



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
TECNOLOGÍA SUPERIOR EN MECÁNICA INDUSTRIAL
MODALIDAD DUAL

**OPTIMIZACIÓN DE UN CUARTO DE SECADO PARA PIEZAS CERÁMICAS DE LA
FÁBRICA MESTIZA S.A.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Tecnólogo Superior en Mecánica Industrial

AUTOR: ROBERTO JOSÉ CRESPO ACOSTA

TUTOR: FRAN ZHOVANI REINOSO AVECILLAS, Ph.D.

Cuenca - Ecuador

2025

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Roberto José Crespo Acosta con documento de identificación N° 0104745088 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 14 de febrero del 2025

Atentamente,



Roberto José Crespo Acosta

0104745088

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Roberto José Crespo Acosta con documento de identificación N° 0104745088, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto técnico: “Optimización de un cuarto de secado para piezas cerámicas de la fábrica Mestiza S.A.”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Tecnólogo Superior en Mecánica Industrial, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 14 de febrero del 2025

Atentamente,



Roberto José Crespo Acosta

0104745088

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Fran Zhovani Reinoso AVECILLAS con documento de identificación N° 0102257425, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: OPTIMIZACIÓN DE UN CUARTO DE SECADO PARA PIEZAS CERÁMICAS DE LA FÁBRICA MESTIZA S.A., realizado por Roberto José Crespo Acosta con documento de identificación N° 0104745088, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 14 de febrero del 2025

Atentamente,



Fran Zhovani Reinoso AVECILLAS, Ph.D.

0102257425

Dedicatoria y Agradecimiento

Agradezco a mis padres quienes me han apoyado incondicionalmente en todo mi trayecto universitario y formación personal a lo largo de mi vida.

Agradezco al Ing. Fran Reinoso y a la Universidad Politécnica Salesiana por su apoyo y orientación para la realización de este proyecto de titulación.

Resumen

El presente proyecto de titulación tiene como objetivo principal realizar la optimización de un cuarto de secado de piezas cerámicas, para la empresa Mestiza S.A. Esta compañía, ubicada en la ciudad de Paute, se dedica a la producción de artículos cerámicos, con una línea de productos que incluye vajillas y macetas cerámicas de alta calidad. En una primera fase del proyecto, se llevó a cabo una evaluación exhaustiva del desempeño del cuarto de secado en su estado original, aunque este sistema cumplía con su función básica, se identificaron importantes limitaciones en términos de eficiencia operativa, reflejadas en costos elevados y tiempos prolongados de producción. A partir de este análisis inicial, se desarrollaron estudios detallados con el propósito de proponer y ejecutar mejoras y alternativas orientadas a optimizar tanto la funcionalidad como la eficiencia del sistema. El enfoque metodológico de este proyecto se fundamentó en tres aspectos esenciales para el desempeño de un cuarto de secado industrial: control de la temperatura, manejo del flujo de aire y extracción eficiente de humedad, cada uno de estos elementos fue evaluado y, en algunos casos optimizados. Los resultados obtenidos tras la implementación de estas mejoras fueron altamente satisfactorios, se logró una reducción significativa en los costos operativos, así como una disminución en los tiempos requeridos para completar este proceso.

Palabras clave: cuarto de secado, piezas cerámicas, Mestiza S.A.

Abstract

The main objective of this graduation project is to optimize a drying room for ceramic pieces for the company Mestiza S.A. This company, located in the city of Paute, is dedicated to the production of ceramic items, with a product line that includes high-quality tableware and ceramic pots. In the initial phase of the project, a comprehensive evaluation of the drying room's performance in its original state was conducted. Although the system fulfilled its basic function, significant limitations were identified in terms of operational efficiency, reflected in high costs and prolonged production times. Based on this initial analysis, detailed studies were developed to propose and implement improvements and alternatives aimed at optimizing both the functionality and efficiency of the system. The methodological approach of this project was based on three essential aspects for the performance of an industrial drying room: temperature control, air flow management, and efficient moisture extraction. Each of these elements was evaluated and, in some cases, optimized. The results obtained after implementing these improvements were highly satisfactory, achieving a significant reduction in operational costs as well as a decrease in the time required to complete this process.

Keywords: drying room, ceramic pieces, Mestiza S.A.

Índice

| | |
|---|-----|
| Declaratoria de responsabilidad y autoría | II |
| Cesión de derechos de autor. | II |
| Certificado de dirección del trabajo de titulación..... | IV |
| Dedicatoria y Agradecimiento..... | V |
| Resumen | VI |
| Abstract | VII |
| | |
| 1. Introducción..... | 1 |
| 1.1 Procesos de producción de la empresa Mestiza S.A..... | 1 |
| 1.1.1. Preparación de la pasta de arcilla..... | 1 |
| 1.1.2. Formación de las piezas..... | 1 |
| 1.1.3. Secado..... | 1 |
| 1.1.4. Quema..... | 2 |
| 1.2 Pilares esenciales del desempeño de un cuarto de secado industrial..... | 2 |
| 1.2.1. Flujo de aire..... | 2 |
| 1.2.2. Extracción de humedad..... | 2 |
| 1.2.3. Control de temperatura..... | 2 |
| | |
| 2. Problema..... | 3 |
| 2.1 Antecedentes y Justificación..... | 3 |
| 2.2 Grupo objetivo..... | 3 |
| 2.3 Delimitación del problema..... | 3 |
| | |
| 3. Objetivo general y específicos..... | 4 |
| 3.1. Objetivo general..... | 4 |
| 3.2. Objetivo específico..... | 4 |
| | |
| 4. Marco teórico conceptual..... | 4 |
| 4.1. Cuarto de secado..... | 4 |
| 4.1.1. Función del viento..... | 5 |
| 4.1.2. Función del calor..... | 5 |
| 4.1.3. Función de la extracción de humedad..... | 5 |
| 4.2. Trasferencia de calor..... | 5 |
| 4.2.1. Conducción..... | 6 |
| 4.2.2. Convección..... | 6 |
| 4.2.3. Radiación..... | 7 |
| 4.2.4. Factores que influyen en la transferencia de calor..... | 7 |
| 4.3. Trasferencia de calor en ductos..... | 8 |
| 4.3.1. Conducción..... | 8 |
| 4.3.2. Convección..... | 8 |
| 4.3.3. Radiación..... | 8 |

| | |
|---|----|
| 4.4. Tráferencia de calor en recintos..... | 8 |
| 4.4.1. Conducci3n..... | 9 |
| 4.4.2. Convecci3n..... | 9 |
| 4.4.3. Radiaci3n..... | 9 |
| 5. Marco metodol3gico..... | 10 |
| 5.1. Características y sistemas del cuarto de secado previo..... | 10 |
| 5.1.1. Dimensiones y volumen..... | 11 |
| 5.1.2. Sistema de ventilaci3n..... | 12 |
| 5.1.3. Sistema de generaci3n de calor..... | 13 |
| 5.1.4. Sistema de extracci3n de humedad..... | 14 |
| 5.2. Análisis y optimizaci3n de componentes y sistemas..... | 15 |
| 5.2.1. Dimensiones del cuarto de secado..... | 15 |
| 5.2.2. Materiales del cuarto de secado..... | 15 |
| 5.2.3. Sistema de ventilaci3n del cuarto de secado..... | 15 |
| 5.2.4. Sistema de extracci3n de humedad del cuarto de secado..... | 15 |
| 5.2.5. Sistema de generaci3n de calor del cuarto de secado..... | 17 |
| 5.2.5.1. Sistema anterior y sus limitaciones..... | 17 |
| 5.2.5.2. Diseño e implementaci3n del nuevo sistema..... | 18 |
| 5.2.5.3. Materiales y construcci3n del nuevo sistema..... | 19 |
| 5.2.5.4. Montaje e integraci3n del nuevo sistema..... | 20 |
| 6. Capítulos..... | 22 |
| 6.1. Evaluar el estado previo del cuarto de secado..... | 22 |
| 6.2. Analizar las componentes y tecnologías empleadas y optimizarlas..... | 22 |
| 6.2.1. Componentes y sistemas conservados..... | 22 |
| 6.2.2. Componentes y sistemas optimizados..... | 22 |
| 7. Cronograma..... | 24 |
| 8. Presupuesto..... | 25 |
| 9. Conclusiones..... | 26 |
| 10. Recomendaciones..... | 27 |
| 11. Referencias bibliográficas..... | 29 |
| 12. Anexos..... | 30 |
| 12.1. Planos técnicos sistema tráferencia de calor..... | 30 |
| 12.1.1. Plano de conjunto sistema tráferencia de calor..... | 31 |
| 12.1.2. Plano de subconjunto sistema tráferencia de calor..... | 32 |
| 12.1.3. Plano de particular segmento ducto..... | 33 |
| 12.1.3. Plano de particular codo ducto..... | 34 |

1. Introducción

La empresa Mestiza S.A. está localizada en la provincia del Azuay, específicamente en la ciudad de Paute, un pintoresco pueblo que se caracteriza por su clima templado, el cual resulta ideal para el desarrollo de actividades agrícolas. Este entorno geográfico y climático favorece las principales actividades económicas de la región, que incluyen la cría de animales, la gestión de viveros y la producción de una amplia variedad de cultivos. Estas condiciones contribuyen al dinamismo económico de la zona y ofrecen un entorno propicio para el desarrollo de diversas industrias.

Mestiza S.A. se especializa en la fabricación de productos cerámicos elaborados a partir de terracota, una arcilla de notable abundancia en diversas zonas del país y reconocida por su distintivo color rojizo. Dentro de este sector industrial de gran escala, la empresa ha consolidado su operación en dos líneas principales de producción: macetas y vajillas. Ambas líneas ofrecen una amplia variedad de diseños, tamaños y colores, satisfaciendo tanto las necesidades funcionales como estéticas de sus clientes. La calidad y la diversidad de sus productos reflejan el compromiso de Mestiza S.A. con la excelencia y la innovación dentro de la industria cerámica. Dentro de las instalaciones de la empresa, se llevan a cabo diversos procesos de producción elementales para la fabricación de artículos cerámicos. Estos procesos se detallan a continuación:

1.1. *Procesos de Producción de la Empresa Mestiza S.A.*

1.1.1 Preparación de la pasta de arcilla.

- El proceso comienza con la molienda de la arcilla en un molino, donde se mezcla con agua para obtener una textura homogénea.
- Posteriormente, se utiliza una filtro prensa para extraer el agua, logrando una pasta de arcilla con un contenido aproximado de 25% de humedad.
- La pasta es transferida a un extrusor (estruder) para eliminar las burbujas de aire, lo que produce una arcilla más compacta y con una menor cantidad de humedad que puede variar entre 18-22%, adaptada a los requisitos específicos de cada artículo.
- Finalmente, la pasta se corta en porciones de diferentes medidas y pesos, según las especificaciones del producto a fabricar.

1.1.2. Formación de las piezas.

- Las porciones de arcilla se procesan mediante prensas rotativas de embutición, equipos altamente versátiles y eficientes que transforman la arcilla en piezas finales en cuestión de segundos.
- Posterior a su formación seorean las piezas al ambiente entre 8 a 24 horas dependiendo la pieza.

1.1.3. Secado.

- Las piezas formadas pasan por un proceso de secado, donde pierden la mayor parte de su humedad, reduciéndose está a menos de 3%.
- La fábrica cuenta con dos tipos de secadores: Un cuarto de secado, empleado para artículos pequeños, y un secadero aéreo, diseñado para el manejo de piezas de mayor tamaño.

1.1.4. Quema.

- Una vez secados, los artículos se someten a la quema en hornos de alta temperatura, con rangos que oscilan entre los 1000 y 1100 grados Celsius. Este proceso confiere a los productos su resistencia final y los deja listos para su empaque comercialización.

El presente proyecto tiene como objetivo principal evaluar, rediseñar e implementar mejoras en el cuarto de secado de Mestiza S.A., cumpliendo con los requerimientos específicos de la fábrica. Este proyecto en general es de suma importancia para la evolución de la empresa al representar una mejora en el rendimiento del cuarto de secado en términos de productividad y costos operativos, el cual actualmente funciona, pero representa un cuello de botella dentro del proceso productivo aparte de tener costos operacionales altos. Para lograr estos objetivos, el enfoque y trabajo metodológico se centró en tres pilares esenciales del desempeño de un cuarto de secado industrial:

1.2. Pilares Esenciales del Desempeño de un Cuarto de Secado Industrial

1.2.1. Flujo de aire.

- Tras un análisis técnico del sistema actual, se determinó que el diseño y la disposición de los ventiladores industriales cumplen con los estándares requeridos para garantizar una distribución uniforme del aire en el interior del cuarto de secado.
- El sistema existente, compuesto por cuatro ventiladores industriales (dos situados en la parte superior y dos en la inferior), demostró un desempeño satisfactorio. Por lo tanto, no se realizaron modificaciones en este componente.

1.2.2 Extracción de humedad.

- Se implementó un deshumidificador industrial que permite extraer de manera eficiente la humedad presente en el ambiente, facilitando un secado más uniforme y rápido.
- Además, se mejoró la ubicación de las chimeneas de salida de aire en el cuarto de secado, mejorando significativamente la circulación del aire y las condiciones operativas generales.

1.2.3. Control de temperatura.

- Se diseñó un sistema de transferencia de calor basado en el aprovechamiento del calor residual generado por las chimeneas de los hornos de la fábrica.
- Este sistema reemplaza el método tradicional, que dependía de sopletes de gas, lo que representa una solución más eficiente y económica.
- La transferencia de calor se realiza mediante ductos diseñados específicamente para canalizar la energía térmica hacia el cuarto de secado, garantizando un suministro constante y uniforme.

Con la implementación de estas mejoras, el cuarto de secado de Mestiza S.A. alcanzó una mejora significativa reduciendo significativamente sus emisiones contaminantes, costos operativos y los tiempos de producción. Este proyecto reafirma el compromiso de la empresa con la innovación y la sostenibilidad, elementos clave para mantener su posición competitiva en la industria cerámica.

2. Problema

2.1. Antecedentes y Justificación

En la industria cerámica, en este caso de la empresa Mestiza, dedicada a la fabricación de macetas y vajilla de cerámica, se llevan a cabo diversos procesos esenciales que requieren un alto grado de precisión y complejidad. Estos procesos incluyen la preparación de materiales, la formación de las piezas, el secado y la quema. En esta ocasión, se realizará un análisis detallado enfocado en el proceso de secado en el cuarto de secado el cual actualmente tiene un funcionamiento regular pero no óptimo por lo cual la empresa se ha visto en la necesidad de optimizar este proceso al ser uno de los cuellos de botella del proceso productivo de gran importancia el estar directamente relaciona con el flujo de quema de productos en el horno así mismo como con el flujo de espacios de oreado de las piezas previo a su secado. Este proceso es indispensable para prevenir roturas y deformaciones en las piezas durante su posterior proceso de quema en el horno.

Actualmente, la empresa cuenta con dos tipos de sistemas de secado: el secado aéreo y los cuartos de secado. En este proyecto, el enfoque principal será optimizar el cuarto de secado, dado que su funcionamiento actual no alcanza un nivel óptimo de eficiencia. Su rendimiento actual es de alrededor de 3 días por ciclo de secado solo con ventilación sin calor, y entre 1 a 2 días con ventilación más calor generado por los sopletes de gas, el costo en gas mensual para el funcionamiento de este secadero supera los 500\$. El objetivo es rediseñar y mejorar el sistema y sus componentes para lograr un secado más uniforme y rápido, reduciendo los costos operativos y mejorando el rendimiento general.

2.2. Grupo Objetivo

Este trabajo va a contribuir de manera directa en la empresa Mestiza mejorando productividad y calidad del proceso de secado para todos los artículos que pasan por el mismo, por lo tanto, resultando una mejora directa en la rentabilidad y costos de producción dentro de la empresa.

2.3. Delimitación del Problema

Este proyecto se llevará a cabo en la fábrica de cerámica Mestiza ubicada en la ciudad de Paute, provincia del Azuay.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema integral que permita la optimización del cuarto de secado de piezas cerámicas en la fábrica Mestiza, con el propósito de incrementar la eficiencia operativa, minimizar los costos asociados al proceso productivo y garantizar que la calidad del producto final cumpla con los estándares establecidos.

3.2. Objetivos Específicos

- Llevar a cabo un análisis exhaustivo de las condiciones actuales del cuarto de secado, abarcando tanto los aspectos estructurales como los operativos del sistema. Este diagnóstico inicial permitirá establecer una línea base que facilite la identificación de áreas críticas que requieran intervención y el diseño de estrategias específicas de mejora.
- Realizar un estudio detallado de las tecnologías y metodologías utilizadas en el proceso de secado de piezas cerámicas. Este análisis deberá incluir una comparación de las opciones disponibles en el mercado, considerando criterios como eficiencia energética, sostenibilidad ambiental, compatibilidad con los requerimientos productivos de la fábrica y relación costo-beneficio.
- Desarrollar un plan de acción técnico que contemple la incorporación de mejoras en el cuarto de secado. Este plan deberá incluir el diseño de las soluciones propuestas, la descripción de las actividades necesarias para su implementación y un cronograma de ejecución. Se priorizará garantizar que las mejoras cumplan con los estándares de calidad, seguridad y eficiencia establecidos por la industria.
- Elaborar un presupuesto integral que detalle los recursos materiales, tecnológicos y humanos requeridos para la implementación del proyecto. Este análisis económico deberá evaluar la viabilidad financiera de las propuestas y ofrecer proyecciones que respalden la sostenibilidad del plan en el corto, mediano y largo plazo.

4. Marco Teórico Conceptual

En este apartado se procederá a realizar un análisis detallado de toda la información teórica pertinente a los diversos aspectos involucrados en el desarrollo del presente proyecto. Este análisis tiene como finalidad proporcionar una comprensión más profunda y fundamentada de cada uno de los puntos clave que conforman la estructura del estudio. Entre los principales temas que serán abordados se incluyen:

4.1. Cuarto de Secado

Un secadero es un sistema o área especialmente diseñado para la eliminación controlada de la humedad presente en diversos materiales o productos. Este proceso se lleva a cabo mediante la aplicación estratégica de técnicas que regulan la ventilación, la temperatura y el nivel de humedad. Los secaderos son ampliamente utilizados en diferentes industrias, como la alimentaria, maderera, cerámica,

farmacéutica y agrícola, ya que permiten garantizar la calidad, durabilidad y funcionalidad de los productos al optimizar su contenido de humedad. En resumen, un secadero es una pieza clave en la cadena productiva de diversas industrias, y su diseño adecuado, así como el manejo eficiente de sus componentes, asegura tanto la calidad del producto final como la optimización de los recursos empleados. En particular, los secaderos empleados en la producción de objetos cerámicos requieren un delicado equilibrio entre viento, calor y extracción de humedad, factores que son esenciales para obtener un secado uniforme y prevenir daños en las piezas. A continuación, se detallan las funciones de estos elementos clave:

- 4.1.1. Función del viento.** El viento desempeña un papel fundamental en la remoción del aire saturado de humedad que rodea las piezas en el secadero. Este proceso facilita la entrada de aire fresco y seco en contacto directo con la superficie de los objetos cerámicos, lo que acelera la evaporación de la humedad contenida en la arcilla. Como resultado, el tiempo total de secado se reduce significativamente. Para generar este flujo de aire controlado, se utilizan principalmente sistemas basados en ventiladores industriales, los cuales permiten ajustar la velocidad y dirección del viento de acuerdo con las necesidades específicas de las piezas en proceso.
- 4.1.2. Función del calor.** El calor es un elemento esencial para acelerar la evaporación de la humedad interna de las piezas cerámicas. Sin embargo, su aplicación debe ser cuidadosamente regulada para evitar grietas, deformaciones o cualquier otro defecto estructural que pueda comprometer la integridad del producto final. En términos de generación de calor, existen diversas fuentes disponibles, como la reutilización del calor residual proveniente de las chimeneas de los hornos, una solución eficiente y sostenible. Adicionalmente, se pueden emplear combustibles como gas o diésel para obtener la energía térmica necesaria, dependiendo de las características del proceso y los recursos disponibles en la fábrica.
- 4.1.3. Función de la Extracción de humedad.** La extracción efectiva de la humedad acumulada en el ambiente interno del secadero es indispensable para mantener un entorno favorable al proceso de secado. Esto se logra mediante la ventilación que expulsa el aire húmedo al exterior, permitiendo la entrada de aire seco. En algunos casos, se complementa este método con la incorporación de deshumidificadores industriales, que contribuyen a acelerar la reducción del contenido de humedad en el aire, optimizando así el desempeño del secadero.

4.2. Transferencia de Calor

Proceso por el cual la energía térmica se transfiere de un cuerpo o sistema con mayor temperatura a otro con menor temperatura. Este fenómeno ocurre debido a la diferencia de temperatura entre ambos y continúa hasta que se alcanza el equilibrio térmico. Existen tres mecanismos principales de transferencia de calor (Çengel & Ghajar, 2020).

4.2.1. Conducción. Es el proceso mediante el cual el calor se transfiere a través de un material sólido, líquido o gas debido al movimiento de las partículas a nivel microscópico, sin que haya movimiento masivo del material. Por ejemplo, un extremo de una barra metálica calentada comienza a transferir calor al otro extremo. (Çengel & Ghajar, 2020).

El análisis de la conducción térmica se realiza utilizando la ley de Fourier, expresada mediante la ecuación:

$$Q = -K (\partial T / \partial x)$$

Donde:

Q Flujo de calor [W]

K Conductividad térmica del material [W/m.°C]

$\partial T / \partial x$ Gradiente de temperatura en la dirección del flujo de calor [°C/m]

4.2.2. Convección. Ocurre en fluidos (líquidos y gases) y se da por el movimiento masivo del fluido debido a diferencias de densidad que generan corrientes. Se clasifica en:

Convección natural: Cuando el movimiento del fluido es causado por la diferencia de densidad debido al calentamiento (por ejemplo, el aire caliente sube y el frío baja).

Convección forzada: Cuando se utiliza un medio externo, como un ventilador o una bomba, para mover el fluido. (Çengel & Ghajar, 2020).

Este fenómeno se describe mediante la ecuación de transferencia de calor por convección, basada en la ley de enfriamiento de Newton:

$$Q = h(T_c - T_f)$$

Donde:

Q Potencia calorífica intercambiada [W]

h Coeficiente de transferencia de calor por convección [W/m².°C]

T_c Temperatura del cuerpo [°C]

T_f Temperatura del fluido [°C]

4.2.3. Radiación. Es el proceso mediante el cual el calor se transfiere a través de ondas electromagnéticas, sin necesidad de un medio material para propagarse. Todos los cuerpos emiten radiación térmica dependiendo de su temperatura. Por ejemplo, el calor que sentimos al estar cerca de una fogata o el calor que llega desde el sol. (Çengel & Ghajar, 2020).

La fórmula para la transferencia de calor por radiación térmica es conocida como la Ley de Stefan-Boltzmann y se expresa como:

$$Q = \sigma \cdot A \cdot \varepsilon \cdot (T_1^4 - T_2^4)$$

Donde:

- Q Calor transferido por radiación [W]
- Σ Constante de Stefan-Boltzmann, cuyo valor es 5.67×10^{-8} [W/m²K⁴]
- A Área de la superficie emisora [m²]
- E Emisividad del material, un valor adimensional entre 0 y 1
- T1 Temperatura absoluta de la superficie emisora [K]
- T2 Temperatura absoluta del entorno receptor [K]

4.2.4. Factores que influyen en la transferencia de calor

- Diferencia de temperatura: Cuanto mayor sea la diferencia, más rápida será la transferencia.
- Material: Los materiales tienen diferentes capacidades para conducir calor (conductividad térmica).
- Área de contacto: Una mayor área permite mayor transferencia.
- Distancia o espesor: En la conducción, un mayor espesor reduce la transferencia de calor.
- Flujo de fluido: En la convección, la velocidad y turbulencia del fluido afectan la transferencia. (Çengel, Y. A., 2011).

La transferencia de calor es un fenómeno físico de gran relevancia en el diseño y operación de sistemas térmicos, particularmente en el contexto de los secaderos. Comprender los mecanismos de transferencia de calor en ductos y recintos resulta esencial para optimizar la eficiencia energética y garantizar un desempeño adecuado de los sistemas.

4.3. Transferencia de Calor en Ductos

Los ductos son estructuras diseñadas para transportar fluidos, generalmente aire, dentro de sistemas de ventilación, calefacción y aire acondicionado. La transferencia de calor en estos sistemas se produce principalmente a través de: conducción, convección y radiación. (Incropera et al., 2017).

4.3.1. Por conducción. La conducción es el proceso mediante el cual el calor se transfiere a través de las paredes del ducto debido al gradiente de temperatura. El calor se transfiere desde las moléculas de mayor temperatura a las de menor temperatura a través de la pared del ducto. Esta transferencia depende de la conductividad térmica del material del ducto, el espesor de sus paredes, el área de contacto, y la diferencia de temperatura entre las superficies internas y externas. En sistemas aislados, se busca minimizar la conducción utilizando materiales con baja conductividad térmica. (Incropera et al., 2017).

4.3.2. Por convección. La transferencia de calor por convección en ductos ocurre cuando un fluido (como aire o agua) fluye a través de un conducto mientras interactúa térmicamente con sus paredes. Si las paredes del ducto están a una temperatura diferente del fluido, se genera un intercambio de calor donde el movimiento del fluido transporta esa energía térmica hacia el resto del flujo. La eficiencia del proceso depende de factores como la velocidad del fluido, la diferencia de temperatura entre las paredes y las propiedades térmicas del fluido (como su conductividad térmica y viscosidad). En aplicaciones prácticas, como sistemas de ventilación o calefacción, este mecanismo es clave para transferir y distribuir calor de manera eficiente. (Incropera et al., 2017).

4.3.3. Por radiación. La transferencia de calor por radiación en ductos ocurre cuando las superficies internas del ducto, debido a su temperatura elevada, emiten energía térmica en forma de ondas electromagnéticas hacia otras superficies más frías dentro del ducto, como las paredes opuestas o el fluido en su interior. Este proceso es independiente de un medio material. En ductos con altas temperaturas, como los utilizados en hornos industriales, la radiación puede ser significativa, especialmente si las paredes tienen altas emisividades. (Incropera et al., 2017).

4.4. Transferencia de Calor en Recintos

En los recintos destinados al procesamiento térmico, como secaderos industriales, el intercambio de calor es un factor relevante. Este proceso involucra la interacción entre las superficies estructurales y el aire contenido en el recinto. (Incropera et al., 2017).

4.4.1. Por conducción. La transferencia de calor por conducción en recintos ocurre cuando existe una diferencia de temperatura entre las superficies que delimitan el espacio (paredes, techos o pisos) y el fluido contenido en el recinto. El calor se transfiere directamente a través de los materiales que componen estas superficies, desde la región de mayor temperatura hacia la de menor temperatura. La cantidad de calor transferido depende de la conductividad térmica del material, el espesor de la superficie, el área expuesta y la diferencia de temperatura entre las caras del material. En este proceso el flujo de calor se ve restringido o facilitado por las propiedades térmicas de los materiales de construcción y la calidad del aislamiento. (Incropera et al., 2017).

4.4.2. Por convección. La transferencia de calor por convección en recintos ocurre cuando el aire o el fluido dentro del espacio se calienta, generando una diferencia de densidad que causa movimiento natural o forzado del fluido. En convección natural, el aire caliente, al ser menos denso, asciende mientras que el aire frío, más denso, desciende, formando corrientes convectivas que distribuyen el calor dentro del recinto. En convección forzada, dispositivos como ventiladores o bombas impulsan el movimiento del fluido, acelerando la transferencia de calor y asegurando una distribución más uniforme. Este proceso es común en sistemas de calefacción, refrigeración y hornos industriales. (Incropera et al., 2017).

4.4.3. Por radiación. La transferencia de calor por radiación en recintos ocurre cuando las superficies dentro del espacio intercambian energía térmica a través de ondas electromagnéticas sin necesidad de tener contacto directo o un medio de transporte. Cada superficie emite radiación y puede absorber parte de la radiación emitida por otras superficies del recinto. La magnitud del intercambio depende de factores como las temperaturas relativas de las superficies, sus propiedades radiativas (emisividad y reflectividad), y las geometrías del recinto, que influyen en cómo las superficies "ven" unas a otras (factores de forma). Este fenómeno es crucial en hornos, donde las paredes y los objetos intercambian calor principalmente por radiación, facilitando un calentamiento uniforme. Todas las superficies internas del recinto emiten y absorben energía térmica en forma de radiación infrarroja. (Incropera et al., 2017). Este intercambio depende de:

- Las propiedades de emisividad de las superficies: Las superficies con alta emisividad facilitan la transferencia de calor por radiación.
- Las diferencias de temperatura entre las superficies: Un mayor gradiente térmico intensifica el proceso de radiación.

La comprensión detallada de los mecanismos de transferencia de calor que ocurren en ductos y recintos constituye un aspecto fundamental para la optimización tanto en el diseño como en la operación de sistemas de secado industrial. Este conocimiento permite identificar y abordar de manera eficiente las variables que influyen en la transmisión de calor, garantizando un desempeño óptimo del equipo. Asimismo, la correcta selección de los materiales empleados en los sistemas, respaldada por un análisis térmico exhaustivo, resulta imprescindible para garantizar su resistencia y eficacia en condiciones operativas específicas.

La integración de soluciones técnicas adecuadas, que consideren tanto las características del proceso como las demandas energéticas, facilita la maximización de la eficiencia energética del sistema, reduciendo significativamente las pérdidas térmicas. Estas acciones, además de mejorar el rendimiento operativo, contribuyen de manera directa a la sostenibilidad de los procesos industriales, alineándose con los objetivos de reducción del impacto ambiental y uso responsable de los recursos energéticos.

5. Marco Metodológico

El desarrollo de este proyecto se llevó a cabo siguiendo un enfoque lógico y técnico que garantizó resultados satisfactorios tanto en el análisis como en la implementación de mejoras en sus sistemas y componentes. Inicialmente se realizó un estudio exhaustivo del cuarto de secado previo considerando sus componentes, funcionamiento y costos operativos. Durante este análisis, se identificaron las fortalezas del sistema, que fueron preservadas, así como sus debilidades, que fueron replanteadas y optimizadas.

5.1. Características y Sistemas del Cuarto de Secado previo

Es fundamental comprender de manera detallada las características, componentes y sistemas que integran el cuarto de secado previo. Este análisis profundo permitirá identificar con precisión tanto las limitaciones como las fortalezas inherentes a su funcionamiento. Al examinar minuciosamente su diseño, operación y eficiencia, se podrán determinar los aspectos que requieren mejora, así como aquellos que representan ventajas competitivas o que ya operan de manera óptima. Este proceso de evaluación es esencial para garantizar que cualquier intervención o modificación posterior esté basada en un conocimiento sólido y fundamentado de la infraestructura existente, lo que contribuirá a optimizar su rendimiento y a alcanzar los objetivos deseados.

5.1.1. Dimensiones y volumen. El cuarto de secado cuenta con las siguientes dimensiones físicas:

- Ancho: 4.5 metros
- Largo: 6.6 metros
- Altura: 3 metros

Esto da como resultado un volumen total de 89.1 metros cúbicos. En las figuras 1,2 y 3 se aprecia el cuarto de secado.

Figura 1
Vista exterior del cuarto de secado



Figura 2
Vista interior lado derecho del cuarto de secado



Figura 3
Vista interior lado izquierdo del cuarto de secado



5.1.2 Sistema de ventilación. El sistema de ventilación está compuesto por cuatro ventiladores industriales con un diámetro de 70 centímetros cada uno. Estos ventiladores están distribuidos estratégicamente de la siguiente manera:

- Dos ventiladores ubicados en la parte superior izquierda, con un flujo de aire dirigido hacia la derecha como se aprecia en la figura 4.
- Dos ventiladores situados en la parte inferior derecha, con un flujo de aire orientado hacia la izquierda como se aprecia en la figura 5.

Figura 4
Ventiladores superiores del cuarto de secado



Figura 5
Ventilador inferior del cuarto de secado



5.1.3. Sistema de generación de calor. El calentamiento del aire en el interior del cuarto de secado se lleva a cabo mediante dos sopletes de llama alimentados por gas, los cuales están instalados a media altura en el lado derecho del cuarto. Estos sopletes se encuentran por encima de los ventiladores inferiores, permitiendo que el aire caliente sea distribuido en el espacio como se aprecia en las figuras 6 y 7

Figura 6
Sopletes vista exterior del cuarto de secado



Figura 7
Soplete vista interior del cuarto de secado



5.1.4. Sistema de extracción de aire y humedad: El cuarto cuenta con dos chimeneas graduables para la salida de aire, con 40 centímetros de diámetro cada una, están situadas a el lado derecho del cuarto de secado, en la parte superior como se aprecia en la figura 8. Su función principal es facilitar la expulsión del aire húmedo generado durante el proceso de secado.

Figura 8
Chimeneas vista interna del cuarto de secado



La figura 9 muestra el ensamble del cuarto de secado actual.

Figura 9
Ensamble cuarto de secado



Nota: Elaborado por el autor

5.2. Análisis y Optimizaciones de Componentes y Sistemas

Se llevó a cabo un análisis detallado de cada uno de los componentes que conforman el cuarto de secado, con el objetivo de identificar y evaluar aquellos aspectos que representaban una fortaleza dentro del sistema. Estos elementos, considerados como ventajas o puntos fuertes, fueron preservados y mantenidos en su estado original, dado que contribuyen de manera positiva al funcionamiento eficiente del proceso de secado. Por otro lado, también se identificaron aquellos elementos que presentaban deficiencias, los cuales fueron sometidos a un proceso de optimización con el fin de mejorar su rendimiento. Este enfoque permitió garantizar que el cuarto de secado operara de manera más efectiva, equilibrando la conservación de sus aspectos positivos con la corrección y mejora de aquellos que requerían atención. De esta manera, se logró un sistema más robusto, eficiente y adaptado a las necesidades del proceso.

5.2.1. Dimensiones del Cuarto de Secado. Se mantuvieron las dimensiones originales del cuarto de secado, dado que el volumen de este resulta adecuado para las necesidades de producción. Su tamaño permite un flujo de trabajo eficiente, ya que el volumen del cuarto se corresponde con el del horno, facilitando una línea de producción continua en la que la cantidad de piezas que entran en el cuarto de secado coincide con las que se procesan en el horno para su cocción.

5.2.2. Materiales del Cuarto de Secado. Los materiales utilizados en la construcción del cuarto de secado se mantuvieron sin modificaciones, ya que cumplen eficazmente con su función. Las paredes, puertas y techo están fabricados con materiales comúnmente empleados en la construcción de cuartos fríos, los cuales poseen excelentes propiedades de aislamiento térmico. Este aislamiento asegura una retención eficiente de la temperatura interna del cuarto de secado. El piso, por su parte, es de concreto, un material que de igual manera contribuye significativamente a la retención del calor.

5.2.3. Sistema de Ventilación del Cuarto de Secado. El sistema de ventilación también se mantuvo en su configuración original debido a su buen desempeño en la generación del flujo de aire necesario para el secado eficiente. Actualmente, el sistema está compuesto por cuatro ventiladores industriales, cada uno con un diámetro de 70 cm. Estos ventiladores proporcionan un caudal de aire adecuado para las dimensiones del cuarto de secado, asegurando una distribución uniforme del flujo de aire en el espacio.

5.2.4 Sistema de Extracción de Humedad del Cuarto de Secado. La extracción y eliminación de la humedad del ambiente se lleva a cabo principalmente a través de dos chimeneas que funcionan como salidas de aire del cuarto de secado. Estas chimeneas, que poseen un diámetro de 40 centímetros, inicialmente estaban ubicadas en las esquinas superiores del lado derecho del cuarto. Sin embargo, tras una evaluación de los resultados, se decidió reubicarlas en las esquinas superiores del lado izquierdo, ya que esta modificación demostró un mejor desempeño en términos de uniformidad del secado dentro del espacio. Gracias a este mecanismo, se ha podido medir que, durante un ciclo completo de secado de piezas frescas hasta que estas pierden por completo su humedad, se extraen entre 8 y 12 litros de agua por hora.

Adicionalmente, se llevaron a cabo pruebas complementarias con la implementación de un deshumidificador industrial modelo ADRICAIR 110 como se muestra en las figuras 10, 11 y 12. Equipo utilizado en varias industrias para extraer la humedad del ambiente condensándola en forma líquida y evacuándola por una manguera. Con este equipo se logró una extracción de humedad adicional de aproximadamente 2litros por hora.

Figura 10
Deshumificador adricair110



Figura 11
Ubicación deshumificador



Figura 12
Agua extraída por el deshumificador



5.2.5. Sistemas de Generación de Calor del Cuarto de Secado. Con el objetivo de mejorar la eficiencia operativa y reducir los costos asociados al consumo energético en el cuarto de secado, se ha implementado un nuevo sistema de generación de calor, independiente del sistema previo. Este cambio responde a la necesidad de optimizar el uso de los recursos térmicos disponibles, particularmente aprovechando el calor residual emitido por las chimeneas del horno.

5.2.5.1 Sistema anterior y sus limitaciones. El sistema previo de calefacción del cuarto de secado consiste en dos sopletes convencionales de gas, ubicados por encima de los ventiladores inferiores del lado derecho de la cámara de secado. Este sistema, aunque funcional en términos de elevar la temperatura del recinto hasta los 60°C y cumplir con su propósito de secado, presentaba una desventaja significativa en su elevado consumo de gas, lo que generaba costos operacionales considerables. Si bien este método garantiza un proceso de secado estable y confiable, la dependencia del gas como fuente principal de calor resultaba insostenible desde un punto de vista económico. Por este motivo, se tomó la decisión de optimizar el sistema mediante la implementación de un sistema alternativo que aprovechara el calor residual proveniente de las chimeneas del horno, minimizando así el consumo de combustible y maximizando la eficiencia térmica del proceso.

5.2.5.2 Diseño e implementación del nuevo sistema. El desarrollo del nuevo sistema comenzó con un estudio detallado del flujo de calor desperdiciado en las chimeneas del horno. Se determinó que, aunque la temperatura de los gases de escape varía en función del ciclo de operación del horno, el calor residual es suficiente para proporcionar la energía térmica necesaria para completar un ciclo de secado adecuado. A partir de esta evaluación, se procedió al diseño de un sistema de transferencia de calor basado en la captación y redirección del aire caliente desde las chimeneas del horno hasta el interior del cuarto de secado como se muestra en la figura 13, 14 y anexos 12.1. Para ello, se decidió la instalación de un blower industrial de alta resistencia térmica, encargado de absorber y canalizar el aire caliente a través de un conjunto de ductos metálicos diseñados específicamente para esta aplicación.

Figura 13
Perspectiva frontal de sistema de transferencia de calor

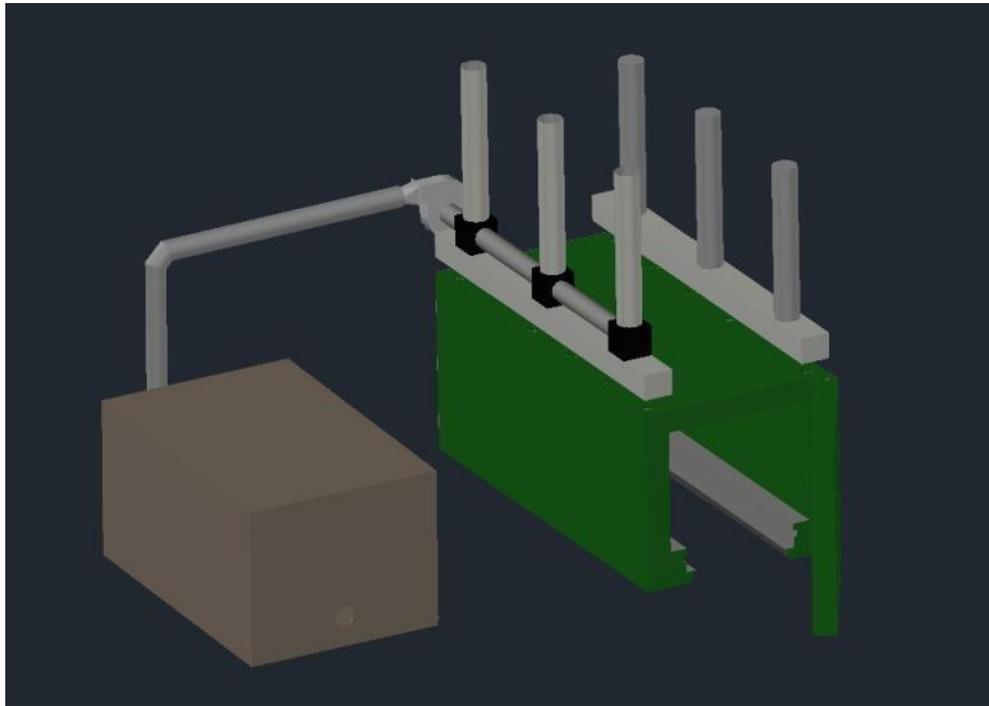
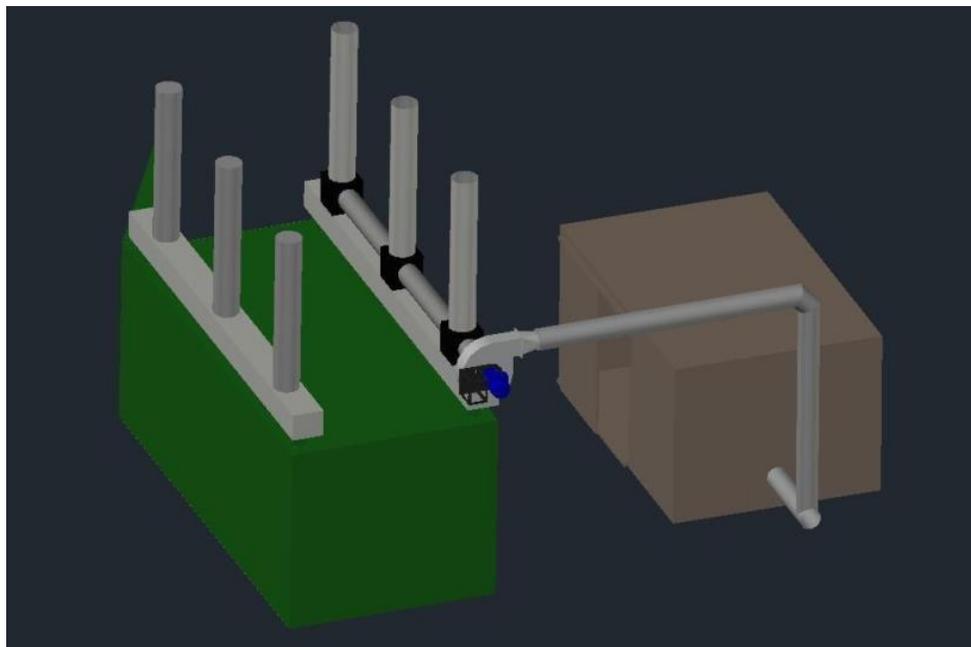


Figura 14
Perspectiva posterior de sistema de transferencia de calor



5.2.5.3 Materiales y construcción del nuevo sistema. Tras definir el concepto de diseño, se adquirieron los materiales necesarios para la construcción del sistema. Se optó por un blower industrial capaz de operar a altas temperaturas sin comprometer su rendimiento (figuras 15 y 16). Adicionalmente, para la fabricación de los ductos de conducción del aire caliente, se utilizó lámina rolada de acero inoxidable AISI 304 con un espesor de 0.7 mm, debido a sus propiedades de resistencia a la temperatura y su durabilidad en entornos de alta exigencia térmica (figuras 17 y 18). Los ductos fueron diseñados con un diámetro de 40 cm, asegurando una compatibilidad precisa con la salida del blower, lo que optimiza la eficiencia en la transferencia de calor y reduce las pérdidas energéticas.

Figura 15
Blower



Figura 16
Especificaciones blower



Figura 17
laminas inox roladas



Figura 18
Ensamble laminas inox



5.2.5.4 Montaje e integración del nuevo sistema. La instalación del nuevo sistema se llevó a cabo de la siguiente manera:

- Captación del aire caliente: Se diseñó y fabricó un ducto de conexión entre la cámara de las chimeneas del horno y el sistema de distribución de calor (figura 19). Este ducto permite la captación del aire caliente expulsado por las chimeneas, que de otro modo se disiparía en el ambiente sin ser aprovechado.

Figura 19

Ensamble Cámara chimeneas-ducto



- Ubicación del blower: El blower industrial fue montado sobre una estructura independiente, situada a 2 metros de distancia de la cámara del compartimiento de las chimeneas (figura 20 y 21). Esta disposición permite un acceso más sencillo para su mantenimiento y evita el impacto directo de altas temperaturas sobre el equipo.

Figura 20

Vista superior ensamble ductos-blower



Figura 21

Vista inferior ensamble ductos-blower



- Distribución del aire caliente: Desde el blower, el aire caliente es dirigido mediante los ductos metálicos hacia el interior del cuarto de secado (figuras 22 y 23). La salida de estos ductos fue estratégicamente ubicada en la parte inferior derecha del cuarto, posicionada entre los dos ventiladores inferiores de ese mismo lado. Esta ubicación permite una distribución uniforme del calor dentro del recinto, mejorando la eficiencia del proceso de secado.

Figura 22
Vista amplia ensamble ducto-secadero



Figura 23
Vista enfocada ensamble-ducto-secadero



- Control de flujo de aire: Para mejorar la regulación térmica dentro del cuarto de secado, se incorporaron compuertas de control en las chimeneas del horno (figuras 24 y 25), las cuales permiten gestionar el flujo de aire frío o caliente según sea necesario. Este mecanismo facilita la optimización de la temperatura en función de las condiciones operativas, asegurando una mayor estabilidad en el proceso de secado.

Figura 24
Compuerta chimenea



Figura 25
Ensamble compuerta chimenea



6. Capítulos

6.1. *Evaluar el Estado Previo del Cuarto de Secado*

Como parte del proceso de optimización del cuarto de secado, se realizó un análisis exhaustivo de su estado previo, con el objetivo de identificar oportunidades de mejora y asegurar su correcto funcionamiento. Esta evaluación incluyó una revisión detallada de cada uno de sus componentes y sistemas operativos, abarcando aspectos estructurales, mecánicos y de control.

El enfoque metodológico aplicado permitió examinar individualmente las características y condiciones previas del cuarto de secado, lo que facilitó la identificación de fortalezas, así como deficiencias y oportunidades de optimización. Gracias a este estudio detallado, se logró desarrollar un plan de trabajo estratégico, basado en criterios técnicos y operacionales, orientado a mejorar el rendimiento del sistema de secado.

6.2. *Analizar las Componentes y Tecnologías Empleadas y Optimizarlas*

Se realizó un estudio detallado de las tecnologías y componentes utilizados en el cuarto de secado, donde se determinó sus puntos a favor los cuales se mantuvieron, así como sus puntos débiles los cuales fueron replanteados optimizados y ejecutados.

6.2.1. Componentes y sistemas conservados

- Dimensiones: la construcción estructural se mantuvo con sus dimensiones originales al ser estas bastante correctas teniendo un volumen un poco mayor al volumen del horno permitiendo así un flujo eficiente en la cadena productiva.
- Materiales: los materiales de la construcción estructural del cuarto como son sus paredes, techo y piso se mantuvieron al ser estos los adecuados siendo sus paredes y techo de paneles para cuarto frío y su piso de hormigón, ambos materiales óptimos para aislamiento térmico minimizando la pérdida de calor.
- Sistema de ventilación: de igual manera el sistema de ventilación se mantuvo sin ninguna modificación al tener un funcionamiento bastante correcto mediante 4 ventiladores industriales ubicados de manera eficiente 2 a cada lado en direcciones y alturas opuestas generando el caudal de aire necesario para el secado de las piezas.

6.2.2. Componentes y sistemas optimizados

- Sistemas de extracción de humedad: se modificó la ubicación de las chimeneas de la salida de aire que inicialmente estaban ubicados en las esquinas superiores del lado derecho del cuarto, se las movió a el lado izquierdo manteniendo sus medidas respectivas, esta acción represento un secado más uniforme en las piezas respecto a todas las ubicaciones del cuarto mejorando así la calidad y eficiencia del proceso. Por otro lado, también se realizó pruebas

con un deshumificador industrial a fin de mejorar la extracción de humedad del ambiente. Este equipo permitió extraer entre 1 y 2 litros adicionales de agua por hora, lo que representa una mejora superior al 10% en la eficiencia del proceso de secado, reduciendo significativamente el tiempo requerido para completar el ciclo. No obstante, cabe destacar que este deshumificador es de capacidad relativamente pequeña, ya que su rendimiento máximo es de 3 litros por hora. En el mercado actual, existen equipos de mayor capacidad que pueden alcanzar hasta 30 litros por hora, lo que sugiere que existe un margen considerable para optimizar aún más el proceso. Sin embargo, cualquier decisión en este sentido debe ser cuidadosamente evaluada, considerando siempre la relación costo-beneficio y las necesidades específicas del sistema de secado.

- Sistemas de generación de calor: se implementó como método adicional un sistema de transferencia de calor perdido de las chimeneas del horno hacia el cuarto de secado el cual tiene excelentes resultados permitiendo reducir significativamente el consumo de gas, dejando el sistema anterior de sopletes como una alternativa de respaldo para situaciones excepcionales. Gracias al aprovechamiento del calor residual de las chimeneas del horno, se ha logrado:

- Disminución de costos operacionales, al reducir la dependencia del gas como fuente de calor.
- Mayor eficiencia energética, aprovechando un recurso térmico previamente desaprovechado.
- Optimización del proceso de secado, garantizando una distribución uniforme del calor en el recinto.
- Flexibilidad operativa, gracias a la incorporación de compuertas de control para regular la temperatura según las necesidades del proceso.

Las temperaturas alcanzadas en el cuarto de secado respecto a la temperatura del horno se muestran en la tabla 1:

Tabla 1.

Temperatura del cuarto de secado en función de la temperatura del horno

| Temperatura horno °C | Temperatura cuarto de secado °C |
|----------------------|---------------------------------|
| 600 | 30-40 |
| 700 | 40-50 |
| 800 | 50-60 |
| 900 | 60-70 |
| 1000 | 70-80 |
| 1080 | 80-90 |

Nota: elaborado por el autor.

En términos de optimización de tiempos, se logró una mejora significativa en el proceso de secado dentro del cuarto de secado. Actualmente, la duración promedio de cada ciclo de secado se ha reducido a aproximadamente 32 horas, este resultado representa una disminución considerable en comparación con el tiempo previamente requerido que oscilaba entre 48 horas o más por ciclo.

Esta optimización representa un avance significativo en la eficiencia térmica del cuarto de secado logrando superar a la temperatura proporcionada por los sopletes de gas, reducir tiempos y costos sin comprometer la calidad del proceso productivo.

7. Cronograma de actividades

El presente proyecto fue llevado a cabo siguiendo una secuencia de actividades estructurada bajo un enfoque lógico y metódico, con el propósito de garantizar la eficiencia y coherencia en cada una de sus etapas. Tal como se puede apreciar en la Tabla 2, se detalla de manera exhaustiva el orden y la planificación de las tareas ejecutadas, las cuales fueron diseñadas para optimizar los recursos disponibles y asegurar el cumplimiento de los objetivos planteados.

Tabla 2

Cronograma de actividades

| Mes | Actividades |
|-----------|---|
| Noviembre | <ul style="list-style-type: none"> - Análisis de dimensiones y materiales de la estructura del cuarto de secado. - Análisis del sistema de ventilación del cuarto de secado. - Análisis y modificaciones de sistema de chimeneas y extracción de humedad del cuarto de secado. |
| Diciembre | <ul style="list-style-type: none"> - Análisis de sistema de generación de calor mediante sopletes de gas. - Estudio y diseño de nuevo sistema de generación de calor mediante uso de calor perdido de las chimeneas del horno transferido por ductos. - Compra de materiales para nuevo sistema de generación de calor (blower, láminas de acero inox 304). - Construcción de nuevo sistema de generación de calor. |
| Enero | <ul style="list-style-type: none"> - Análisis y resultados de cuarto de secado con sus respectivas mejoras. |
| Febrero | <ul style="list-style-type: none"> - Generación y Conclusión de documento del proyecto. |

8. Presupuesto de realización del proyecto

El presupuesto destinado a los materiales y a la mano de obra para la ejecución de este proyecto fue basado en un análisis técnico y una planificación detallada. Cada aspecto relacionado con los recursos materiales necesarios, así como con los costos asociados a la mano de obra, fue evaluado y considerado con el fin de garantizar la viabilidad y eficiencia del proyecto. Este proceso de presupuestación no solo tuvo en cuenta los requerimientos técnicos, sino que también incorporó un enfoque estratégico para optimizar los recursos disponibles, asegurando así que se cumplieran los objetivos planteados sin comprometer la calidad ni la eficacia de los resultados. (Tabla 3)

Tabla 3

Presupuesto de materiales y mano de obra

| Materiales | cantidad | \$ unitario | \$ total |
|------------------------------|-----------------|--------------------|-----------------|
| laminas acero inox 304 0.7mm | 10 | 50 | 500 |
| Blower industrial | 1 | 1200 | 1200 |
| tubo cuadrado 100x100x2x6m | 3 | 46 | 138 |
| tornillos m6 | 150 | 0.15 | 22.5 |
| remaches | 200 | 0.1 | 20 |
| | | | |
| Mano de obra | | | |
| Rolado laminas inox | | | 150 |
| diseño | | | 200 |
| construcción | | | 500 |
| | | | 2708 |

Todos los recursos y mano de obra fueron financiados por Mestiza S.A.

9. Conclusiones

La optimización del cuarto de secado en la fábrica Mestiza SA ha representado un avance significativo en términos de eficiencia operativa, reducción de costos y mejora en la calidad del proceso de secado de piezas cerámicas. A través del análisis detallado de los sistemas existentes y la implementación de mejoras estratégicas, se logró alcanzar resultados altamente satisfactorios que fortalecerán la competitividad de la empresa dentro del sector cerámico.

Uno de los principales logros de este proyecto fue la implementación de un sistema de transferencia de calor basado en la reutilización del calor residual de las chimeneas del horno. Esta innovación permitió reducir de manera significativa la dependencia del gas como fuente de energía para el secado, lo que se traduce en una notable reducción de costos operativos y un impacto ambiental positivo. La integración de compuertas de control en el sistema de distribución de calor contribuyó a regular de manera eficiente la temperatura dentro del cuarto de secado, asegurando una distribución uniforme del calor y optimizando el proceso de evaporación de la humedad en las piezas.

Además, la optimización del sistema de extracción de humedad, mediante la reubicación estratégica de las salidas de aire y la implementación de un deshumidificador industrial, permitió mejorar la uniformidad del secado y reducir el tiempo de proceso.

En cuanto a los sistemas de ventilación y la estructura del cuarto de secado, se considerará que su diseño original ya cumple con los estándares adecuados, por lo que se mantuvieron sin modificaciones. Esta decisión permitió concentrar los esfuerzos en las áreas con mayor potencial de mejora, maximizando el impacto del proyecto.

En términos generales, las mejoras implementadas en el cuarto de secado se ven reflejadas en:

- Reducción del consumo de energía.
- Optimización del tiempo de secado.
- Mejora en la calidad de las piezas cerámicas.
- Reducción de costos operativos.
- Contribución a la sostenibilidad.

En conclusión, este proyecto reafirma el compromiso de Mestiza SA con la innovación y la eficiencia en sus procesos productivos, asegurando su posicionamiento dentro de la industria cerámica. Las mejoras implementadas no solo impactan positivamente en la productividad y rentabilidad de la empresa, sino que también sientan las bases para futuras innovaciones que permitan seguir optimizando sus operaciones.

10. Recomendaciones

A continuación, se presentan una serie de recomendaciones basadas en los resultados obtenidos y las mejoras implementadas en el cuarto de secado de Mestiza S.A. Estas sugerencias están orientadas a optimizar aún más el proceso de secado y otros procesos, reducir costos operativos y mejorar la eficiencia energética, asegurando la sostenibilidad y competitividad de la empresa en el mercado cerámico.

Optimización del Sistema de Extracción de Humedad

- Ampliación del uso de deshumidificadores industriales: Aunque se ha implementado un deshumidificador de capacidad moderada (ADRICAIR 110), se recomienda evaluar la posibilidad de incorporar equipos de mayor capacidad, capaces de extraer hasta 30 litros de agua por hora. Esto permitiría reducir aún más el tiempo de secado y mejorar la eficiencia del proceso.
- Monitoreo continuo de la humedad: Implementar un sistema de sensores que permita monitorear en tiempo real los niveles de humedad dentro del cuarto de secado. Esto facilitaría la toma de decisiones en cuanto a la operación de los deshumidificadores y la regulación del flujo de aire.

Mejoras en el Sistema de Generación de Calor

- Expansión del sistema de aprovechamiento de calor residual: Dado el éxito del sistema de transferencia de calor desde las chimeneas del horno, se sugiere explorar la posibilidad de ampliar este sistema para aprovechar el calor residual en otras áreas de la fábrica, como en el secadero aéreo, transferencia al segundo horno, o en otros procesos que requieran energía térmica.
- Implementación de sistemas de control automático: Incorporar sistemas de control automático para regular la temperatura dentro del cuarto de secado, basados en sensores de temperatura y humedad. Esto permitiría ajustar automáticamente el flujo de aire caliente y la operación de los deshumidificadores, optimizando el consumo energético.

Mantenimiento Preventivo y Monitoreo Continuo

- Programa de mantenimiento preventivo: Establecer un programa de mantenimiento preventivo para todos los componentes del cuarto de secado, incluyendo ventiladores, ductos, deshumidificadores y sistemas de control. Esto asegurará que los equipos operen de manera óptima y se reduzcan las posibilidades de fallos inesperados.
- Monitoreo del rendimiento del sistema: Implementar un sistema de monitoreo continuo que permita evaluar el rendimiento del cuarto de secado en términos de eficiencia energética, tiempos de secado y calidad del producto final. Esto facilitará la identificación de áreas de mejora y la toma de decisiones basada en datos.

Capacitación del Personal

- Proporcionar capacitación continua al personal encargado de operar y mantener el cuarto de secado.
- Concienciación sobre eficiencia energética: Fomentar una cultura de eficiencia energética entre los empleados, promoviendo prácticas que reduzcan el consumo de energía de combustibles y mejoren la sostenibilidad de los procesos.

Evaluación de Nuevas Tecnologías

- Investigación de tecnologías emergentes: Mantenerse al tanto de las nuevas tecnologías en el campo del secado industrial, que podrían ofrecer ventajas en términos de velocidad y eficiencia energética.
- Colaboración con proveedores y expertos: Establecer colaboraciones con proveedores de equipos y expertos en ingeniería térmica para evaluar la viabilidad de implementar nuevas tecnologías o mejoras adicionales en el cuarto de secado.

Sostenibilidad y Reducción del Impacto Ambiental

- Reducción de emisiones: Continuar con la implementación de sistemas que aprovechen el calor residual de los hornos y reduzcan el consumo de combustibles fósiles, contribuyendo a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Estas recomendaciones buscan complementar las mejoras ya implementadas en el cuarto de secado de Mestiza S.A., asegurando que la empresa continúe avanzando hacia procesos más eficientes, sostenibles y competitivos en la industria cerámica. La implementación de estas sugerencias no solo mejorará la productividad y calidad de los productos, sino que también contribuirá a la reducción de costos y al fortalecimiento de la posición de la empresa en el mercado.

11. Referencias Bibliográficas

- Incropera, FP, DeWitt, DP, Bergman, TL y Lavine, AS (2017). *Fundamentos de transferencia de calor y masa* (8.^a ed.). Wiley.
- Çengel, YA, & Ghajar, AJ (2020). *Transferencia de calor y masa: fundamentos y aplicaciones* (6^a ed.). McGraw-Hill.
- Bejan, A. (2013). *Transferencia de calor por convección* (4^a ed.). Wiley.
- Lienhard, JHV y Lienhard, JH IV. (2024). *Un libro de texto sobre transferencia de calor* (6.^a ed.). Phlogiston Press.
- Ghiaasiaan, SM (2018). *Transferencia de calor y masa por convección* (2.^a ed.). CRC Press.
- OpenAI. (2025). *ChatGPT* (Versión 4o) [Modelo de lenguaje de IA].
- xAI. (2025). *Grok* (Versión de inteligencia artificial). <https://xai.ai>

12. Anexos

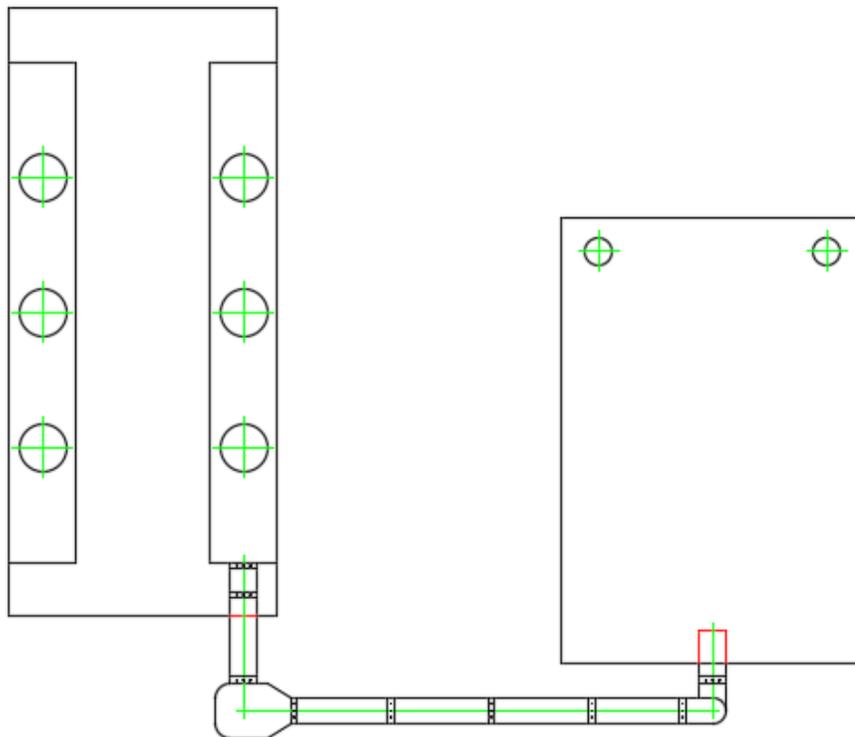
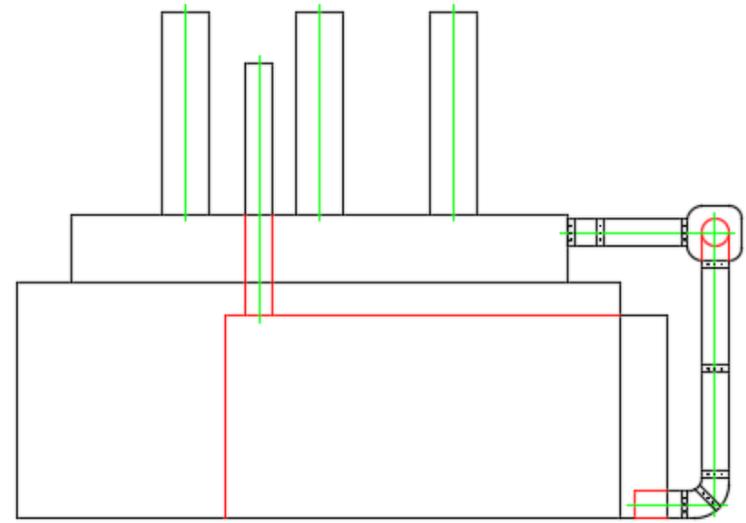
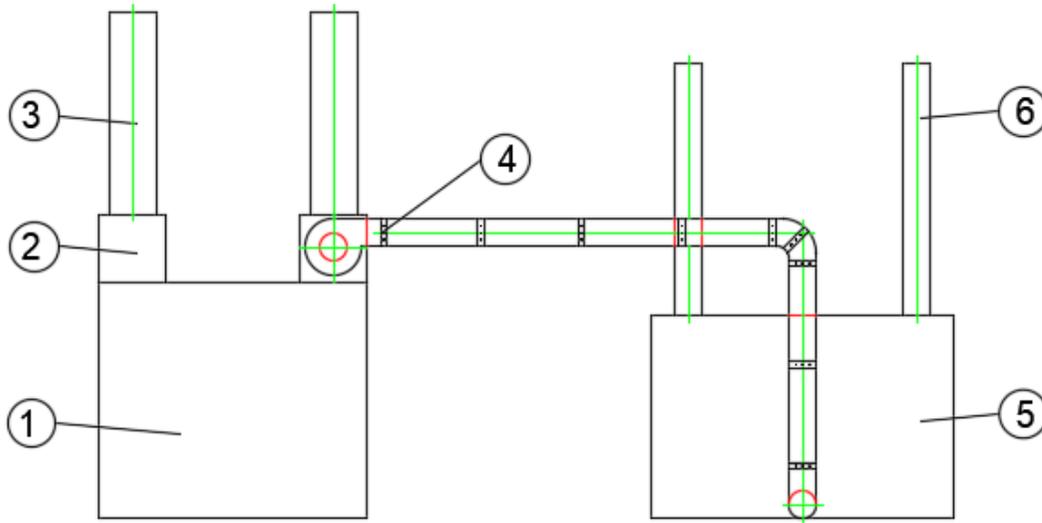
12.1. Planos técnicos sistema de transferencia de calor

12.1.1. Plano de conjunto sistema transferencia de calor

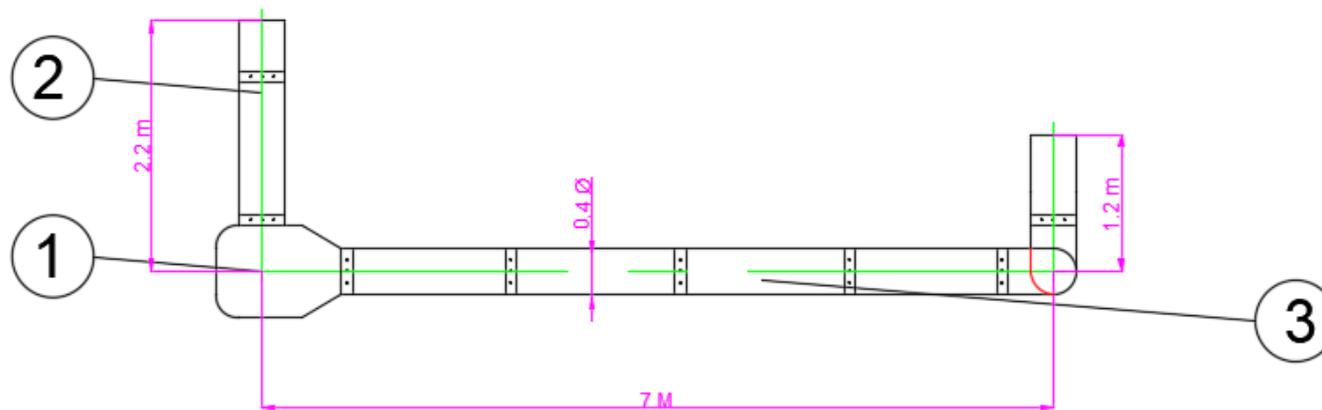
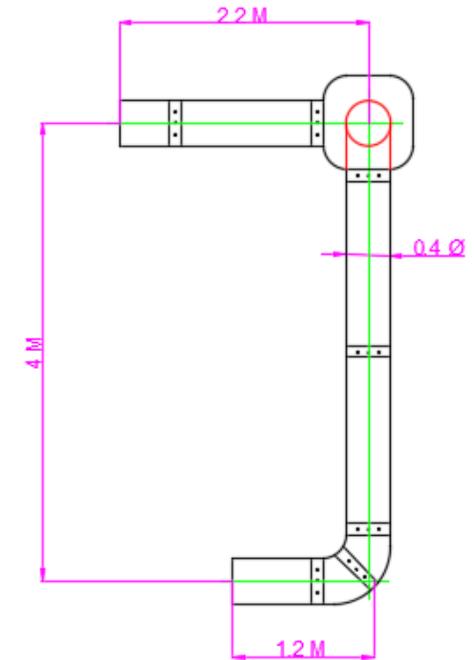
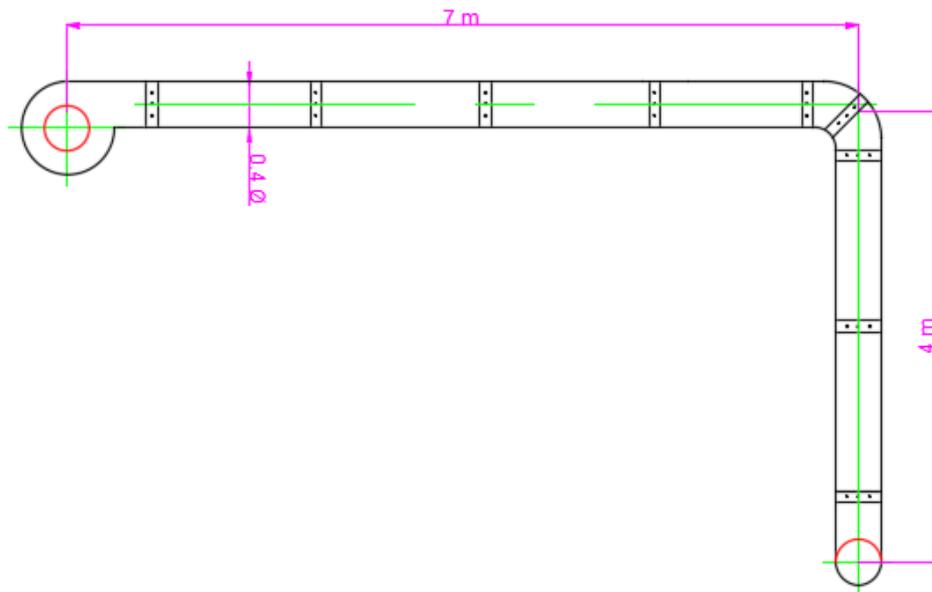
12.1.2. Plano de subconjunto sistema transferencia de calor

12.1.3. Plano de particular segmento ducto

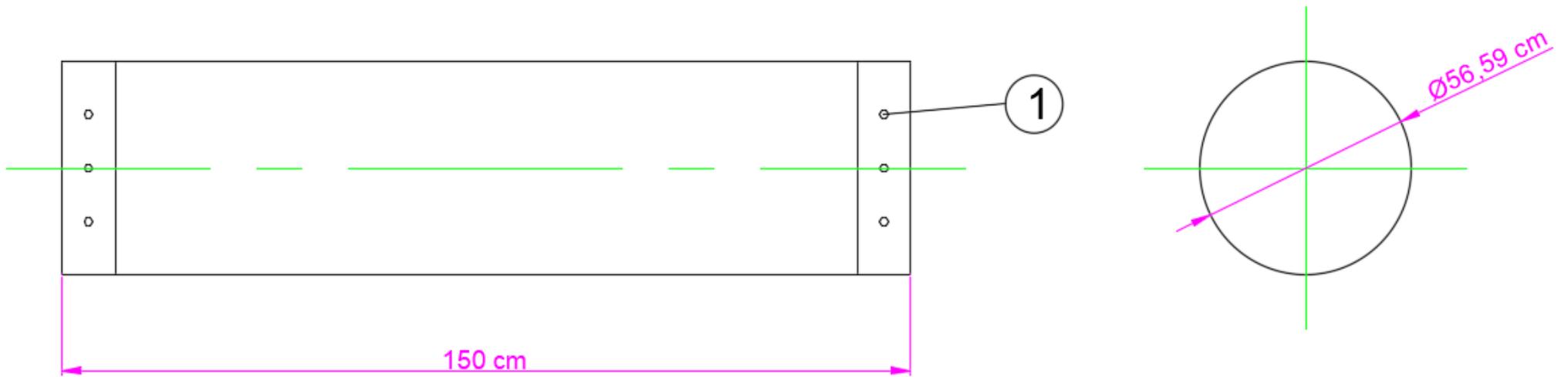
12.1.4. Plano de particular codo ducto



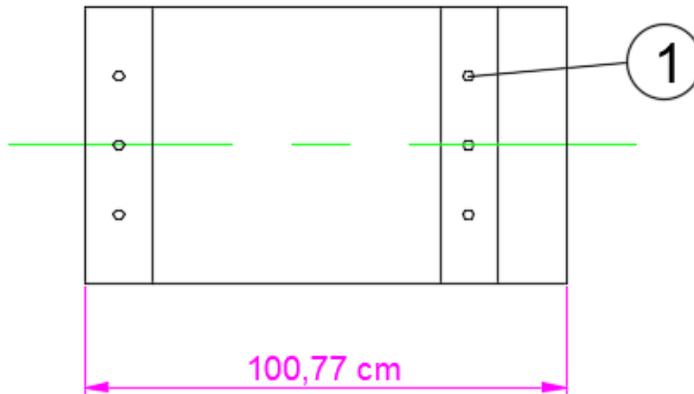
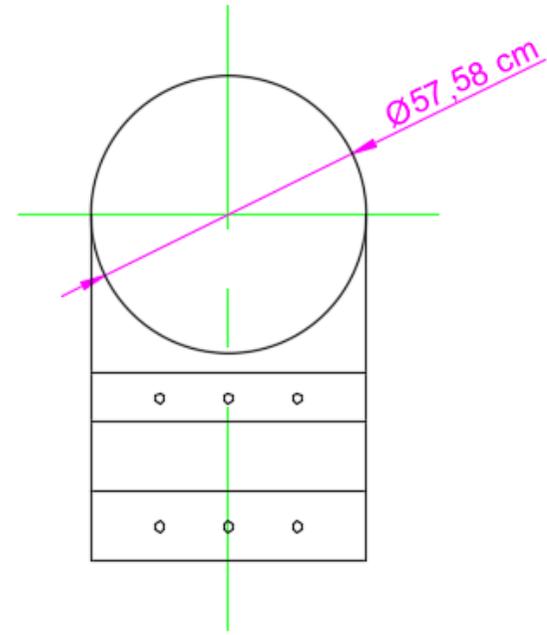
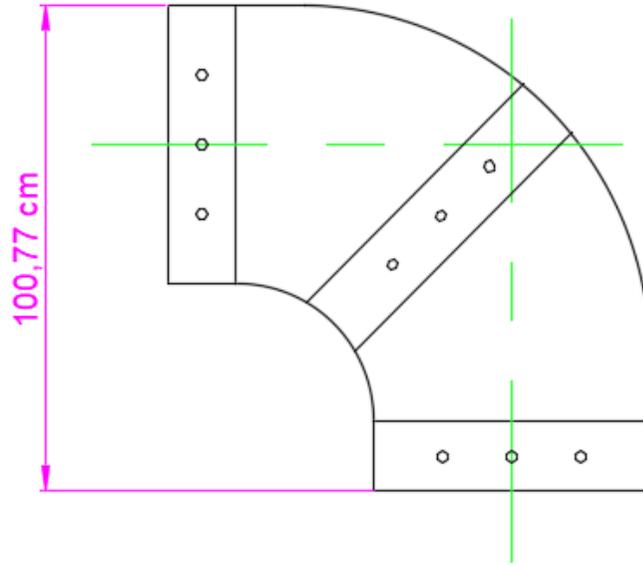
| 6 | 2 | CHIMENEA-CUARTO-DE-SECADO | | ACERO-GALVANIZADO | |
|------------|-------|---|------------|------------------------------------|-----------------|
| 5 | 1 | CUARTO-DE-SECADO | | | |
| 4 | 1 | SISTEMA-TRANSFERENCIA-DE-CALOR | | INOX-304 | |
| 3 | 6 | CHIMENEA-HORNO | | INOX-304 | |
| 2 | 2 | CAMARA-CHIMENEAS-HORNO | | INOX-304 | |
| 1 | 1 | HORNO | | | |
| Pos. | Cant. | Denominación | Norma | Material | observaciones |
| | | Nombre | Fecha | MECANICA INDUSTRIAL | |
| Dibujada | | Roberto Crespo | 01/02/2025 | UNIVERSIDAD POLITECNICA SALE SIANA | |
| Comprobado | | | | SEDE MATRIZ CUENCA | |
| Proyección | | PLANO DE CONJUNTO SISTEMA TRASFERENCIA DE CALOR | | | Escala: 1:1 |
| | | | | | Lámina N° 01/04 |



| 3 | 1 | DUCTO-BLOWER-SECADERO | | | INOX-304 | | |
|------|-------|--|------------|-----------------------|---|-----------------|--|
| 2 | 1 | DUCTO-HORNO-BLOWER | | | INOX-304 | | |
| 1 | 1 | BLOWER | | | | | |
| Pos. | Cant. | Denominación | | Norma | Material | observaciones | |
| | | Nombre | Fecha | MECANICA INDUSTRIAL |  UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA | | |
| | | Dibujado | Comprobado | SEDE MATRIZ CUENCA | | | |
| | | Proyección | | | | Escala: 1:1 | |
| | |  PLANO DE SUBCONJUNTO SISTEMA TRASFERENCIA DE CALOR | | | | Lámina N° 02/04 | |



| | | | | | |
|------------------------------------|---|----------------|------------|-----------------------|---|
| 1 | 16 | TORNILLO-M6 | | | |
| Pos. | Cant. | Denominación | | Norma | Material observaciones |
| | | Nombre | Fecha | MECANICA INDUSTRIAL |  UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA |
| Dibujado | | Roberto Crespo | 01/02/2025 | SEDE MATRIZ CUENCA | |
| Comprobado | | | | | |
| Proyección |  | | | | Escala: 1:1 Lámina N° 03/04 |
| PLANO DE PARTICULAR SEGMENTO DUCTO | | | | | |



| | | | | | | |
|------------|---|--------------|-----------------------|---------------------|--|--|
| 1 | 24 | TORNILLO-M6 | | | | |
| Pos. | Cant. | Denominación | Norma | Material | observaciones | |
| | | Nombre | Fecha | MECANICA INDUSTRIAL |  UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA | |
| Dibujado | Roberto Crespo | 01/02/2025 | SEDE MATRIZ CUENCA | | | |
| Comprobado | | | | | Escala: 1:1 | |
| Proyección |  | | | | PLANO DE PARTICULAR CODO DUCTO Lámina N° 04/04 | |