186	1,000	96	4,211	1,006
28	4,179	0,999	63	4,186	1,000	97	4,212	1,007
29	4,179	0,999	64	4,187	1,001	98	4,213	1,007
30	4,178	0,999	65	4,187	1,001	99	4,214	1,007
31	4,178	0,999	66	4,188	1,001	100	4,216	1,008
32	4,178	0,999	67	4,188	1,001	100 (gas)	2,080	0,497
33	4,178	0,999						

Nota. De “Propiedades del Agua en Función de la Temperatura”, por VaxaSoftware, 2017.

Anexo N°10 Ficha técnica reducida Equipo de quema para combustible solido

Modelo	GCS08
Capacidad de la tolva	105 l
Motor accionamiento	3kW 380Vac a 3000 rpm
Motor eje alimentación	Motovariador trifásico 0.56 kW 380Vac de 6 a 33 rpm
Capacidad alimentación máxima	150 kg/hora
Consumo óptimo	Variable de 50 a 140 kg/hora
Granulometría máxima	Láminas de 30 mm
Peso en Vacío	420 kg
Dimensiones exteriores Largo / ancho / grueso	1000 / 750 / 1350
Número boquillas salida	4+4
Longitud tobera máxima	1.600 mm

Nota. Ficha Adquirida de cotización



Anexo N°11 Ficha técnica reducida Gasificador a Fueloil

Modelo	ASN5
Tipo de regulación	Volumétrica
Dispositivo de purga automática	Neumático
Potencia / boquilla de combustión	10.000 – 150.000 kCal
Boquillas por equipo	4+4
Potencia total del equipo	80.000 – 1.200.000 kCal
Motor accionamiento	3kW 380Vac a 3000 rpm
Peso en Vacío	525 kg
Dimensiones exteriores Largo / ancho / grueso	2500 / 750 / 950
Longitud tobera máxima	1.600 mm

Nota. Ficha Adquirida de cotización



Anexo N°12. Imagen frontal del horno de cocción de una ladrillera en la ciudad de Arequipa



Anexo N°13. Imagen puerta de ingreso de ladrillos del horno de cocción de una ladrillera en la ciudad de Arequipa



Anexo N°13. Equipo de quema de combustible sólido del horno de cocción de una ladrillera en la ciudad de Arequipa



Anexo N°14. Combustible sólido del horno de cocción de una ladrillera en la ciudad de Arequipa

