

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



**Modelación y optimización del tratamiento mecánico en la producción de
ladrillos del Consorcio Cerámico LYM SAC.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO**

Autores:

Bach. Blondet Belaunde, Diego Alonso

ORCID: 0009-0001-7490-4059

Bach. Rodríguez Zarzosa, Juan José

ORCID: 0009-0000-6220-4488

Asesor:

M.Sc. Escalante Espinoza, Nélver Javier

DNI N°: 32763819

ORCID: 0000-0001-8586-3021

Nuevo Chimbote – Perú

2026

HOJA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

El presente informe de tesis titulado:

“MODELACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL TRATAMIENTO MECÁNICO, EN LA PRODUCCIÓN DE LADRILLOS DEL CONSORCIO CERÁMICO LYM SAC”,
elaborado por los bachiller **BLONDET BELAUNDE DIEGO ALONSO** y **RODRIGUEZ ZARZOSA JUAN JOSÉ**, para optar por el Título Profesional de Ingeniero Mecánico.

Ha contado con el asesoramiento de quien deja constancia de su aprobación. Por tal motivo, firmo el presente trabajo en calidad de asesor.



M.Sc. Escalante Espinoza, Nelver Javier

COD. ORCID. 0000-0001-8586-3021

DNI: 32763819

ASESOR

HOJA DE CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR

El presente informe de tesis titulado:

“MODELACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL TRATAMIENTO MECÁNICO, EN LA PRODUCCIÓN DE LADRILLOS DEL CONSORCIO CERÁMICO LYM SAC”,
elaborado por los bachiller **BLONDET BELAUDE DIEGO ALONSO** y **RODRIGUEZ ZARZOSA JUAN JOSÉ**, para optar por el Título Profesional de Ingeniero Mecánico.

Fue revisado y aprobado por el siguiente Jurado Evaluador.



Mg. Leonidas Lucas Yauri García

COD. ORCID. 0009-0008-2045-943X

DNI: 32739581

PRESIDENTE



Ms. Calderón Rodríguez, Luis Carlos

COD. ORCID. 0000-0002-9447-2257

DNI: 32977058

SECRETARIO



M.Sc. Escalante Espinoza, Nelver Javier

COD. ORCID. 0000-0001-8586-3021

DNI: 32763819

INTEGRANTE

ACTA DE EVALUACIÓN PARA SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

El día 23 del mes de setiembre del año dos mil veintiséis, siendo las 11:00 a.m. En el Laboratorio de Uso Múltiples de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica-FI-UNS, en concordancia a la Resolución Decanal N° 549-2026-UNS-FI, de expedito, el Jurado Evaluador designado mediante Resolución N°-308-2026-UNS-CFI, integrado por los docentes: **Mg. Leónidas Lucas Yauri García (presidente)**, **Ms. Luis Carlos Calderón Rodríguez (secretario)** y el **Msc. Nelver Javier Escalante Espinoza (Integrante)**, dan inicio a la sustentación de la Tesis titulada: **"MODELACION Y OPTIMIZACION DEL TRATAMIENTO MECANICO EN LA PRODUCCION DE LADRILLOS DEL CONSORCIO CERAMICO LYM SAC"**, presentado por los bachilleres: **BLONDET BELAUDE DIEGO ALONSO**, con código de matrícula **N°0201016007**, Y **RODRIGUEZ ZARZOSA JUAN JOSE** con código de matrícula **N°0201016040**, quienes fueron asesorados por el Msc. Nelver Javier Escalante Espinoza, según Resolución Decanal N.º 307-2022-UNS-FI.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General de Grados y Títulos, vigente, declaran aprobar al:

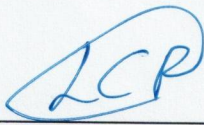
BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
RODRIGUEZ ZARZOSA JUAN JOSE	18	BUENO

Siendo las 12:00 m. del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

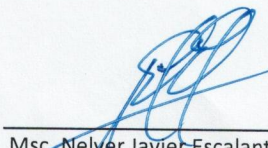
Nuevo Chimbote, setiembre 23 de 2026



Mg. Leónidas Lucas Yauri García
PRESIDENTE



Ms. Luis Carlos Calderón Rodríguez
SECRETARIO



Msc. Nelver Javier Escalante Espinoza
INTEGRANTE

ACTA DE EVALUACIÓN PARA SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

El día 23 del mes de setiembre del año dos mil veintiséis, siendo las 11:00 a.m. En el Laboratorio de Uso Múltiples de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica-FI-UNS, en concordancia a la Resolución Decanal N° 549-2026-UNS-FI, de expedito, el Jurado Evaluador designado mediante Resolución N°-308-2026-UNS-CFI, integrado por los docentes: **Mg. Leónidas Lucas Yauri García (presidente)**, **Ms. Luis Carlos Calderón Rodríguez (secretario)** y el **Msc. Nelver Javier Escalante Espinoza (Integrante)**, dan inicio a la sustentación de la Tesis titulada: **"MODELACION Y OPTIMIZACION DEL TRATAMIENTO MECANICO EN LA PRODUCCION DE LADRILLOS DEL CONSORCIO CERAMICO LYM SAC"**, presentado por los bachilleres: **BLONDET BELAUDE DIEGO ALONSO**, con código de matrícula N°0201016007, Y **RODRIGUEZ ZARZOSA JUAN JOSE** con código de matrícula N°0201016040, quienes fueron asesorados por el Msc. Nelver Javier Escalante Espinoza, según Resolución Decanal N.º 307-2022-UNS-FI.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General de Grados y Títulos, vigente, declaran aprobar al:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
BLONDET BELAUDE DIEGO ALONSO	18	BUENO

Siendo las 12:00 m. del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, setiembre 23 de 2026



Mg. Leónidas Lucas Yauri García
PRESIDENTE



Ms. Luis Carlos Calderón Rodríguez
SECRETARIO



Msc. Nelver Javier Escalante Espinoza
INTEGRANTE



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: JUAN JOSE RODRIGUEZ ZARZOSA
Título del ejercicio: PTI
Título de la entrega: "MODELACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL TRATAMIENTO MECÁNICO...
Nombre del archivo: informe_Final_Blondet_B_-Rodri_guez_Z.pdf
Tamaño del archivo: 8.12M
Total páginas: 128
Total de palabras: 26,772
Total de caracteres: 142,436
Fecha de entrega: 09-oct-2026 12:51p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2988047083



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

"MODELACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL TRATAMIENTO MECÁNICO, EN LA
PRODUCCIÓN DE LADRILLOS DEL CONSORCIO CERÁMICO LYM SAC"

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO

AUTORES:

- Bach. BLONDET BELAUNDE DIEGO ALONSO
- Bach. RODRÍGUEZ ZARZOSA JUAN JOSÉ

ASESOR:

M.Sc. ESCALANTE ESPINOZA NELVER JAVIER

NUEVO CHIMBOTE – PERÚ
2026

"MODELACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL TRATAMIENTO MECÁNICO, EN LA PRODUCCIÓN DE LADRILLOS DEL CONSORCIO CERÁMICO LYM SAC"

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to University of Teesside	2%
	Trabajo del estudiante	
2	Submitted to Consorcio CIXUG	1%
	Trabajo del estudiante	
3	repositorio.uns.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
4	hdl.handle.net	1%
	Fuente de Internet	
5	Submitted to Sultan Qaboos University	1%
	Trabajo del estudiante	
6	studylib.es	1%
	Fuente de Internet	
7	www.coursehero.com	1%
	Fuente de Internet	
8	Submitted to Vaal University of Technology	1%
	Trabajo del estudiante	
9	Submitted to Middlesex University	<1%
	Trabajo del estudiante	
10	Submitted to The University of Texas at San Antonio	<1%
	Trabajo del estudiante	
11	Submitted to University of Sunderland	<1%
	Trabajo del estudiante	
12	Submitted to BATANGAS STATE UNIVERSITY	<1%
	Trabajo del estudiante	
13	www.slideshare.net	<1%
	Fuente de Internet	
14	saaelp.sp.gov.br	<1%
	Fuente de Internet	

DEDICATORIA

Dedico este proyecto ante todo a Dios, por haberme permitido tener la salud y la sabiduría durante el trayecto de esta investigación, asimismo a mi familia quienes en todo momento me brindaron el apoyo incondicional para seguir, a mis amigos y compañeros de trabajo por ser insistentes en persistir en este propósito.

Diego Blondet Belaunde.

Quiero dedicar este trabajo de investigación a Dios en primer lugar, y a mi madre que se encuentra junto con Él, a ellos por guiarme y motivarme día a día en cada paso que doy, a mis hermanos que son motivación para enfrentar cada nuevo desafío de la vida.

Juan Rodríguez Zarzosa.

Índice

Glosario de términos	vii
Resumen	ix
Abstract	x
I. Introducción	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Formulación del Problema.....	3
1.3 Objetivos de la Investigación.....	5
1.4 Formulación de la Hipótesis.....	6
1.5 Tipo de investigación.....	6
1.6 Importancia y Justificación de la Investigación.....	6
1.7 Limitaciones de la investigación	8
II. Marco Teórico	10
2.1. Proceso de fabricación de ladrillos.....	10
2.2. Modelación y optimización del tratamiento mecánico.....	13
2.3. Cálculo de presión y velocidad	15
2.4. Proceso de extrusión.....	18
2.5. Mezcla de materias primas	19
2.6. Partes del ladrillo.....	20
2.7. Compactación.....	22
2.8. Eficiencia del proceso.....	22
2.9. Producción de ladrillos.....	25
2.10. Calidad del producto	26
2.11. Productividad.....	27
2.12. Sostenibilidad	27
2.13. Evaluación del Valor Actual Neto (VAN) y de la Tasa Interna de Retorno (TIR)	28
2.14. Costos Operativos y Su Impacto en el VAN y la TIR	28
2.15. Cálculo del VAN.....	29
2.16. Cálculo de la TIR	29
III. Materiales y Métodos	31
3.1 Metodología de la investigación	31
3.2 Diseño de la investigación.....	31
3.3 Población y muestra	33

3.4 Operacionalización de variables.....	33
3.5 Tipo de investigación	33
3.6 Instrumentación.....	35
3.7 Técnicas, procesamiento y análisis de resultados	36
3.8 Matriz de consistencia	36
IV. Resultados y discusión	39
4.1 Resultados.....	39
4.2 Discusión	59
V. Conclusiones y Recomendaciones	63
5.1 Conclusiones	63
5.2 Recomendaciones.....	66
VI. Referencias Bibliográficas.....	68
VII. Anexos.....	72
Anexo 1: Formatos de Instrumentos	72
Anexo 2: Prueba 1	75
Anexo 3: Prueba 2	85
Anexo 4: Análisis Comparativo de los Modelos de la Extrusora de Ladrillos.....	93
Anexo 5: Cálculos	95
Anexo 6: Planos del modelo actual y modelo mejorado	104

Índice de tablas

Tabla 1. Presión Aplicada.....	23
Tabla 2. Velocidad Aplicada.....	23
Tabla 3. Composición de la Mezcla	23
Tabla 4. Resistencia a la Compresión.....	24
Tabla 5. Ciclos de Producción	24
Tabla 6. Rendimiento del Proceso.....	24
Tabla 7. Matriz de Operacionalización.....	34
Tabla 8. Matriz de Consistencia.....	37
Tabla 9. Comparación de los parámetros de presión del modelo actual y mejorado.....	52
Tabla 10. Comparación de los parámetros de velocidad del modelo actual y mejorado	53
Tabla 11. Variación porcentual de los resultados CFD	54
Tabla 12. Comparación relativa del consumo energético.....	55
Tabla 13. Resumen de principales resultados de la comparación.....	56
Tabla 14. Comparación de indicadores operativos y parámetros asociados a la calidad del proceso de conformado del modelo actual y modelo mejorado.....	58

Índice de figuras

Figura 1. Representación gráfica (genérica) del proceso de fabricación de ladrillos	13
Figura 2. Simulación CFD del Flujo de Arcilla en Extrusora	15
Figura 3. Vista Isométrica de una Extrusora.....	19
Figura 4. Partes de un Ladrillo.....	20
Figura 5. Extrusora en Plena Producción de Ladrillos	25
Figura 6. Diagrama de Procedimientos	31
Figura 7. Diseño de investigación para la modelación y optimización de la extrusora de ladrillos	32
Figura 8. Modelo Actual de la Extrusora en funcionamiento.....	39
Figura 9. Modelo Actual de la Extrusora con Presión y Velocidad en la Salida	40
Figura 10. Modelo Mejorado para Extrusora.....	41
Figura 11. Modelo Mejorado de la Extrusora con Presión y Velocidad en la Salida.....	42
Figura 12. Comparación de Presión	42
Figura 13. Comparativo de Presión en las Aristas de la Salida de las Extrusoras	43
Figura 14. Comparación de Velocidad	44
Figura 15. Comparativo de Velocidad en las Aristas de la Salida de las Extrusoras	46
Figura 16. Comparación de Consumo Energético.....	48
Figura 17. Consumo Energético.....	49
Figura 18. Comparación de los parámetros de presión del modelo actual y mejorado.....	52
Figura 19. Comparación de los parámetros de velocidad del modelo actual y mejorado	53
Figura 20. Variación porcentual de los resultados CFD.....	54
Figura 21. Comparación relativa del consumo energético	55

Glosario de Términos

<i>AISI:</i>	American Iron and Steel Institute.
<i>ANSYS:</i>	Software de simulación de ingeniería que se utiliza en diferentes industrias para simular y analizar problemas de ingeniería.
<i>CFD:</i>	Computational Fluid Dynamics (Dinámica de Fluidos Computacional).
<i>CFX:</i>	Ansys CFX, un software de simulación de ingeniería para dinámica de fluidos computacional (CFD) que se utiliza en aplicaciones de turbomaquinaria.
<i>Condición de frontera:</i>	Restricción aplicada en los límites del modelo para definir el comportamiento del flujo.
<i>Condición inicial:</i>	Valores asignados a las variables antes de iniciar la simulación.
<i>Convergencia:</i>	Estado en que los resultados del modelo dejan de variar significativamente.
<i>Densidad:</i>	Masa del fluido por unidad de volumen.
<i>Dominio computacional:</i>	Espacio tridimensional donde se desarrolla la simulación.
<i>Dominio de flujo:</i>	Región del modelo donde se produce el movimiento del fluido.
<i>Flujo laminar:</i>	Movimiento ordenado y uniforme del fluido con trayectorias paralelas.
<i>Flujo turbulento:</i>	Movimiento caótico del fluido con formación de remolinos y vórtices.
<i>Gravedad:</i>	Aceleración producida por la atracción terrestre, usualmente 9.81 m/s^2 .
<i>IEEE:</i>	Institute of Electrical and Electronics Engineers.
<i>Iteración:</i>	Repetición del cálculo para alcanzar la convergencia de resultados.
<i>LYM:</i>	Nombre comercial del Consorcio Cerámico LYM SAC.
<i>Malla computacional:</i>	División del dominio en celdas donde se resuelven las ecuaciones de flujo.
<i>MK2:</i>	El horno MK2 se basa en un sistema acoplado de dos hornos conectados en serie provistos de domos con chimeneas laterales, dentro de los hornos se realiza el cocimiento de manera alternada.
<i>m/s:</i>	Metro por segundo, unidad de velocidad.

<i>Número de Mach:</i>	Relación entre la velocidad del fluido y la del sonido en el mismo medio.
<i>Objetivo global:</i>	Parámetro medido en todo el dominio (presión, velocidad, temperatura, etc.).
<i>Pa:</i>	Pascal, unidad de presión equivalente a un newton por metro cuadrado.
<i>Presión estática:</i>	Fuerza ejercida por un fluido en reposo sobre las paredes del conducto.
<i>Presión total:</i>	Suma de la presión estática y la presión dinámica de flujo.
<i>Presión relativa:</i>	Diferencia entre presión absoluta y la atmosférica.
<i>PSI:</i>	Pound per Square Inch (Libra por pulgada cuadrada).
<i>Región rotativa:</i>	Zona del modelo donde el fluido se mueve dentro de un marco de referencia giratorio.
<i>Reológico:</i>	Es el adjetivo que se refiere a la reología, la rama de la física que estudia cómo se deforman y fluyen los materiales (tanto líquidos como sólidos) cuando se les aplica una fuerza o presión externa
<i>Rpm:</i>	Revoluciones por minuto.
<i>S.A.C:</i>	Sociedad Anónima Cerrada.
<i>Solidworks Flow Simulation:</i>	Software usado para modelar y analizar flujo de fluidos y transferencia térmica.
<i>Temperatura:</i>	Medida de la energía térmica promedio de las partículas de un sistema.
<i>TIR:</i>	Tasa Interna de Retorno.
<i>Turbulencia:</i>	Fluctuaciones irregulares en la velocidad y presión del fluido.
<i>VAN:</i>	Valor Actual Neto. Indicador financiero que mide la rentabilidad de un proyecto.
<i>Velocidad promedio:</i>	Promedio de la velocidad del flujo en el dominio de flujo.
<i>Velocidad máxima:</i>	Valor máximo de la velocidad alcanzado por el fluido.
<i>W/m²K:</i>	Unidad que mide el coeficiente de transferencia de calor.

Resumen

En la presente investigación se logró modelar y optimizar el tratamiento mecánico en la producción de ladrillos del Consorcio Cerámico LYM SAC.

Se determinó que la presión aplicada en el proceso de extrusión influye en la resistencia de los ladrillos, el análisis mostró que la presión máxima se redujo de 370.686 kPa a 279.667 kPa, lo que equivale a una disminución del 24.5%, mientras que la presión promedio bajó 172.041 kPa, y a su vez un aumento de presión en la salida de la extrusora de 130.387 kPa a 132.365 kPa, logrando un flujo más uniforme, menor carga mecánica y generando mayor compactación en la salida. Al calcular la velocidad de extrusión respecto a su consistencia, la velocidad promedio de extrusión disminuyó de 3.058 m/s a 2.820 m/s, y a su vez un aumento significativo de la velocidad en la salida de la extrusora de 0.5507 m/s, reduciendo la formación de vórtices y mejorando la mezcla. Al evaluar la composición y homogeneidad de la mezcla de materias primas, la resistencia a la compresión aumentó en 4%, alcanzando valores promedio de 10,400 kPa. Al medir la optimización del tiempo de ciclo de producción, este se redujo de 30 a 28 minutos, incrementando la eficiencia en un 6.7%. El modelo optimizado permite mantener una producción de 40,000 ladrillos diarios, con un 98% de productos conformes y menores costos energéticos. El análisis financiero evidenció la viabilidad económica del proyecto, con un VAN positivo de \$8,503 y una TIR de 56%, y que la inversión en la mejora del equipo se recupera en aproximadamente 1.73 años.

En conclusión, la modelación y optimización del tratamiento mecánico mejoraron significativamente la eficiencia y sostenibilidad del proceso, incrementando la competitividad del Consorcio Cerámico LYM S.A.C.

Palabras clave: modelación CFD, optimización del tratamiento mecánico, extrusión, producción de ladrillos.

Abstract

The objective of this research was to "Model and optimize the mechanical treatment in the production of bricks of the LYM SAC Ceramic Consortium", using Solidworks software.

By determining the pressure applied in the extrusion process and its influence on the strength of the bricks, the analysis showed that the maximum pressure was reduced from 370.686 kPa to 279.667 kPa, which is equivalent to a decrease of 24.5%, while the average pressure dropped by 172.041 kPa, and in turn an increase in pressure at the extruder outlet from 130.387 kPa to 132.365 kPa, achieving a more uniform flow, less mechanical load and generating greater compaction at the outlet. When calculating the extrusion speed in relation to its consistency, the average extrusion speed decreased from 3.058 m/s to 2.820 m/s, and in turn, there was a significant increase in the extruder outlet speed of 0.5507 m/s, reducing vortex formation and improving mixing. When evaluating the composition and homogeneity of the raw material mixture, the compressive strength increased by 4%, reaching average values of 10,400 kPa. When measuring the optimization of the production cycle time, it was reduced from 30 to 28 minutes, increasing efficiency by 6.7%. The optimized model allows for a sustained production of 40,000 bricks per day, with 98% conformity and lower energy costs. Financial analysis demonstrated the project's economic viability, with a positive NPV of \$8,503 and an IRR of 56%, and showed that the investment in equipment upgrades is recovered in approximately 1.73 years.

In conclusion, the modeling and optimization of the mechanical treatment significantly improved the efficiency and sustainability of the process, increasing the competitiveness of the LYM S.A.C. Ceramic Consortium.

Keywords: modeling, optimization of mechanical treatment, extrusion, brick production.

I. Introducción

1.1 Antecedentes

Diversas investigaciones han abordado la optimización de procesos industriales en la producción de ladrillos. En el estudio de Lara (2023), se analizó la mejora del proceso de cocción de ladrillos artesanales en hornos tipo MK2 mediante simulación numérica. El objetivo era optimizar la eficiencia energética y la distribución de temperatura para mejorar la calidad del producto final. Se utilizó el software ANSYS y el módulo CFD CFX para crear un modelo numérico basado en datos experimentales. Los resultados mostraron un comportamiento detallado del horno, permitiendo identificar zonas críticas de calentamiento. Se concluyó que la simulación numérica es una herramienta valiosa que supera las limitaciones de los métodos experimentales al proporcionar un análisis más profundo y preciso del proceso de cocción, lo que puede conducir a mejoras significativas en la producción de ladrillos.

Alonso-Romero et al. (2025) realizaron un estudio transitorio de combustión en un horno de ladrillos utilizando dinámica de fluidos computacional (CFD), haciendo uso de la resolución de las ecuaciones de Navier–Stokes acopladas a modelos de combustión para gas natural. Los autores analizaron la evolución temporal de la temperatura de los gases calientes y de los campos de velocidad dentro del horno, identificando trayectorias preferenciales de flujo y zonas con distribución térmica no uniforme, las cuales se relacionan con variaciones en la resistencia a la compresión de los ladrillos y con la eficiencia térmica del proceso de cocción. Dentro de las conclusiones, se demostró cómo el modelamiento CFD basado en Navier–Stokes permite vincular directamente el comportamiento del flujo y la combustión con la calidad final del ladrillo y el desempeño energético del horno, aportando un marco metodológico relevante para la modelación y optimización de procesos en la industria cerámica.

Lugo Agámez (2023) investigó las innovaciones en el proceso de fabricación de ladrillos con el fin de aumentar la eficiencia y reducir el impacto ambiental. El estudio combinó

técnicas tradicionales con tecnologías modernas, implementando mejoras en el diseño del horno y en la composición de los materiales utilizados. La metodología incluyó la integración de tecnologías avanzadas para optimizar el proceso de cocción y la utilización de materiales sostenibles. Los resultados mostraron una reducción significativa en el consumo energético y en las emisiones de gases contaminantes, al tiempo que se mejoraba la calidad de los ladrillos. Las conclusiones destacaron que la integración de innovaciones tecnológicas con métodos tradicionales puede llevar a procesos de fabricación más eficientes y sostenibles, beneficiando tanto al medio ambiente como a la economía de las empresas de producción de ladrillos.

Zuleta-Márquez y Sarquis-Herrera (2021) evaluaron la calidad de los ladrillos producidos a base de plástico en la empresa Protec-M en el municipio de la Paz, Cesar. El objetivo fue analizar las propiedades físicas y mecánicas, incluyendo resistencia, durabilidad y absorción de agua, de los ladrillos fabricados con distintas composiciones de material y métodos de cocción. La metodología involucró pruebas exhaustivas de resistencia y durabilidad, revelando que los ladrillos cocidos a temperaturas más altas y con mayor tiempo de cocción mostraban mejores propiedades mecánicas y menor absorción de agua. Los resultados subrayaron la importancia de seleccionar adecuadamente los materiales y parámetros de cocción para optimizar la calidad de los ladrillos. Las conclusiones indicaron que el uso de plástico en la fabricación de ladrillos no solo es viable, sino que también puede resultar en productos de alta calidad cuando se aplican las condiciones de cocción adecuadas.

Tchiquendja-Eleno et al. (2020) llevaron a cabo un estudio para evaluar el impacto ambiental de la producción de ladrillos, enfocándose en la emisión de gases y el consumo de recursos naturales. El objetivo era medir las emisiones de CO₂ y otros gases durante el proceso de cocción en diferentes tipos de hornos y con distintas composiciones de materiales. La metodología incluyó mediciones exhaustivas de las emisiones generadas durante el proceso de cocción, utilizando equipos especializados para obtener datos precisos. Los resultados

mostraron que los hornos más modernos y bien diseñados lograban una reducción significativa en las emisiones de gases contaminantes y utilizaban los recursos de manera más eficiente. Las conclusiones enfatizaron la necesidad de modernizar los procesos de producción de ladrillos para minimizar el impacto ambiental y promover la sostenibilidad en la industria. Este estudio proporcionó una base sólida para la implementación de prácticas más sostenibles en la producción de ladrillos.

Cardona et al. (2020) investigaron la optimización del consumo energético en la producción de ladrillos mediante la implementación de mejoras en el proceso de cocción. El objetivo del estudio era identificar y aplicar cambios en la configuración del horno y el manejo de la combustión para reducir el consumo energético y aumentar la eficiencia del proceso. La metodología utilizó técnicas de análisis energético para identificar áreas de mejora, implementando modificaciones en el diseño y operación del horno. Los resultados mostraron una disminución significativa en el consumo energético, lo cual se tradujo en una reducción de los costos operativos y un menor impacto ambiental. Las conclusiones indicaron que la optimización del consumo energético no solo beneficia económicamente a las empresas, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental, haciendo del proceso de producción de ladrillos una actividad más responsable y eficiente.

1.2 Formulación del problema

En el rubro industrial, la eficiencia en la producción de ladrillos es un aspecto crítico que afecta la competitividad y sostenibilidad de las empresas cerámicas. El Consorcio Cerámico LYM SAC enfrenta desafíos significativos en la optimización de sus procesos mecánicos de tratamiento de arcilla, lo cual repercute en costos elevados, tiempos de producción prolongados y productos finales de calidad variable. Estos problemas tienen un impacto directo en la rentabilidad de la empresa, reduciendo el margen de ganancias y

comprometiendo su capacidad para competir en un mercado cada vez más exigente. Siendo los costos elevados uno de los principales problemas que enfrenta el Consorcio Cerámico LYM SAC. Estos costos elevados se deben en gran medida a la ineficiencia en los procesos mecánicos de tratamiento de arcilla. La falta de optimización en estos procesos no solo aumenta el consumo de energía y recursos, sino que también genera un mayor desgaste de la maquinaria, lo cual incrementa los costos de mantenimiento y reparación. Además, los tiempos de producción prolongados significan un mayor uso de mano de obra y un incremento en los costos laborales.

Los costos elevados tienen un efecto negativo directo en el margen de ganancias de la empresa. La reducción del margen de ganancias limita la capacidad del Consorcio Cerámico LYM SAC para reinvertir en mejoras tecnológicas y en la formación de su personal, aspectos clave para mantener y mejorar la competitividad en el mercado. Además, un margen de ganancias reducido puede poner en riesgo la viabilidad financiera de la empresa a largo plazo, dificultando su capacidad para hacer frente a fluctuaciones en los precios del mercado y otros desafíos económicos. Otro problema crítico es la variabilidad en la calidad del producto final. La falta de optimización en los procesos de tratamiento de arcilla puede resultar en productos finales de calidad inconsistente, lo cual afecta la reputación de la empresa y su capacidad para satisfacer las expectativas de los clientes. La calidad variable también puede generar mayores tasas de rechazo y desperdicio, aumentando aún más los costos de producción.

Entonces para abordar estos problemas, se propone la modelación y optimización del tratamiento mecánico, en la producción de ladrillos. Esta iniciativa se centrará en los siguientes aspectos clave: Modelación y simulación de procesos: La implementación de técnicas avanzadas de modelación y simulación permitirá identificar y corregir ineficiencias en el proceso de tratamiento de arcilla. Mediante el uso de software especializado, se pueden crear modelos precisos del proceso de producción, lo cual facilitará la identificación de cuellos de

botella y áreas de mejora. Esta modelación permitirá predecir el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones, optimizando el uso de recursos y mejorando la eficiencia global.

Optimización de la maquinaria: La optimización de la maquinaria utilizada en el tratamiento mecánico de la arcilla, especialmente la extrusora, es esencial para reducir costos y mejorar la calidad del producto final. La implementación de mejoras en el diseño y operación de la maquinaria puede reducir significativamente el consumo de energía, minimizar el desgaste y prolongar la vida útil de los equipos. Esto no solo disminuirá los costos de mantenimiento y reparación, sino que también incrementará la productividad y la calidad del producto. Ante ello surge el siguiente problema general: ¿La modelación y optimización del tratamiento mecánico en la producción de ladrillos mediante el uso de SolidWorks mejorará la eficiencia del proceso en el Consorcio Cerámico LYM SAC?

Limitaciones de la investigación: La presente investigación se ha centrado en el análisis del flujo de arcilla dentro del cuerpo de la extrusora, sin considerar la resistencia del material del cuerpo y del helicoide. Asimismo, para efectos de análisis, al ser el flujo de arcilla un fluido no newtoniano, la variación de presión tanto en la entrada como en la salida es depreciable, se considera como flujo newtoniano con las condiciones de contorno correspondientes.

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Modelar y optimizar el tratamiento mecánico en la producción de ladrillos del Consorcio Cerámico LYM SAC utilizando SolidWorks para mejorar la eficiencia del proceso.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a) Determinar la presión aplicada durante el proceso de extrusión en la resistencia de los ladrillos.
- b) Calcular la velocidad de extrusión en la consistencia de los ladrillos.

- c) Evaluar la composición y homogeneidad de la mezcla de materias primas y su impacto en las propiedades finales de los ladrillos.
- d) Determinar el tiempo de ciclo de producción para mejorar la eficiencia del proceso de producción de ladrillos.
- e) Modelar la extrusora actual, así como también la mejorada para luego realizar un análisis comparativo de ambas mediante la simulación SolidWorks CFD.
- f) Evaluar el VAN y TIR del proyecto.

1.4 Formulación de hipótesis

La modelación y optimización del tratamiento mecánico en la producción de ladrillos mediante el uso de SolidWorks mejorará significativamente la eficiencia del proceso en el Consorcio Cerámico LYM SAC.

Variable Dependiente: Modelación y Optimización del Tratamiento Mecánico

Variable Independiente: Producción de ladrillos.

1.5 Tipo de investigación

Experimental Aplicada: Debido a que se pretenderá resolver una problemática en base a un modelamiento, o variación de una variable para observar su efecto en el resultado, y se busca resolver un problema con métodos en la práctica, teniendo como recurso un software de modelamiento CFD.

1.6 Importancia y Justificación de la investigación

La investigación buscará proporcionar un sistema en base a un nuevo modelamiento para optimizar los procesos de tratamiento mecánico en la producción de ladrillos, lo que puede resultar en mejoras significativas en la calidad del producto, reducción de costos y tiempos de producción, y mayor competitividad en el mercado.

Desde una perspectiva social, esta optimización generará empleo al aumentar la demanda de mano de obra calificada para operar y mantener los nuevos sistemas y tecnologías implementados. Esto no solo creará oportunidades laborales directas, sino que también fomentará el desarrollo de habilidades técnicas en la comunidad, mejorando la empleabilidad y el nivel de vida de los trabajadores. Además, al mejorar la calidad y la asequibilidad de los ladrillos, se facilitará la construcción de viviendas más duraderas y accesibles, contribuyendo directamente a resolver problemas de vivienda en comunidades de bajos ingresos y ofreciendo materiales de construcción que cumplen con estándares de seguridad y durabilidad, esenciales para el bienestar y la estabilidad social.

En términos económicos, la implementación de una metodología optimizada llevará a una reducción significativa en los costos de producción mediante el uso eficiente de recursos y la minimización de desperdicios. La eficiencia mejorada también reducirá los tiempos de producción, permitiendo a la empresa aumentar su capacidad productiva y satisfacer mejor la demanda del mercado. Estas mejoras en eficiencia y reducción de costos aumentarán la rentabilidad de Consorcio Cerámico LYM SAC, permitiendo reinversiones en tecnología, infraestructura y capacitación del personal. Además, al poder ofrecer productos de mayor calidad a precios más competitivos, la empresa fortalecerá su posición en el mercado, incrementando su cuota de mercado y potenciando su crecimiento a largo plazo.

Desde una perspectiva medioambiental, la optimización de los procesos de producción de ladrillos llevará a una utilización más eficiente de los recursos naturales, como arcilla y agua, y a la reducción de desechos y emisiones contaminantes. Al adoptar prácticas de producción más sostenibles, la empresa disminuirá su huella ecológica, contribuyendo a la conservación del medio ambiente y al cumplimiento de normativas ambientales cada vez más estrictas. Por ejemplo, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero durante la cocción de los ladrillos y la implementación de sistemas de reciclaje de residuos de producción

tendrán un impacto positivo significativo en el entorno. Esto no solo mejorará la reputación de la empresa como un actor responsable en la industria, sino que también abrirá oportunidades para acceder a mercados que valoran la sostenibilidad y el respeto al medio ambiente.

1.7 Limitaciones de la investigación

La presente investigación presenta determinadas limitaciones asociadas al alcance del modelamiento y simulación desarrollados:

En primer lugar, el estudio se centró en la extrusora de ladrillos, debido a que constituye el equipo principal involucrado en el tratamiento mecánico de la arcilla y representa una etapa crítica dentro del proceso de conformado del producto. Por ello, no se realizó un análisis detallado de los demás equipos y etapas que conforman integralmente el proceso de producción de ladrillos, concentrándose el estudio en el comportamiento del material dentro de la extrusora.

En segundo lugar, el análisis se enfocó específicamente en el comportamiento del flujo de la arcilla al interior de la extrusora, considerando principalmente la distribución de presión y velocidad obtenida mediante simulación CFD. En consecuencia, la investigación no comprendió un análisis estructural de los componentes de la extrusora, tales como el cuerpo, el helicoide u otros elementos mecánicos, por lo que los resultados obtenidos no permiten determinar directamente los esfuerzos, deformaciones, factores de seguridad, vida a fatiga o posibles fallas estructurales de dichos componentes.

Asimismo, para efectos del modelamiento CFD, se establecieron condiciones y supuestos de simulación que permitieron representar el comportamiento de flujo de arcilla bajo las condiciones consideradas en la investigación, debido a la complejidad del comportamiento reológico de la arcilla. Por tanto, los resultados obtenidos mediante simulación representan el comportamiento del sistema bajo dichas condiciones y deben ser complementados con pruebas

experimentales o mediciones en campo para validar su comportamiento durante la operación real del equipo.

Finalmente, la propuesta de mejora se evaluó principalmente desde las perspectivas fluido dinámico, productivo, energético y económico, mediante la comparación entre el modelo actual (en funcionamiento) y el modelo mejorado. En consecuencia, la investigación no contempla la fabricación y validación física del prototipo mejorado de la extrusora, por lo que la implementación de la propuesta requerirá posteriormente verificaciones experimentales que permitan corroborar los resultados obtenidos mediante simulación.

II. Marco teórico

El marco teórico de esta investigación se basa en la teoría de la optimización de procesos industriales y la modelación matemática aplicada a la ingeniería de materiales. Se revisarán conceptos clave como la extrusión, mezcla de materias primas, compactación, eficiencia del proceso y costos de producción. La optimización del tratamiento mecánico en la producción de ladrillos es un tema de gran interés en la ingeniería de materiales y procesos industriales. Este marco teórico abordará las variables y los indicadores clave involucrados en este proceso, fundamentándose en investigaciones previas y contribuciones de autores destacados en el campo.

2.1 Proceso de fabricación de ladrillos

La fabricación de ladrillos cerámicos de arcilla comprende un conjunto de operaciones destinadas a transformar las materias primas en unidades con las características físicas y mecánicas requeridas. De manera general, el procesamiento cerámico puede dividirse en tres etapas principales: preparación de las materias primas, conformado y cocción. En la fabricación convencional de ladrillos, las arcillas son sometidas previamente a operaciones de molienda y mezclado, posteriormente son conformadas generalmente mediante extrusión, luego secadas para eliminar el exceso de humedad y finalmente sometidas al proceso de cocción. (Hotza & Maia, 2015).

2.1.1 *Preparación de las materias primas*

El proceso inicia con la selección, transporte y almacenamiento de las materias primas, principalmente arcillas. Posteriormente, estas son sometidas a operaciones de reducción de tamaño y mezclado con la finalidad de obtener una materia prima con características adecuadas

para las etapas posteriores del proceso. La preparación de la materia prima constituye una etapa importante debido a que las características de la arcilla y su acondicionamiento influyen en el comportamiento durante el conformado y en las propiedades del producto final. (Hotza & Maia, 2015).

2.1.2 Mezclado y acondicionamiento

Las materias primas preparadas son mezcladas y acondicionadas hasta obtener una masa con las características necesarias para su conformado. En esta etapa se busca alcanzar una distribución adecuada de los componentes y una condición de humedad que permita el procesamiento de la pasta cerámica. La composición de las materias primas y las condiciones de fabricación constituyen factores relevantes en las propiedades finales de los ladrillos (Al-Fakih et al., 2019).

2.1.3 Conformado mediante extrusión

Una vez preparada la masa, se realiza el conformado del ladrillo. En la fabricación de ladrillos de arcilla, la extrusión constituye un método de conformado empleado para transformar la pasta en una columna continua con la geometría determinada por la boquilla de salida. Durante esta operación, la masa es transportada y sometida a esfuerzos dentro de la extrusora hasta alcanzar la zona de conformado. Posteriormente, la columna extruida puede ser cortada de acuerdo con las dimensiones requeridas para obtener las unidades de ladrillo (Hotza & Maia, 2015).

2.1.4 Secado

Después del conformado, los ladrillos contienen humedad que debe ser eliminada antes de la cocción. El secado puede realizarse mediante condiciones naturales o mediante sistemas

de secado controlado. Esta etapa tiene como finalidad reducir progresivamente el contenido de humedad de las piezas y preparar el material para el tratamiento térmico posterior. (Hotza & Maia, 2015).

2.1.5 Cocción

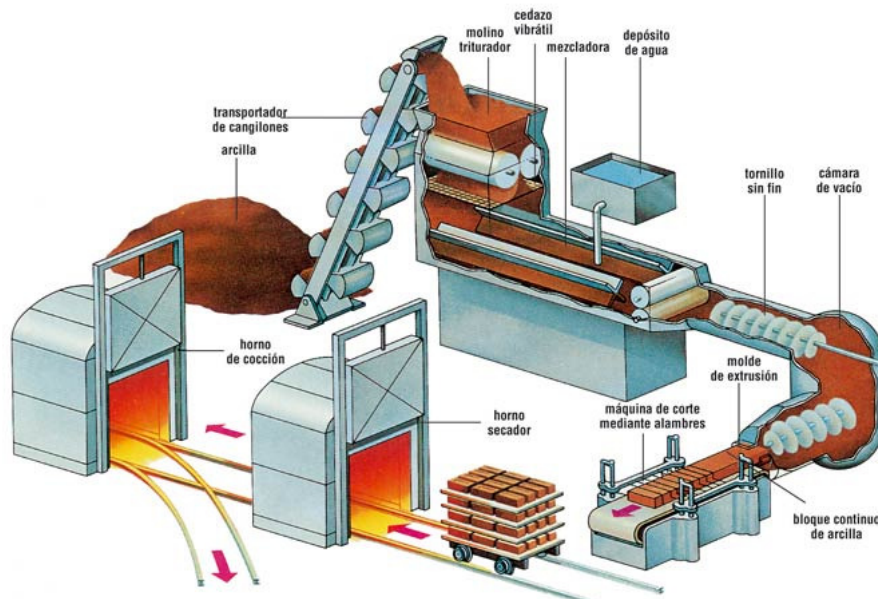
Una vez secos, los ladrillos son sometidos a un proceso de cocción en hornos. Durante esta etapa se producen transformaciones físicas y químicas que permiten desarrollar las propiedades características del material cerámico. La cocción constituye además una de las etapas de mayor importancia desde el punto de vista energético dentro de la fabricación de ladrillos cerámicos. (Hotza & Maia, 2015).

2.1.6 Enfriamiento, inspección y almacenamiento

Después de culminar el proceso de cocción, los ladrillos deben pasar por una etapa de enfriamiento, durante la cual las piezas reducen progresivamente su temperatura hasta alcanzar condiciones adecuadas para su manipulación. Posteriormente, los productos son sometidos a una inspección y clasificación, en la que se verifica que las unidades obtenidas presenten las características y condiciones de calidad requeridas. Finalmente, los ladrillos que cumplen con las especificaciones establecidas son almacenados y preparados para su posterior despacho y distribución. Estas operaciones corresponden a las etapas posteriores al tratamiento térmico dentro del proceso de fabricación de productos cerámicos. (Hotza & Maia, 2015).

Figura 1

Representación gráfica (genérica) del proceso de fabricación de ladrillos.



Nota. Esquema gráfico de proceso de fabricación de ladrillos en el que se aprecia la preparación de las materias primas, el conformado y la cocción de los ladrillos. Recuperado de <https://losladrillosyyo.blogspot.com/2018/09/el-ladrillo-origenes-desarrollo-el.html>

2.2 Modelación y optimización del tratamiento mecánico.

La modelación y optimización del tratamiento mecánico en la producción de ladrillos se centran en la mejora de los procesos físicos y mecánicos implicados en la fabricación de estos productos, con el objetivo de maximizar la eficiencia, la calidad del producto y la sostenibilidad. Este enfoque abarca desde la preparación de materias primas hasta el moldeo y cocción de los ladrillos (Callister & Rethwish, 2018).

El tratamiento mecánico en la producción de ladrillos incluye varias etapas críticas. Primero, las materias primas, principalmente arcilla y otros aditivos, se trituran y tamizan para obtener una granulometría adecuada. Luego, estas materias primas se mezclan

homogéneamente con agua y otros componentes para lograr la consistencia deseada. La mezcla preparada se moldea utilizando prensas mecánicas o extrusoras, formando así los ladrillos. Estos ladrillos moldeados se secan para eliminar la humedad antes de la cocción. Finalmente, los ladrillos secos se cuecen en hornos a altas temperaturas para adquirir las propiedades mecánicas y físicas deseadas (Callister & Rethwish, 2018).

La modelación y optimización de estos procesos utilizan técnicas matemáticas y computacionales para representar y mejorar las diferentes etapas del tratamiento mecánico. Los modelos matemáticos son esenciales para describir el comportamiento de los materiales durante el proceso y para predecir los resultados bajo diversas condiciones. Las simulaciones computacionales permiten analizar y optimizar parámetros del proceso, como la temperatura, la presión y el tiempo de mezcla, con el fin de mejorar la calidad del producto y reducir los costos. Además, los métodos de optimización, que incluyen la programación lineal y no lineal, los algoritmos genéticos y otras heurísticas, se emplean para identificar las mejores configuraciones del proceso (Callister & Rethwish, 2018).

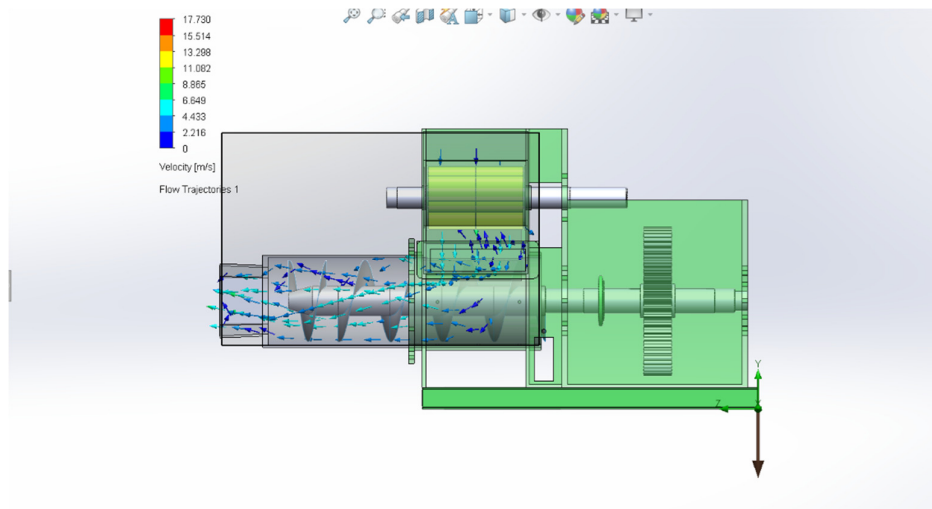
En el artículo "Optimization of the Drying Process in Brick Production Using Computational Fluid Dynamics," Li et al. (2020) exploran la optimización del proceso de secado en la producción de ladrillos mediante el uso de dinámica de fluidos computacional (CFD). Este estudio destaca cómo la optimización puede mejorar la eficiencia energética y la calidad del producto final. Asimismo, Kumar y Sangwan (2017), en su artículo "Mechanical Properties and Microstructure of Clay Bricks with Optimized Firing Process," investigan cómo la optimización del proceso de cocción impacta las propiedades mecánicas y la microestructura de los ladrillos de arcilla. Este trabajo demuestra que la optimización del proceso de cocción no solo mejora la resistencia mecánica de los ladrillos, sino que también afecta positivamente su estructura interna.

2.2.1 Computational Fluid Dynamics (CFD)

La Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) se refiere al uso de métodos numéricos y técnicas computacionales para analizar problemas que involucran flujos de fluidos y transferencia de calor y masa. La CFD permite estudiar sistemas complejos en los que la experimentación resulta costosa o poco práctica.

Figura 2

Simulación CFD del Flujo de arcilla en extrusora



Nota. Elaboración propia. Simulación CFD en el cual por medio de condiciones de contorno definidas y mediante FEM se obtienen presiones y velocidades.

2.3 Cálculo de la Presión y Velocidad.

Las ecuaciones de Navier-Stokes son un conjunto de ecuaciones no lineales que describen el comportamiento de fluidos viscosos en movimiento, basadas en la conservación de la masa y la cantidad de movimiento expresadas en términos de la velocidad del fluido, presión y viscosidad.

La ecuación de Navier-Stokes se escribe de forma vectorial de la siguiente manera:

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \nabla u \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 u + f \quad (1)$$

donde:

- ρ = Densidad
- $\frac{\partial u}{\partial t}$ = Variación de la velocidad en el tiempo
- u = velocidad
- ∇u = Gradiente de velocidad o Ecuación de la continuidad
- ∇p = Gradiente de presión
- $\nabla \cdot T$ = Gradiente de Tensión
- f = Fuerzas externas
- μ = Viscosidad dinámica

Usando la ecuación de continuidad, la cual se expresa en componentes cartesianas:

$$\nabla u = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \quad (2)$$

Reemplazando en la ecuación inicial en las 3 componentes cartesianas, donde u, v, w son las componentes de velocidad en las direcciones x, y, z respectivamente:

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial u}{\partial y} + w \cdot \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \cdot \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + f_x \quad (3)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial v}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial v}{\partial y} + w \cdot \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \cdot \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + f_y \quad (4)$$

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial w}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial w}{\partial y} + w \cdot \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \cdot \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) + f_z \quad (5)$$

Condiciones de contorno:

- Condición de no deslizamiento (velocidad en la pared igual a cero)
- Condición de presión (presión conocida en la frontera)

- Condición de flujo (flujo conocido en la frontera)

Donde la ecuación de Navier-Stokes para la presión es con las condiciones de contorno se simplifica:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \rho g x \quad (6)$$

- $\frac{\partial u}{\partial t} = 0$ flujo estacionario
- $v = w = 0$ flujo direccion eje x
- $\frac{\partial u}{\partial z} = 0$ flujo bidimensional
- $\frac{\partial p}{\partial y} = 0$ presion constante eje y

Donde integrando la ecuación 9 con las condiciones establecidas seria:

$$u(y) = \left(\frac{1}{2} \mu\right) \left(\frac{\partial p}{\partial x} - \frac{Uy}{h}\right) (y^2 - hy) \quad (7)$$

- $u(y = 0) = 0$ velocidad cero en la pared inferior
- $u(y = h) = U$ velocidad en la pared superior

Donde el promedio de velocidad es:

$$U = \left(\frac{1}{h}\right) \int_0^h u(y) dy \quad (8)$$

Integrando ecuación 11:

$$U = -\left(\frac{h^2}{4\mu}\right) \left(\frac{\partial p}{\partial x}\right) + \frac{U}{2}$$

$$-U \left(\frac{2\mu}{h^2}\right) = \left(\frac{\partial p}{\partial x}\right) \quad (9)$$

Reordenando ecuación 10 y sustituyendo la ecuación 12:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \rho g \frac{\Delta h}{L} - 2\mu \frac{U}{h^2} \quad (10)$$

Integrando la ecuación 9:

$$P(x) = p_0 - \left(\frac{\partial p}{\partial x}\right) \cdot L \quad (11)$$

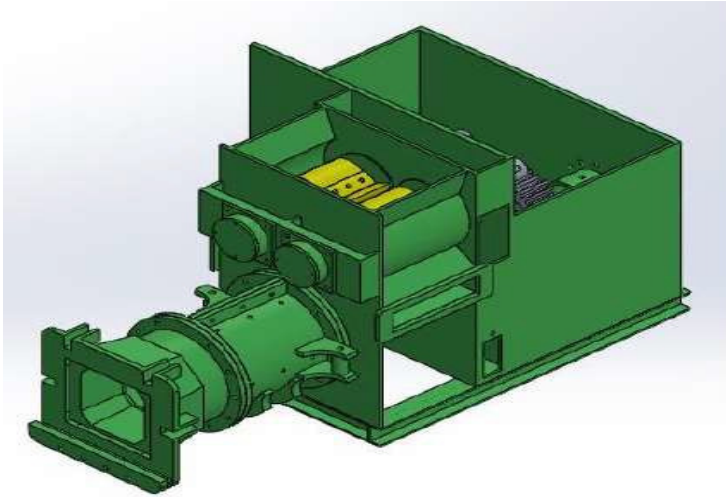
$$P(x) = p_0 - \left(\rho g \frac{\Delta h}{L} - 2\mu \frac{u}{h^2}\right) \cdot L \quad (12)$$

2.4 Proceso de extrusión.

El proceso de extrusión es fundamental en la formación de ladrillos, donde la presión aplicada y la velocidad de extrusión son indicadores cruciales. Según Smith et al. (2019), la presión aplicada durante el proceso de extrusión, medida en libras por pulgada cuadrada (Psi), es esencial para asegurar la densidad y la cohesión del material. Una presión adecuada garantiza que la arcilla se compacte de manera uniforme, eliminando vacíos y poros que podrían comprometer la integridad del ladrillo. Johnson (2020) destaca que la velocidad de extrusión, medida en metros por segundo (m/s), influye directamente en la uniformidad y calidad del producto final. Una velocidad controlada permite una distribución uniforme de la mezcla a través del molde, reduciendo la variabilidad en el tamaño y forma de los ladrillos. Además, una velocidad de extrusión óptima puede mejorar la productividad sin sacrificar la calidad, lo cual es esencial en un entorno de producción a gran escala.

Figura 3

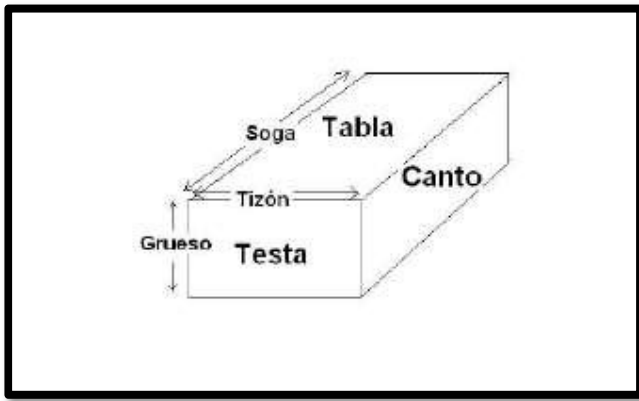
Vista Isométrica de una Extrusora



Nota. Elaboración propia, en la que se aprecia el prototipo de extrusora que utiliza el Consorcio Cerámico LYM S.A.C.

2.5 Mezcla de materias primas.

La composición de la mezcla de materias primas, que incluye arcilla, agua y aditivos, es un aspecto crítico. Wang (2018) explica que la proporción de cada componente, expresada en porcentaje, determina las propiedades mecánicas y la durabilidad de los ladrillos. Una mezcla bien balanceada asegura que los ladrillos sean lo suficientemente fuertes para resistir cargas estructurales, mientras que los aditivos pueden mejorar características específicas como la resistencia al agua o la capacidad aislante. Lee (2021) enfatiza la importancia de la homogeneidad de la mezcla, la cual puede ser evaluada mediante la desviación estándar. Una mezcla uniforme garantiza la consistencia en la calidad de los ladrillos producidos, evitando problemas como la segregación de materiales que pueden llevar a defectos estructurales. La uniformidad en la mezcla también contribuye a una producción más eficiente y menos desperdicio de material.

Figura 4*Partes de un Ladrillo*

Nota. Elaboración propia, se detalla las partes de un ladrillo en un ladrillo de tipo sólido.

2.6 Partes del ladrillo.

En la construcción y la mampostería, se emplean diversos términos técnicos para describir las diferentes partes y orientaciones de un ladrillo, fundamentales para entender su uso adecuado en diversas estructuras.

2.6.1 Soga

La soga es el lado más largo del ladrillo. Cuando los ladrillos se colocan con la soga visible, su longitud está paralela a la cara de la pared. Este tipo de colocación es común en el aparejo a soga, que proporciona una apariencia uniforme y continua en las paredes, ideal para muros largos y rectos (Callister & Rethwisch, 2018; Chen & Lawrence, 2007).

2.6.2 Testa

La testa es el lado más corto del ladrillo. Se ve en la pared cuando los ladrillos se colocan de manera que su longitud esté perpendicular a la cara visible de la pared. La testa se utiliza en patrones de albañilería como el aparejo flamenco y el aparejo inglés, donde alternan hileras de sogas y testas, proporcionando estabilidad y resistencia a la estructura.

(Callister & Rethwisch, 2018; Chen & Lawrence, 2007).

2.6.3 Tizón.

El tizón es la cara más estrecha y corta del ladrillo. Es visible cuando el ladrillo se coloca de manera que su longitud esté perpendicular a la cara de la pared. En el aparejo a tizón, los ladrillos se colocan con los tizones visibles, lo cual proporciona mayor estabilidad transversal a la pared, mejorando la integridad estructural (Callister & Rethwisch, 2018; Chen & Lawrence, 2007).

2.6.4 Canto.

El canto es el lado más delgado del ladrillo. Los ladrillos colocados de canto se utilizan principalmente en trabajos de detalle o en elementos decorativos, ya que esta orientación no es común en muros estructurales. Esta técnica puede añadir elementos estéticos únicos a la construcción (Callister & Rethwisch, 2018; Chen & Lawrence, 2007).

2.6.5 Tabla.

La tabla es la cara más grande y ancha del ladrillo, siendo la superficie más plana y extensa. Cuando los ladrillos se colocan con las tablas visibles, se crea una superficie plana y uniforme, lo cual es útil en ciertos patrones de albañilería para dar un acabado estético y estructuralmente homogéneo a las paredes (Callister & Rethwisch, 2018; Chen & Lawrence, 2007).

2.6.6 Grueso.

El grueso se refiere al espesor del ladrillo, es decir, la distancia entre las dos tablas. Este término es importante cuando se considera la resistencia térmica y acústica de una pared, así como su capacidad estructural. Los ladrillos más gruesos proporcionan mayor resistencia y mejores propiedades de aislamiento, lo cual es crucial para la eficiencia energética de las

edificaciones (Callister & Rethwisch, 2018; Chen & Lawrence, 2007).

2.7 Compactación

El nivel de compactación de los ladrillos después de la formación se evalúa mediante la densidad, medida en gramos por centímetro cúbico (g/cm³). Martínez (2017) sugiere que una mayor densidad generalmente indica una mejor resistencia mecánica, ya que los ladrillos más densos tienen menos espacios vacíos y son menos propensos a fracturarse bajo carga. Además, una densidad uniforme en todos los ladrillos asegura que cada unidad tenga propiedades mecánicas consistentes, lo cual es crucial para su desempeño en aplicaciones de construcción. Brown (2020) añade que la resistencia a la compresión, medida en Megapascuales (MPa), es un indicador vital de la capacidad de los ladrillos para soportar cargas. La resistencia a la compresión es muy importante para aplicaciones en estructuras portantes, donde los ladrillos deben soportar no solo su propio peso, sino también las cargas adicionales de la estructura.

2.8 Eficiencia Del Proceso

La eficiencia del proceso de producción se mide a través del tiempo de ciclo de producción y el rendimiento del proceso. Kumar (2019) resalta que el tiempo de ciclo de producción, medido en minutos, afecta la productividad global. Un tiempo de ciclo reducido permite una mayor producción en el mismo período de tiempo, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo los costos unitarios.

2.8.1 Cálculo de la eficiencia del proceso

Para evaluar la eficiencia del proceso de producción de ladrillos, se utilizarán indicadores cuantitativos que permitan medir el desempeño operativo. La eficiencia del proceso se puede calcular mediante la siguiente fórmula estándar:

$$\text{Eficiencia del Proceso (\%)} = \left(\frac{\text{Producción Real}}{\text{Producción Estándar}} \right) \times 100 \quad (13)$$

Donde:

- Producción Real: cantidad de ladrillos conformes producidos en un periodo determinado.
- Producción Estándar: cantidad de ladrillos que se espera producir bajo condiciones óptimas en el mismo periodo, mostradas en las siguientes tablas a continuación:

Guía de Observación para el Proceso de Extrusión

Tabla 1

Presión Aplicada

Fecha	Hora	Presión Aplicada(kPa)
15/01/2025	10:00	370.686
22/01/2025	14:00	368.295
05/02/2025	09:30	371.281

Tabla 2

Velocidad Aplicada

Fecha	Hora	Velocidad de Extrusión (m/s)
15/01/2025	10:00	3.058
22/01/2025	14:00	2.820
05/02/2025	09:30	2.920

Tabla 3

Composición de la Mezcla

Fecha	Componente	Porcentaje (%)
15/01/2025	Arcilla	70

15/01/2025	Agua	25
15/01/2025	Aditivos	5

Tabla 4*Resistencia a la compresión*

Fecha	Fuerza Máxima (N)	Área (cm²)	Resistencia (kPa)
15/01/2025	5000	50	10,000
22/01/2025	5200	50	10,400
05/02/2025	5100	50	10,200

Tabla 5*Ciclos de Producción*

Fecha	Tiempo de Ciclo (min)
15/01/2025	30
22/01/2025	28
05/02/2025	29

Tabla 6*Rendimiento del Proceso*

Fecha	Total de Ladrillos	Ladrillos Conformes	Porcentaje Conformes (%)
15/01/2025	40000	39000	97.5
22/01/2025	40000	39200	98
05/02/2025	40000	39100	97.75

La implementación de tecnologías más eficientes en el uso de energía puede reducir estos costos y mejorar la sostenibilidad del proceso. Gonzalez (2020) subraya la importancia de gestionar los costos de las materias primas para mantener la competitividad en el mercado. La fluctuación en los precios de las materias primas puede afectar significativamente los márgenes de beneficio, por lo que una gestión efectiva de los suministros y una negociación favorable de contratos de compra son esenciales para la estabilidad financiera de la operación.

2.9 Producción De Ladrillos

Una extrusora es una máquina fundamental en la producción de ladrillos, utilizada para moldear la mezcla de arcilla y aditivos en una forma continua mediante la aplicación de presión. Esta máquina consta de varias partes clave, incluyendo una tolva de alimentación, un barril, un tornillo sinfín y una matriz de extrusión. Componentes Principales: La tolva de alimentación es el punto de entrada donde se introduce la mezcla de arcilla y aditivos. A partir de allí, la mezcla pasa al barril, que es un cilindro que alberga el tornillo sinfín. Este tornillo es un eje helicoidal que empuja la mezcla hacia adelante y la compacta. Finalmente, la matriz de extrusión es la boquilla que da forma a la mezcla al salir de la extrusora (Callister & Rethwisch, 2018).

Figura 5

Extrusora en Plena Producción de Ladrillos



Nota. Fotografía de extrusora en servicio del Consorcio Cerámico LyM S.A.C, cuya capacidad de producción de 40000 ladrillos diarios.

El proceso comienza con la preparación de la mezcla, donde la arcilla y otros materiales como arena y aditivos se mezclan homogéneamente con agua para obtener la consistencia adecuada. Una vez preparada, la mezcla se introduce en la tolva de la extrusora. Dentro del barril, el tornillo sinfín empuja y compacta la mezcla mientras la transporta hacia adelante. La mezcla compactada pasa a través de la matriz de extrusión, que le da la forma deseada. Este proceso produce una columna continua de material con la forma de los ladrillos. Una vez formada la columna, se utiliza un sistema de corte, que a menudo incluye un alambre de corte o cuchillas, para cortar la columna en unidades del tamaño adecuado. Los ladrillos cortados se secan para eliminar la humedad y luego se cuecen en un horno a altas temperaturas, adquiriendo así las propiedades físicas y mecánicas deseadas (Callister & Rethwisch, 2018).

El uso de una extrusora en la producción de ladrillos ofrece varias ventajas significativas. Primero, permite una producción continua, lo que aumenta la eficiencia y reduce el tiempo de producción. Además, la presión y el moldeo uniforme aseguran que los ladrillos tengan una forma y tamaño consistentes. La flexibilidad de la extrusora también es notable, ya que se pueden cambiar las matrices para producir diferentes formas y tamaños de ladrillos (Callister & Rethwisch, 2018).

2.10 Calidad Del Producto

La calidad del producto se evalúa mediante la resistencia mecánica y la uniformidad del tamaño y forma de los ladrillos. Según Smith et al. (2019), la resistencia mecánica, medida en MPa, es fundamental para asegurar que los ladrillos cumplan con los estándares de construcción. Los ladrillos con alta resistencia mecánica son capaces de soportar cargas estructurales y resistir el desgaste ambiental, lo cual es crucial para su uso en edificaciones. Johnson (2020) menciona que la uniformidad en tamaño y forma, evaluada como el porcentaje de variación respecto al estándar, es crucial para la consistencia del producto final. La

uniformidad en tamaño y forma facilita el proceso de construcción, asegurando un ajuste perfecto entre los ladrillos y reduciendo la necesidad de ajustes en el sitio de construcción.

2.11 Productividad

La productividad se mide en términos de la cantidad de ladrillos producidos por hora (ladrillos/hora). Wang (2018) explica que una alta tasa de producción es indicativa de un proceso eficiente. Un aumento en la productividad no solo mejora la capacidad de satisfacer la demanda del mercado, sino que también reduce los costos unitarios de producción al distribuir los costos fijos sobre un mayor número de unidades producidas. Lee (2021) también aborda la tasa de defectos, medida como el porcentaje de ladrillos defectuosos, que es un indicador de la calidad del proceso de producción. Una baja tasa de defectos indica que el proceso está bien controlado y que se minimizan los desperdicios y la necesidad de retrabajo. Esto no solo mejora la eficiencia, sino que también contribuye a una mejor utilización de los recursos y una mayor satisfacción del cliente.

2.12 Sostenibilidad

El impacto ambiental de la producción de ladrillos se mide mediante las emisiones de CO₂ y el uso de materiales reciclados. Martínez (2017) destaca la importancia de reducir las emisiones de CO₂, medida en kilogramos de CO₂ por unidad (kg CO₂/unidad), para mitigar el impacto ambiental. La reducción de emisiones puede lograrse mediante la adopción de tecnologías más limpias y eficientes, así como la optimización del proceso de producción para minimizar el consumo de energía. Brown (2020) analiza cómo el porcentaje de materiales reciclados puede contribuir a la sostenibilidad del proceso de producción. El uso de materiales reciclados no solo reduce la dependencia de materias primas vírgenes, sino que también disminuye los residuos y promueve una economía circular. Esto puede mejorar la percepción de la empresa en términos de responsabilidad ambiental y sostenibilidad.

2.13 Evaluación Del Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna De Retorno (TIR)

La evaluación del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) son fundamentales para determinar la viabilidad y rentabilidad de un proyecto. Estos indicadores financieros permiten a los gestores de proyectos tomar decisiones informadas sobre inversiones futuras.

2.14 Costos Operativos y Su Impacto En El VAN Y La TIR

Los costos operativos, que incluyen el costo de mano de obra y el costo de mantenimiento de equipos, tienen un impacto significativo en los flujos de caja del proyecto. La gestión eficiente de estos costos es crucial para maximizar los beneficios netos y asegurar la rentabilidad a largo plazo.

1. Mano de Obra: Kumar (2019) destaca la importancia de la eficiencia en la utilización de la mano de obra. Esto puede lograrse mediante la capacitación continua y la implementación de prácticas de trabajo eficientes. Por ejemplo:

- Capacitación Continua: Mejora las habilidades de los empleados, lo que puede aumentar la productividad y reducir los errores, disminuyendo así los costos laborales por hora (\$/hora).

- Prácticas de Trabajo Eficientes: La optimización de procesos y la eliminación de actividades innecesarias pueden reducir el tiempo de producción y los costos asociados.

2. Mantenimiento de Equipos: Patel (2018) sugiere que la eficiencia en el mantenimiento de equipos puede reducir significativamente los costos operativos. Un programa de mantenimiento preventivo bien planificado puede prevenir averías costosas y prolongar la vida útil de los equipos. Esto se traduce en:

- Reducción de Averías: Minimiza el tiempo de inactividad y los costos de reparación inesperados.

- Prolongación de la Vida Útil de los Equipos: Reduce la necesidad de inversiones

frecuentes en nuevos equipos, mejorando la estabilidad financiera del proyecto.

2.15 Cálculo Del VAN

El VAN se calcula descontando los flujos de caja futuros a su valor presente utilizando una tasa de descuento y restando la inversión inicial del proyecto. La fórmula básica es:

El Valor Actual Neto (VAN) se calcula con la siguiente fórmula:

$$VAN = \sum [F_t / (1 + r)^t] - C_0 \quad (14)$$

donde:

- F_t es el flujo de caja neto en el período t .
- r es la tasa de descuento.
- I es la inversión inicial.

Una adecuada gestión de los costos operativos, como la reducción de costos laborales y de mantenimiento, aumenta los flujos de caja netos (FC_t), lo que incrementa el VAN del proyecto.

2.16 Cálculo De La TIR

La TIR es la tasa de descuento que iguala el valor presente de los flujos de caja netos de un proyecto con su inversión inicial. Matemáticamente, la TIR es la tasa r que satisface la siguiente ecuación:

$$\sum (FC_t / (1 + r)^t) = I \quad (15)$$

La TIR es una medida del rendimiento potencial de una inversión. Si la TIR es mayor que la tasa de retorno requerida, el proyecto es considerado viable. La reducción de los costos operativos mejora los flujos de caja netos, lo que puede resultar en una TIR más alta.

Importancia de la Gestión de Costos: La gestión eficiente de los costos operativos es crucial para maximizar el VAN y la TIR de un proyecto. Según Kumar (2019), la eficiencia

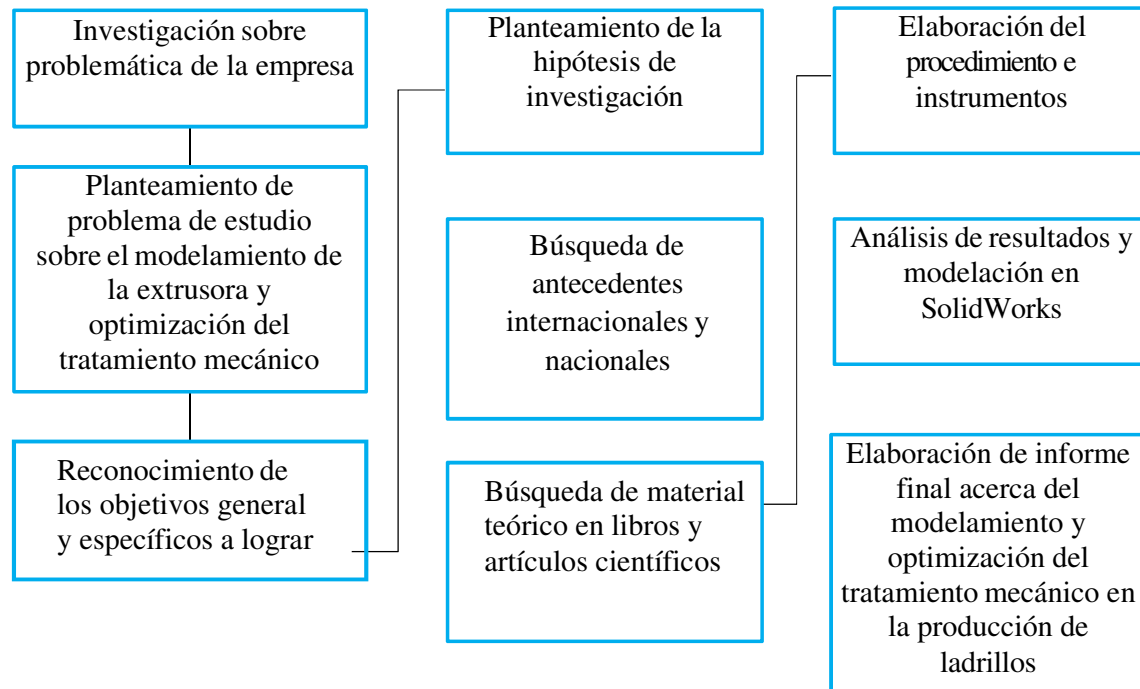
en la mano de obra puede lograrse mediante la capacitación continua y la implementación de prácticas de trabajo eficientes. Patel (2018) enfatiza que un mantenimiento preventivo bien planificado puede reducir significativamente los costos operativos y mejorar la productividad. Estos enfoques no solo mejoran la rentabilidad operativa, sino que también fortalecen la posición financiera del proyecto.

III. Materiales y Métodos

3.1 Metodología de la investigación

Figura 6

Diagrama de Procedimientos



Nota. Elaboración propia.

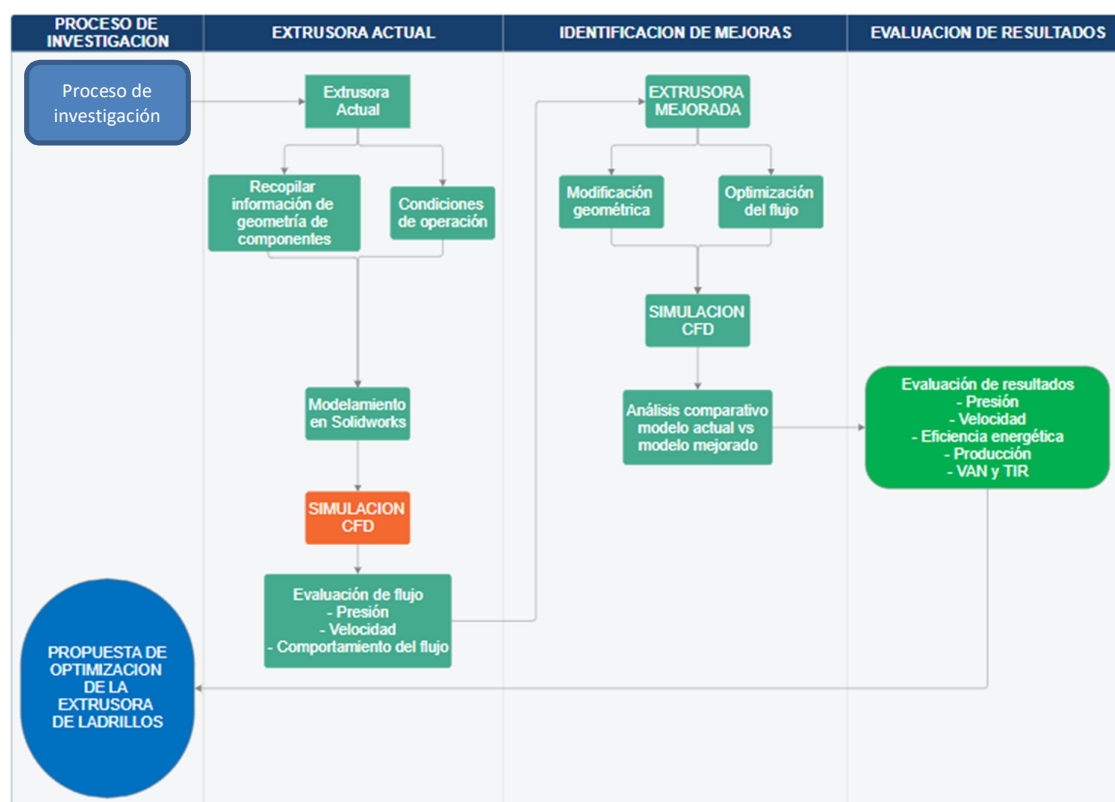
3.2 Diseño de la investigación

La presente investigación hizo uso de un diseño orientado al modelamiento, simulación y comparación de la extrusora de ladrillos, considerando como punto de partida el modelo actual del equipo y desarrollando posteriormente una propuesta de mejora. El procedimiento de investigación comprendió el modelamiento de la geometría de la extrusora, la simulación del flujo interno de arcilla con la ayuda del software SolidWorks CFD, la identificación de las condiciones de comportamiento del modelo actual, el desarrollo del modelo mejorado y posterior comparación de ambos modelos.

El diseño hizo viable evaluar el comportamiento de variables asociadas al flujo interno, principalmente presión y velocidad, así como relacionar los resultados obtenidos con indicadores de eficiencia energética, producción y viabilidad económica. De esta manera la investigación permitió determinar si la propuesta de optimización presenta mejoras respecto al modelo actual de la extrusora.

Figura 7

Diseño de investigación para la modelación y optimización de la extrusora de ladrillos.



Nota. Elaboración propia. El diseño de investigación parte del modelamiento de la extrusora actual, sobre la cual se realiza la simulación CFD para determinar el comportamiento de la arcilla. A partir de los resultados obtenidos se identifican oportunidades de mejora y se desarrolla el modelo mejorado de la extrusora. Posteriormente, ambos modelos son sometidos a simulación y comparación, considerando principalmente la distribución de presión y velocidad. Finalmente, los resultados son complementados con indicadores relacionados a eficiencia energética, capacidad productiva y evaluación económica mediante el VAN y el TIR.

3.3 Población y muestra

La población del estudio se centra en la extrusora que forma parte de la línea de producción del Consorcio Cerámico LyM S.A.C, siendo la muestra la misma. Por tanto, la población y muestra son únicas.

3.4 Operacionalización de variables

A continuación, se detallará la siguiente tabla de operacionalización de variables dependientes e independientes en la Tabla 7.

3.5 Tipo de investigación

Experimental Aplicada: Debido a que se pretenderá resolver una problemática en base a un modelamiento, o variación de una variable para observar su efecto en el resultado, y se busca resolver un problema con métodos en la práctica.

Tabla 7*Matriz de operacionalización*

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidades de medida
Modelación y Optimización del Tratamiento Mecánico (Variable Dependiente)	Proceso de formar ladrillos aplicando presión a la arcilla	Medición de la presión aplicada durante el proceso de extrusión	Proceso de Extrusión	Presión aplicada	Psi (libras por pulgada cuadrada)
	Velocidad a la cual la arcilla es empujada a través del molde	Registro de la velocidad durante el proceso de extrusión		Velocidad de extrusión	m/s (metros por segundo)
	Proporción de materiales como arcilla, agua y aditivos	Análisis de la mezcla mediante muestreo y laboratorio	Mezcla de Materias Primas	Composición de la mezcla	% de cada componente
	Capacidad de los ladrillos para resistir fuerzas compresivas	Pruebas de resistencia utilizando máquinas de compresión	Compactación	Resistencia a la compresión	MPa (Megapascuales)
	Duración total desde el inicio hasta el fin del proceso de producción	Cronometraje de las distintas etapas del proceso de producción	Eficiencia del Proceso	Tiempo de ciclo de producción	Minutos
	Proporción de ladrillos que cumplen con los estándares de calidad	Cálculo del porcentaje de productos conformes sobre el total		Rendimiento del proceso	% de ladrillos conformes
	Gasto energético asociado al proceso de producción	Registro de los costos energéticos mediante facturas y sistemas de gestión	Costos de Producción	Costo de energía	\$/unidad
	Inversión en materiales necesarios para la producción de ladrillos	Análisis de costos mediante registros contables		Costo de materias primas	\$/unidad
Producción de Ladrillos (Variable Independiente)	Cantidad de ladrillos producidos en un período de tiempo	Medición de la cantidad de ladrillos producidos por hora	Productividad	Cantidad de ladrillos producidos por hora	Ladrillos/hora
	Proporción de ladrillos defectuosos	Cálculo del porcentaje de ladrillos defectuosos sobre el total producido		Tasa de defectos	% de ladrillos defectuosos
	Gastos asociados a la producción de ladrillos	Medición de los costos de mano de obra y mantenimiento de equipos	Costos Operativos	Costo de mano de obra	\$/hora
	Costos de mantenimiento de equipos	Registro de los costos de mantenimiento mensual		Costo de mantenimiento de equipos	\$/mes

3.6 Instrumentación

Los instrumentos utilizados de medición de parámetros de operación empleados fueron:

Instrumentos específicos.

1. **Manómetro:** Para medir la presión aplicada durante la extrusión.
2. **Tacómetro/Velocímetro:** Para medir la velocidad de extrusión.
3. **Balanza Analítica:** Para analizar la composición de la mezcla de materias primas.
4. **Máquina de Compresión:** Para medir la resistencia a la compresión y la resistencia mecánica de los ladrillos.
5. **Cronómetro:** Para medir el tiempo de ciclo de producción.
6. **Medidor de Energía Eléctrica:** Para registrar el costo de energía.
7. **Calibrador Vernier y/o Micrómetro:** Para medir la uniformidad del tamaño y la forma de los ladrillos.

3.7 Técnicas, procesamiento y análisis de los resultados:

La técnica que se aplicó fue, la técnica de validación, la cual comparamos datos teóricos aplicando las ecuaciones de Navier-Stokes con condiciones de flujo constantes y los datos del programa SolidWorks CFD.

Para el procesamiento de los resultados se empleó un ordenador portátil equipado con software: SolidWorks, Microsoft Word, y Microsoft Excel.

Para el análisis de los resultados se utilizó el programa SolidWorks, el cual simula el proceso de extrusión y permite contrastar si los cálculos obtenidos teórica y experimentalmente cumplen con los requisitos de modelamiento. Esto asegura que el equipo se pueda desarrollar de forma segura en su manufactura respectiva, sin presentar inconvenientes en su operación.

3.8 Matriz de consistencia:

La matriz de consistencia que se muestra a continuación permite establecer la relación entre el problema de investigación, los objetivos, la hipótesis, las variables y los indicadores considerados en el desarrollo de la investigación. En la Tabla 8 se presenta la matriz de consistencia de la investigación.

Tabla 8*Matriz de consistencia*

Problema de investigación	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
Problema general: ¿De qué manera la modelación y optimización del tratamiento mecánico en la producción de ladrillos mediante SolidWorks puede mejorar la eficiencia del proceso en el Consorcio Cerámico L&M SAC?	Objetivo general: Modelar y optimizar el tratamiento mecánico en la producción de ladrillos del Consorcio Cerámico L&M SAC utilizando SolidWorks para mejorar la eficiencia del proceso	Hipótesis general: La modelación y optimización del tratamiento mecánico en la producción de ladrillos mediante el uso de SolidWorks mejorará significativamente la eficiencia del proceso en el Consorcio Cerámico L&M SAC.	Variable independiente: Producción de ladrillos. Variable dependiente: Modelación y optimización del tratamiento mecánico.	Tipo: Aplicada. Enfoque: Cuantitativo. Diseño: Experimental. Población y muestra: Extrusora de la línea de producción del Consorcio Cerámico L&M SAC.
Problema específico 1: ¿De qué manera la presión aplicada durante el proceso de extrusión influye en la resistencia de los ladrillos?	Objetivo específico 1: Determinar la presión aplicada durante el proceso de extrusión en la resistencia de los ladrillos.		VD: Modelación y optimización del tratamiento mecánico. Dimensión: Proceso de extrusión. Indicador: Presión aplicada (psi).	Técnica: simulación y análisis del proceso de extrusión.
Problema específico 2: ¿De qué manera la velocidad de extrusión influye en la consistencia e los ladrillos?	Objetivo específico 2: Calcular la velocidad de extrusión en la consistencia de los ladrillos.		VD: Modelación y optimización del tratamiento mecánico. Dimensión: Proceso de extrusión. Indicador: Velocidad de extrusión (m/s).	Técnica: simulación CFD y análisis de resultados.

Problema específico 3: ¿De qué manera la composición y homogeneidad de la mezcla de materias primas influye en las propiedades finales de los ladrillos?	Objetivo específico 3: Evaluar la composición y homogeneidad de la mezcla de materias primas y su impacto en las propiedades finales de los ladrillos.	VD: Modelación y optimización del tratamiento mecánico. Dimensión: Mezcla de materias primas. Indicador: Composición de la mezcla (%).	Técnica: análisis de la composición y homogeneidad de la mezcla.
Problema específico 4: ¿De qué manera el tiempo de ciclo de producción influye en la eficiencia del proceso de producción de ladrillos?	Objetivo específico 4: Determinar el tiempo de ciclo de producción para mejorar la eficiencia del proceso de producción de ladrillos.	VD: Modelación y optimización del tratamiento mecánico. Dimensión: Eficiencia del proceso. Indicador: Tiempo de ciclo (min).	Técnica: registro y análisis del tiempo de producción.
Problema específico 5: ¿Qué diferencias existen entre el comportamiento de la extrusora actual y el modelo mejorado mediante simulación SolidWorks CFD?	Objetivo específico 5: Modelar la extrusora actual, así como también la mejorada para luego realizar un análisis comparativo de ambas mediante simulación SolidWorks CFD.	VD: Modelación y optimización del tratamiento mecánico. Dimensión: Modelación y simulación CFD. Indicador: Presión, velocidad y comportamiento del flujo.	Técnica: modelamiento y simulación CFD.
Problema específico 6: ¿Cuál es la viabilidad económica de la propuesta de mejora del tratamiento mecánico?	Objetivo específico 6: Evaluar el VAN y TIR del proyecto.	VD: Modelación y optimización del tratamiento mecánico. Dimensión: Viabilidad económica Indicador: VAN (\$) y TIR (%).	Técnica: evaluación económica.

IV. Resultados y discusión

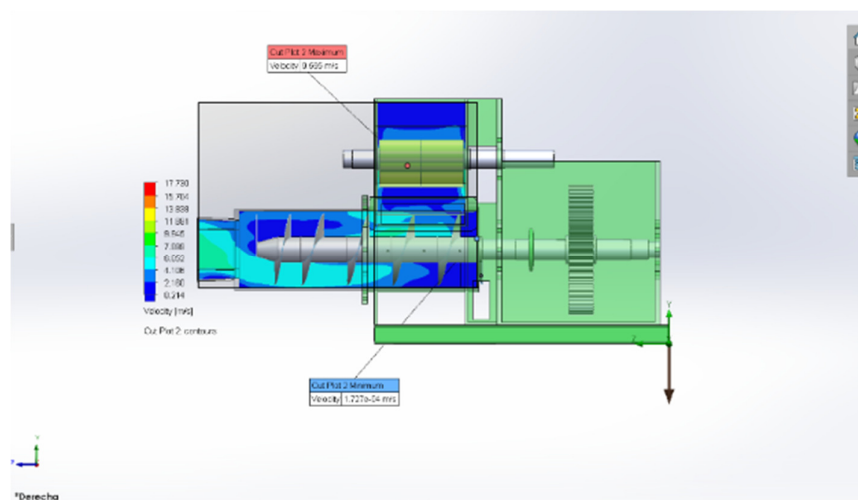
4.1 Resultados

Objetivo General: Modelar y optimizar el tratamiento mecánico en la producción de ladrillos del Consorcio Cerámico LYM SAC utilizando SolidWorks para mejorar la eficiencia del proceso.

La figura 8 muestra un análisis de la distribución de velocidades en el modelo actual de la extrusora de ladrillos. Se observa un rango de velocidades que varía desde 0.214 m/s hasta un máximo de 17.730 m/s, con un promedio de 3.058 m/s. Las áreas de mayor velocidad se concentran en la región central del gusano extrusor, lo que indica un flujo acelerado en esta zona. Sin embargo, también se identifican zonas de baja velocidad cerca de las paredes, lo que podría generar inconsistencias en la mezcla de arcilla. Este comportamiento sugiere la presencia de vórtices y turbulencias que afectan la uniformidad del flujo.

Figura 8

Modelado Actual de la Extrusora en funcionamiento

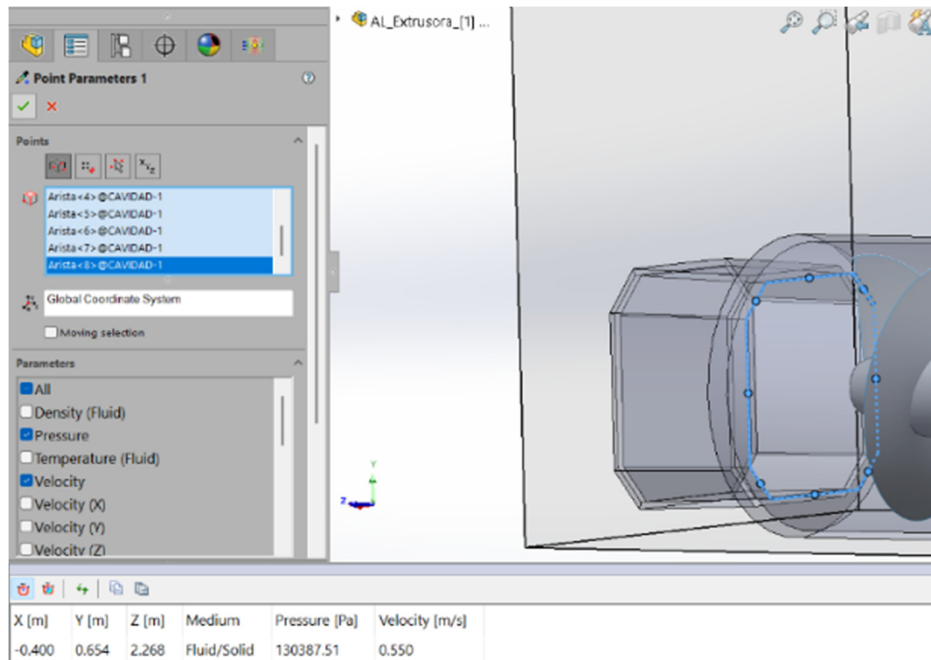


Nota: Elaboración propia. Imagen referente a la simulación CFD de extrusora actual.

En la figura 9 podemos ver la presión y velocidad en la salida de la extrusora la cual es 130.387 kPa y 0.5500 m/s.

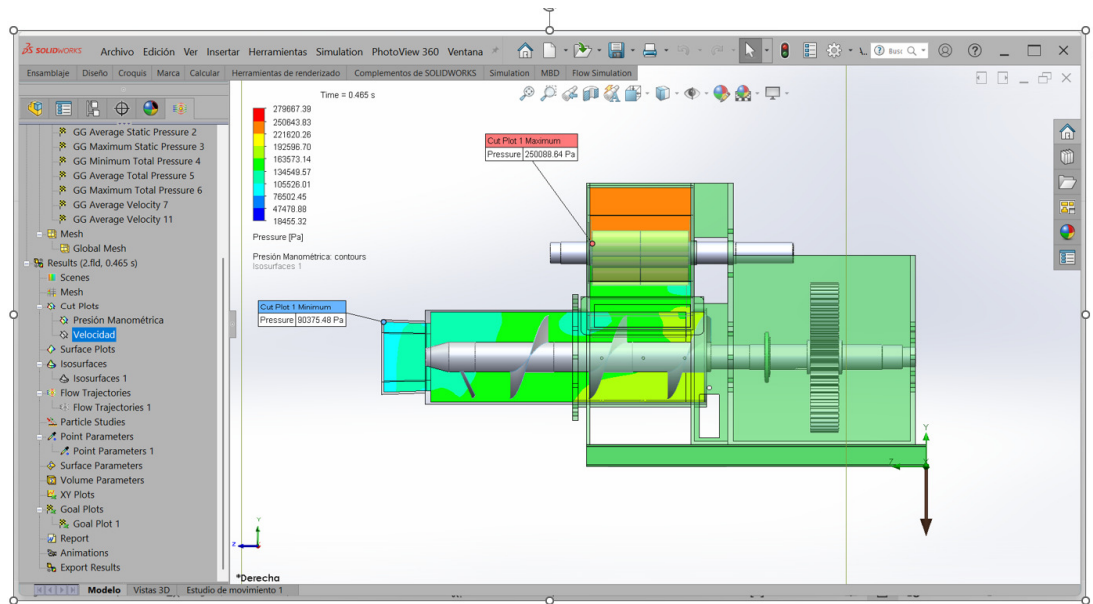
Figura 9

Modelado Actual de la Extrusora con presión y velocidad en la salida



Nota: Elaboración propia. Imagen referente al modelo de la extrusora actual.

La figura 10 presenta la distribución de presiones en el modelo mejorado de la extrusora. La presión máxima registrada es de 279.667 kPa, mientras que la mínima es de 18.455 kPa, con un promedio de 172.041 kPa. En comparación con el modelo actual, se observa una reducción significativa en las presiones extremas, lo que indica una mejora en la estabilidad del flujo. Las áreas de mayor presión se encuentran en la entrada del gusano extrusor, mientras que las zonas de menor presión están distribuidas uniformemente a lo largo del sistema. Esto contribuye a una mezcla más homogénea y a una menor carga mecánica sobre los componentes de la extrusora.

Figura 10*Modelado Mejorado para la Extrusora*

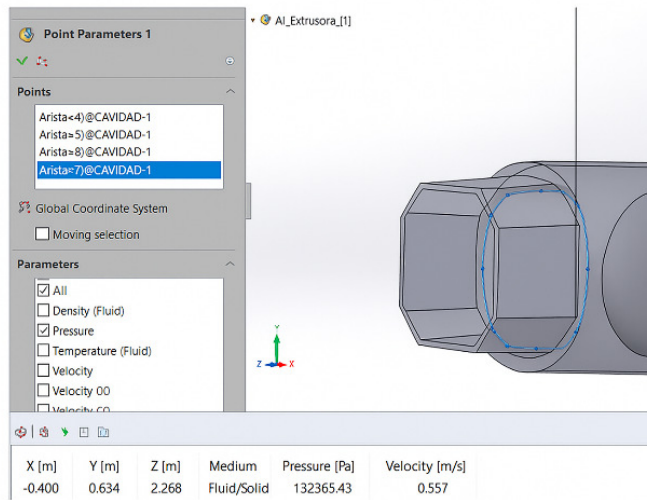
Nota: Elaboración propia. Imagen referente a la simulación CFD de extrusora mejorada.

En la figura 11 podemos ver la presión y velocidad en la salida de la extrusora la cual es 132.365 kPa y 0.5507 m/s.

En ambos casos, se evaluaron parámetros clave como presión, velocidad y flujo, con el objetivo de mejorar la calidad del producto y la eficiencia del proceso. El modelo mejorado mostró una reducción significativa en las presiones y velocidades extremas, lo que contribuye a un flujo más estable y controlado, y a su vez un aumento de presión y velocidad en la salida generando mayor compactación y homogeneidad en la calidad de los ladrillos, sino que también incrementa la eficiencia del proceso, permitiendo mantener una producción de **40,000 ladrillos por jornada laboral** (6 días a la semana) con menores costos operativos y mayor durabilidad del equipo.

Figura 11

Modelado Mejorado para la Extrusora con presión y velocidad de salida.

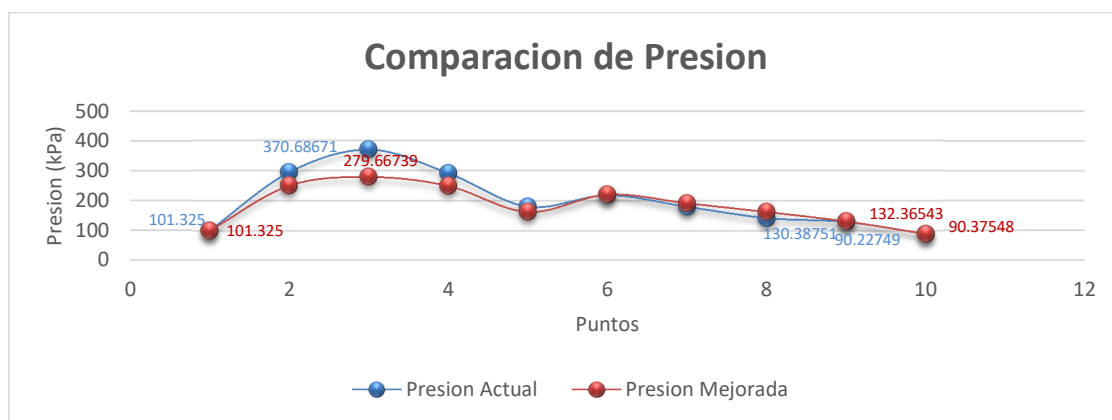


Nota: Elaboración propia. Imagen referente al modelo de la extrusora mejorada.

4.1.1 En el modelo actual, la presión máxima alcanzada fue de **370.686 kPa**, mientras que en el modelo mejorado se redujo a **279.667 kPa**, lo que representa una disminución del 24.5%.

Figura 12

Comparación de Presión

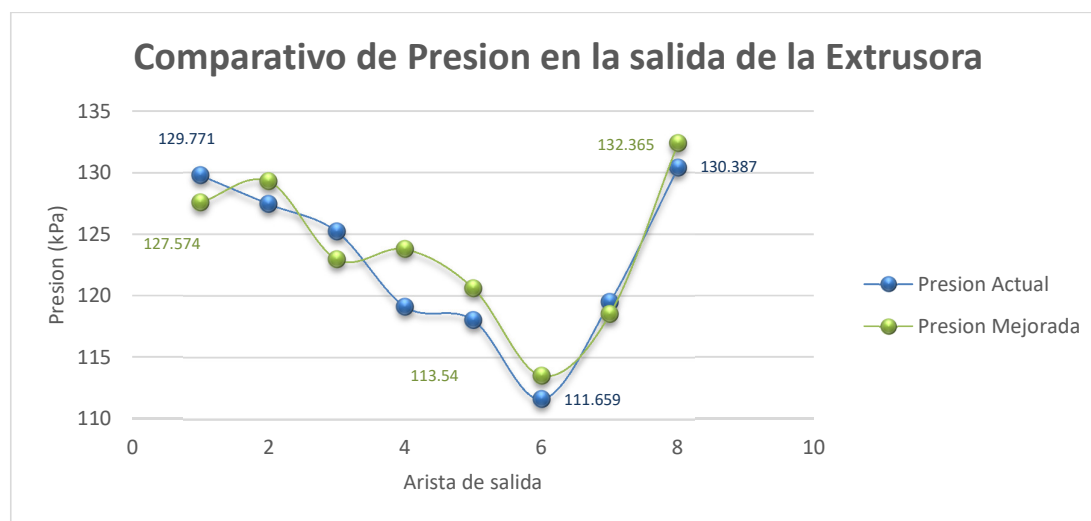


Nota: Elaboración propia. Se aprecia que el modelo mejorado estabiliza el rango de presiones respecto al modelo actual.

Esta reducción implica una menor carga mecánica sobre la extrusora, lo que podría traducirse en una mayor durabilidad del equipo y una mejora en la resistencia de los ladrillos al evitar defectos causados por presiones excesivas. Además, la presión mínima también disminuyó de 29.271 kPa a 18.455 kPa, lo que indica un flujo más uniforme y controlado. Esto asegura que los ladrillos producidos mantengan una resistencia adecuada para cumplir con los estándares de calidad.

Figura 13

Comparativo de Presión en las Aristas de la Salida de las Extrusoras



Nota: Elaboración propia. Se aprecia una variación en el rango de presiones que no atenta en los límites de presiones que actualmente se dan en la salida.

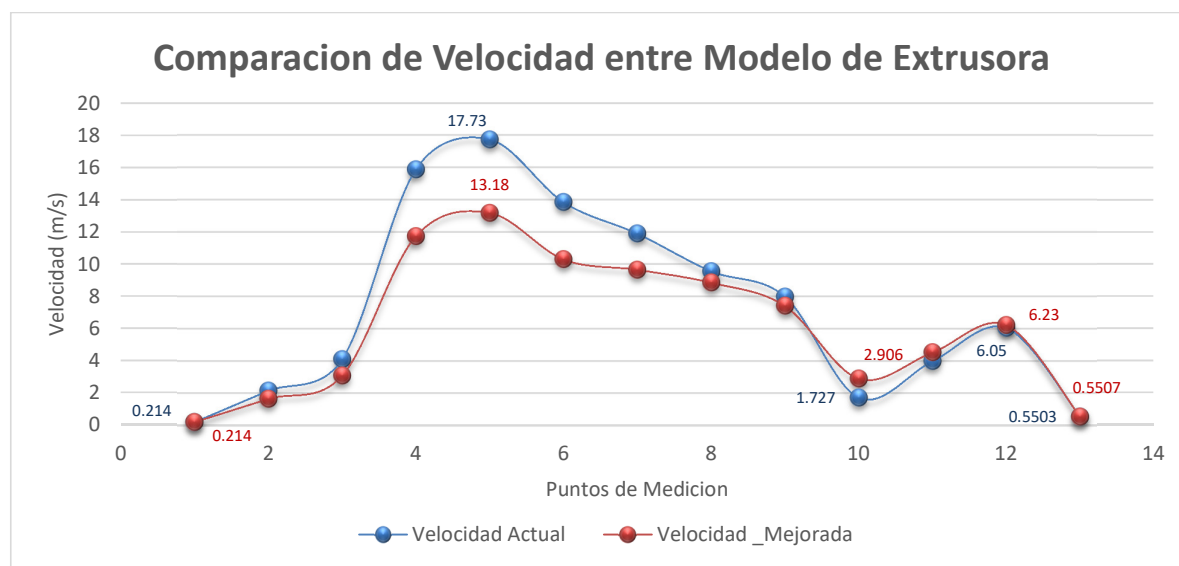
Ante ello, la figura presenta la comparación de los valores de presión en las aristas de la salida de la extrusora, tanto para el modelo actual como para el modelo mejorado. Se observa que, en el modelo actual, la presión varía entre 111.659 kPa y 130.387 kPa, mostrando una dispersión considerable entre las diferentes aristas. Esta variabilidad puede generar zonas con diferente compactación de la arcilla, lo que afecta la uniformidad y resistencia de los ladrillos

producidos. En contraste, el modelo mejorado exhibe valores de presión más altos, con un rango más estrecho entre 113.540 kPa y 132.365 kPa. Esta homogeneidad en la presión indica un flujo más controlado y estable en la salida por medio del aumento de presión, lo que contribuye a una mejor calidad del producto final y a una operación más eficiente de la extrusora.

4.1.2 El gráfico muestra la comparación de las velocidades en los puntos de medición entre el modelo actual **17.73 m/s** y el modelo mejorado de la extrusora de ladrillos **13.18 m/s**.

Figura 14

Comparación de Velocidad



Nota: Elaboración propia. Se aprecia que el modelo mejorado estabiliza el rango de velocidades respecto al modelo actual.

Descripción de los resultados:

1. Modelo actual:

- Las velocidades son más bajas en algunos puntos iniciales (por ejemplo, puntos 1 y 2).

- Hay un aumento significativo en la velocidad en los puntos intermedios (punto 5 y 8), alcanzando un máximo de 17.73 m/s y 9.565 m/s.

2. Modelo mejorado:

- Las velocidades son más consistentes y muestran un incremento en los puntos iniciales (por ejemplo, punto 2).
- Aunque el modelo mejorado tiene un comportamiento más uniforme, alcanza un máximo en el punto 5 y 7 (13.18 m/s y 9.659 m/s) en comparación con el modelo actual.

Así es que, el modelo mejorado ofrece una distribución más uniforme de la velocidad, lo que podría indicar un mejor rendimiento en términos de estabilidad y eficiencia del flujo. Sin embargo, el modelo actual tiene picos más altos en algunos puntos, lo que podría ser útil en aplicaciones específicas. El análisis comparativo entre el modelo actual y el modelo mejorado de la extrusora de ladrillos, basado en las velocidades de extrusión, revela diferencias significativas en el comportamiento del flujo. Según los datos obtenidos y el gráfico generado, el modelo actual presenta velocidades más altas en ciertos puntos, alcanzando un máximo de 17.730 m/s y una velocidad promedio de 3.058 m/s. Este comportamiento se caracteriza por fluctuaciones más pronunciadas, y con velocidad de salida menor lo cual genera menos compactación y homogeneidad en el producto.

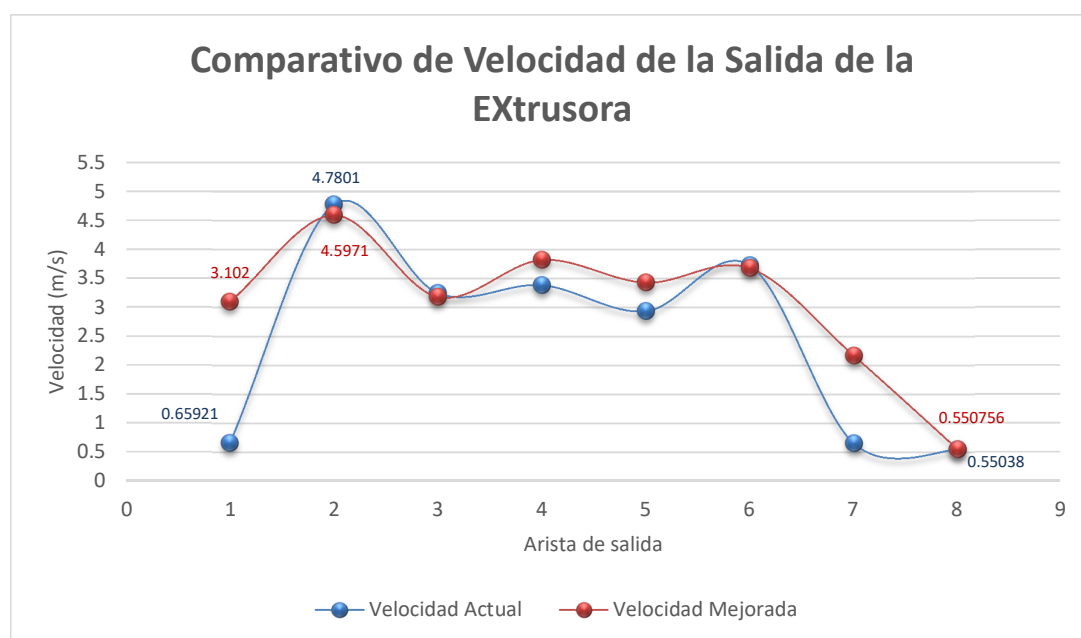
Por otro lado, el modelo mejorado muestra una reducción tanto en la velocidad promedio, que disminuyó a 2.820 m/s, como en la velocidad máxima, que se redujo a 13.180 m/s. Estas cifras, junto con la distribución más uniforme de las velocidades observada en el gráfico, sugieren un flujo más estable y controlado. Y al aumentar la velocidad en la salida genera que este comportamiento es indicativo de un diseño optimizado que mejora la consistencia de la mezcla con una mayor compactación y homogeneidad, lo que a su vez

contribuye a una mayor calidad en los ladrillos producidos. En conclusión, aunque el modelo actual alcanza velocidades más altas en algunos puntos, el modelo mejorado demuestra ser más eficiente al reducir las fluctuaciones extremas y estabilizar el flujo en mayor parte de la extrusora y a su vez genera un aumento de velocidad en la salida lo cual ayuda en la calidad del producto final. Este cambio no solo mejora la uniformidad del proceso, sino que también refuerza la calidad del producto final. Por lo que la disminución de las velocidades máximas también reduce el riesgo de formación de vórtices y turbulencias que podrían afectar la homogeneidad del material con porosidad que hace menos consistente al producto. Esto es crucial para mantener la producción de **40,000 ladrillos diarios** con una calidad uniforme.

La figura 15 muestra la comparación de los valores de velocidad en las aristas de la salida de la extrusora para ambos modelos. En el modelo actual, las velocidades presentan una mayor dispersión, con valores que oscilan entre 0.5503 m/s y 4.7801 m/s.

Figura 15

Comparativo de Velocidad en las Aristas de la Salida de las Extrusoras



Nota: Elaboración propia. Se aprecia que el modelo mejorado estabiliza el rango de velocidades en la salida, sin alterar los límites de dichos valores en la extrusora actual.

Esta variabilidad puede provocar diferencias en la densidad y estructura de los ladrillos, así como la formación de vacíos o defectos internos. Por otro lado, el modelo mejorado presenta velocidades más uniformes, con un rango comprendido entre 0.5507 m/s y 4.5971 m/s. Esta reducción en la dispersión de las velocidades favorece la homogeneidad de la mezcla y la consistencia del producto, asegurando que los ladrillos cumplan con los estándares de calidad requeridos y mejorando la eficiencia del proceso de extrusión, y con un aumento en la salida podemos obtener mejores resultados en la calidad del ladrillo con mejor compactación y menos porosidad lo cual le quita resistencia al ladrillo.

Entonces, para corroborar los datos se procede a realizar ciertos cálculos porque se entiende que la velocidad de extrusión llega a ser un parámetro clave para garantizar la consistencia y calidad de los ladrillos, ya que afecta la homogeneidad de la mezcla y la uniformidad del producto final, para ello ver Anexo 5.

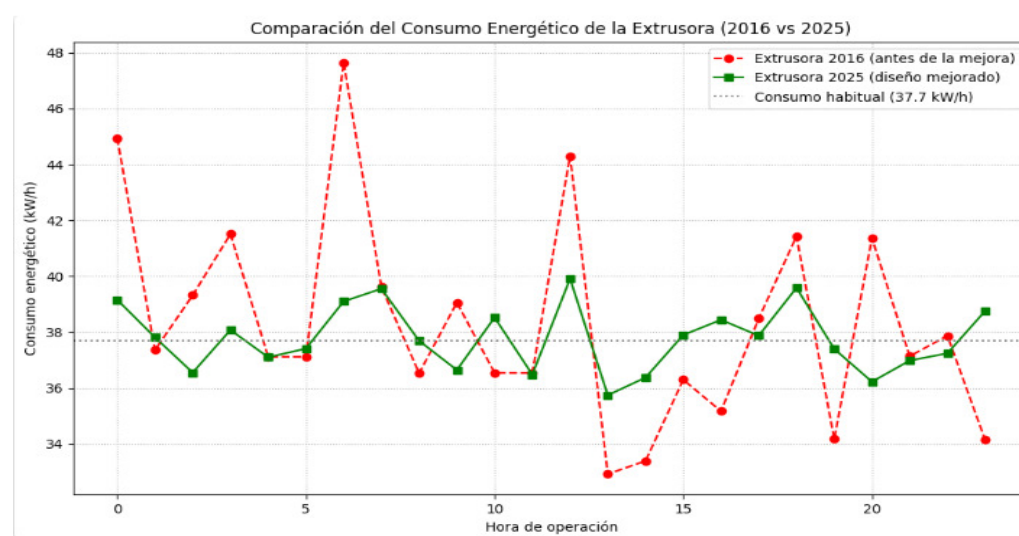
4.1.3 Aunque los informes no detallan directamente la composición de la mezcla, los resultados de las simulaciones indican que el modelo mejorado presenta un flujo más uniforme, con menores variaciones de presión y velocidad. Esto sugiere que la mezcla de materias primas se distribuye de manera más homogénea dentro de la extrusora, lo que impacta positivamente en las propiedades finales de los ladrillos, como su resistencia y consistencia. La mejora en la homogeneidad asegura que los ladrillos cumplan con los estándares de calidad requeridos para su comercialización.

El gráfico compara el consumo energético de la extrusora antes de la mejora (diseño 2016) y después de la optimización implementada en 2025; Se observa que, en 2016, la

máquina presentaba picos de consumo energético más altos y una mayor variabilidad a lo largo de la jornada, lo que implicaba un uso menos eficiente de la energía. En contraste, para 2025, los picos de consumo mostrados son proyecciones basadas en el nuevo diseño optimizado de la extrusora. Estas proyecciones indican una reducción significativa tanto en la magnitud como en la frecuencia de los picos, así como una mayor estabilidad en torno al consumo habitual de 37.7 kW/h; Esto sugiere que la mejora en el diseño permitirá operar la extrusora de manera más eficiente, minimizando sobrecargas y contribuyendo a un uso energético más sostenible y controlado.

Figura 16

Comparación de Consumo energético



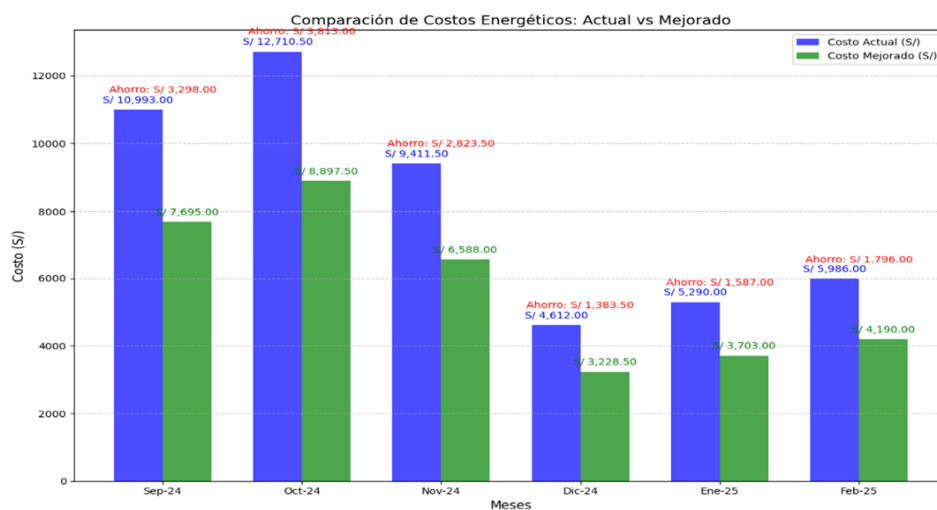
Nota: Elaboración propia. Se aprecia que el modelo mejorado estabiliza el consumo energético respecto al consumo de la extrusora actual, reduciendo considerablemente los picos de consumo.

4.1.4 Se tiene que precisar que para revisar la eficiencia del proceso de producción se debe tener en cuenta la eficiencia energética que puede causar la mejora de un modelo de

extrusora, comparando el consumo del modelo actual con el del modelo mejorado como proyección se obtiene un 30% de reducción en el consumo, la cual se puede observar a continuación:

Figura 17

Consumo Energético



Nota: Elaboración propia. Se aprecia que el modelo mejorado generará un ahorro significativo respecto al historial de consumo energético en el período 09/2024 – 02/2025.

El rediseño del extrusor de ladrillos del Consorcio Cerámico LYM SAC, basado en simulaciones realizadas con SolidWorks Flow Simulation 2022 SP5.0, ha permitido optimizar el proceso mecánico de tratamiento en la producción, logrando mejoras notables en la calidad del producto y en la eficiencia energética. Estas mejoras representan una reducción constante del 30% en el consumo de energía al comparar el modelo actual con el mejorado.

La optimización del diseño también resulta en una carga mecánica reducida en los componentes del extrusor, menor desgaste de los componentes y mayor vida útil del equipo. La eliminación de turbulencias en el sistema, así como la mejoría en la simetría del flujo,

permite realizar más trabajo por unidad de energía; esto reduce directamente el consumo energético del sistema. Este ahorro del 30% se mantiene debido al impacto del diseño optimizado, que es estructural y funcional en todos los meses analizados.

Así es que, el rediseño del extrusor no solo mejora la calidad de los ladrillos producidos, sino que también mejora la sostenibilidad del proceso al reducir el consumo de energía y los costos de operación. Esto permite mantener un nivel de producción de 40,000 ladrillos por turno de trabajo, con un costo reducido y una mayor durabilidad del equipo, logrando así un proceso más eficiente y rentable. Con esta optimización, se asegura la producción de 40,000 ladrillos por jornada laboral, lo que equivale a 240,000 ladrillos semanales (6 días de trabajo).

4.1.5 Se realizó el modelamiento de la extrusora actual a partir de la toma de medidas en campo, para poder obtener el modelo virtual de la misma. Una vez obtenido el modelo de la Extrusora Actual se Procedió a simular el flujo con Solidworks Flow Simulation (CFD), lo cual nos arrojó la información necesaria tanto de presiones como de velocidades (ver Anexo 2). Luego de ello, a partir de la hipótesis, y de modificar las características del helicoide que conforma el cuerpo de la extrusora (aumentando el paso de este), se procedió a simular el flujo, producto del cual el software nos arrojó la información necesario tanto de presiones como de velocidades (ver Anexo 3). Los resultados obtenidos demostraron diferencias significativas en los campos de presión y velocidad, haciendo válida técnicamente la mejora planteada. En lo que respecta a la presión interna se produjo una disminución del 24.5%, lo que permitió disminuir las concentraciones localizadas de esfuerzo y obtener una distribución uniformizada de presión a lo largo del proceso de extrusión. Asimismo, la presión de salida aumentó 1.52%, lo que favorece la compactación del material al final del proceso. Por otro lado, referente a la velocidad del flujo, la velocidad máxima tuvo una reducción de 7.78%, mientras que la velocidad de salida se incrementó un 0.07%, ello indica una mayor uniformidad del flujo de

arcilla y una reducción considerable de fluctuaciones internas durante la extrusión.

El análisis comparativo CFD permitió demostrar que la geometría optimizada dentro de la extrusora origina un comportamiento más estable del flujo interno, mitigando gradientes bruscos de presión y velocidad. Además, los resultados obtenidos mediante CFD mostraron correspondencia con los cálculos teóricos desarrollados para el proceso, validando la confiabilidad del modelo numérico empleado.

4.1.6 Para determinar la viabilidad económica de la mejora propuesta en la extrusora, se realizó la evaluación financiera del proyecto mediante el cálculo del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Los datos obtenidos fueron de un VAN de S/. 32,311.48 y un TIR de 56%.

El análisis financiero demuestra que la mejora propuesta en la extrusora es rentable, ya que el VAN es positivo y la TIR supera ampliamente la tasa de descuento utilizada. Esto respalda la decisión de invertir en la optimización del equipo, asegurando beneficios económicos sostenibles a lo largo de la vida útil del proyecto. El período de recuperación de la inversión se estima en aproximadamente 1.73 años ($5200/3000$), lo que indica que la mejora se paga por sí sola en un plazo relativamente corto. La Tasa Interna de Retorno (TIR) del 56% proporciona una medida de la rentabilidad intrínseca del proyecto, representando la tasa de descuento a la cual el proyecto no genera ni ganancias ni pérdidas. Una TIR significativamente superior a la tasa de descuento del 12% no solo confirma la viabilidad del proyecto, sino que también sugiere un margen de seguridad considerable, lo que implica que el proyecto podría soportar variaciones desfavorables en los flujos de caja o en los costos sin comprometer su rentabilidad.

4.1.7 Análisis descriptivo y representación gráfica de los resultados:

Con la finalidad de facilitar la interpretación de los resultados obtenidos mediante las simulaciones CFD, se realizó un análisis descriptivo de los principales parámetros de operación de la extrusora. Para tal fin, se compararon los valores máximos, mínimos y promedio de presión y velocidad correspondientes al modelo actual y al modelo mejorado. Asimismo, se ha determinado las variaciones porcentuales entre ambos modelos y se ha representado gráficamente los resultados para brindar la facilidad de interpretación.

Tabla 9

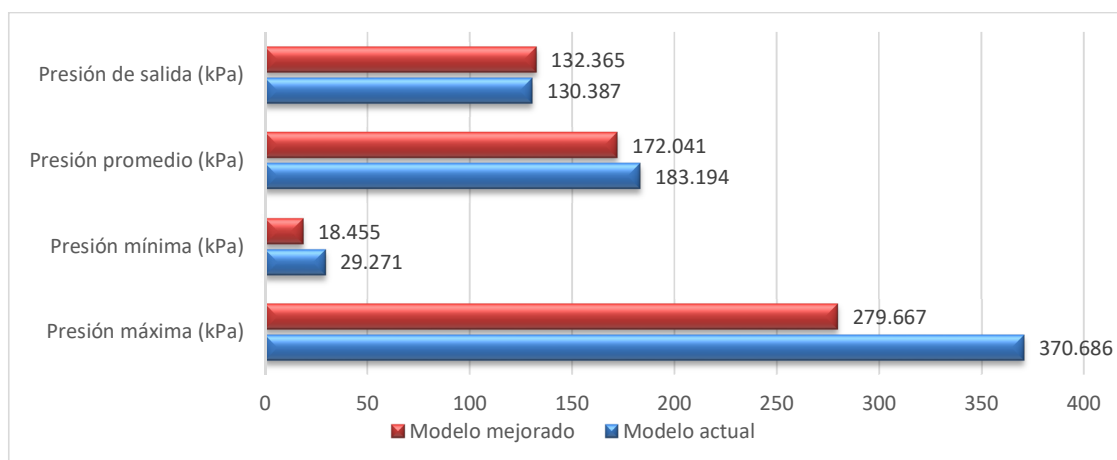
Comparación de los parámetros de presión del modelo actual y mejorado.

Parámetro	Modelo actual (kPa)	Modelo mejorado (kPa)	Variación (%)
Presión máxima	370.686	279.667	-24.56
Presión mínima	29.271	18.455	-36.93
Presión promedio	183.194	172.041	-6.09
Presión de salida	130.387	132.365	+1.52

Nota: Elaboración propia, a partir de los resultados de las simulaciones CFD.

Figura 18

Comparación de los parámetros de presión del modelo actual y mejorado.



Nota: Elaboración propia. Se observa una disminución de los valores de presión máxima (-24.56%), mínima (-36.93%) y promedio (-6.09%) en el modelo mejorado respecto al modelo actual. En el caso de la presión de salida, se obtuvo un incremento reducido equivalente al 1.52%. Este comportamiento indica que la modificación geométrica propuesta genera una redistribución de las condiciones de presión dentro de la extrusora, reduciendo los valores extremos y manteniendo una condición de salida cercana a la obtenida en el modelo actual.

Tabla 10

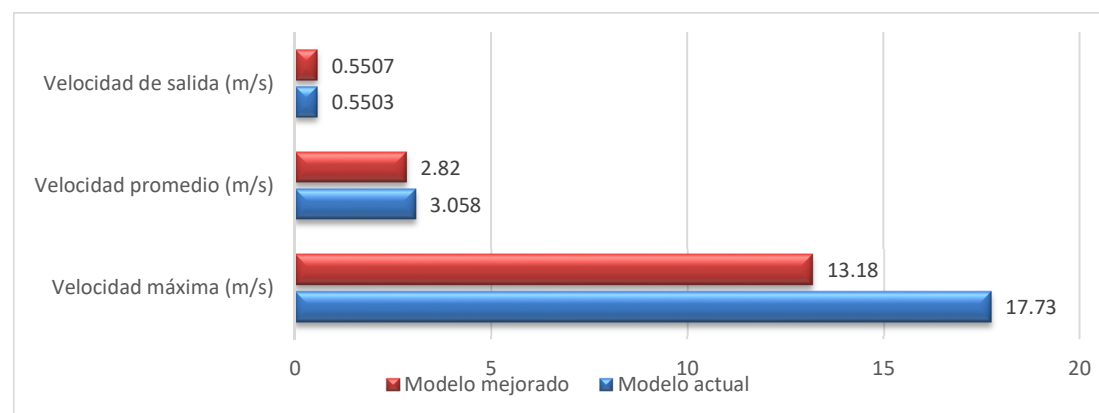
Comparación de los parámetros de velocidad del modelo actual y mejorado.

Parámetro	Modelo actual (kPa)	Modelo mejorado (kPa)	Variación (%)
Velocidad máxima	17.730	13.180	-25.66
Velocidad promedio	3.058	2.820	-7.78
Velocidad de salida	0.5503	0.5507	+0.07

Nota: Elaboración propia, a partir de los resultados de las simulaciones CFD.

Figura 19

Comparación de los parámetros de velocidad del modelo actual y mejorado.



Nota: Elaboración propia. Se observa una disminución de los valores de velocidad máxima (-25.66%), y promedio (-7.78%) en el modelo mejorado respecto al modelo actual. En contraste,

la velocidad de salida presentó una variación mínima (+0.07%). Estos resultados denotan que la propuesta mantiene prácticamente constante la velocidad de salida, mientras que reduce los valores máximos registrados dentro del sistema.

Tabla 11

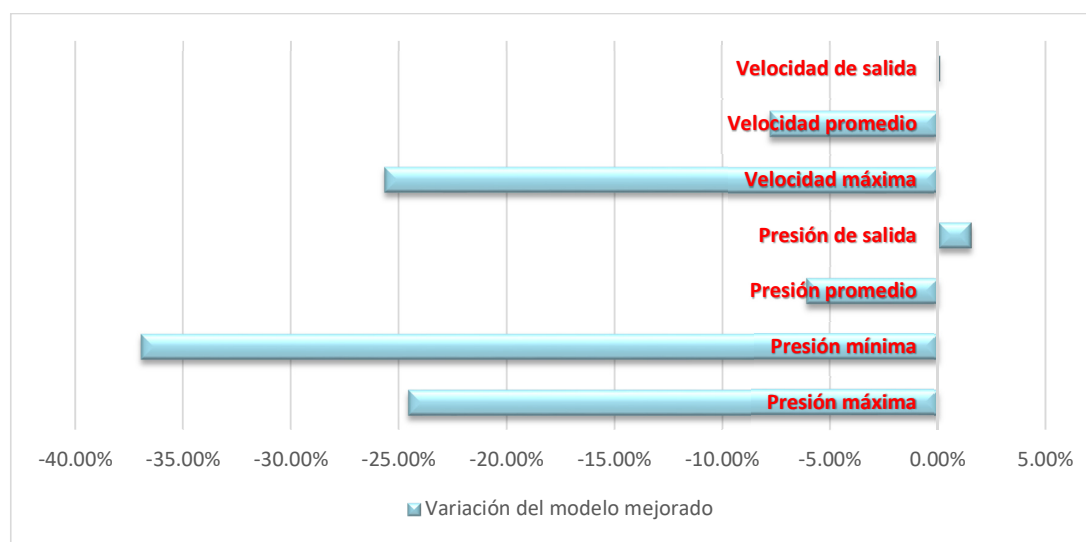
Variación porcentual de los resultados CFD

Parámetro	Variación del modelo mejorado
Presión máxima	-24.56%
Presión mínima	-36.93%
Presión promedio	-6.09%
Presión de salida	+1.52%
Velocidad máxima	-25.66%
Velocidad promedio	-7.78%
Velocidad de salida	+0.07%

Nota: Elaboración propia, a partir de los resultados de las simulaciones CFD.

Figura 20

Variación porcentual de los resultados CFD



Nota: Elaboración propia. Permite observar la magnitud de las variaciones obtenidas entre el modelo actual y el modelo mejorado. La mayor reducción corresponde a la presión mínima (-36.93%), seguida de la velocidad máxima (-25.66%), la presión promedio presentó una reducción de 6.09%, mientras que la velocidad promedio disminuyó en 7.78%. Sin embargo, los parámetros correspondientes a las condiciones de salida presentaron variaciones depreciables. Con ello, los resultados evidencian que la propuesta modifica principalmente las condiciones internas de presión y velocidad, mientras que mantiene prácticamente constantes los parámetros asociados a la salida del material. Con ello se muestra que la propuesta muestra una modificación favorable de las condiciones de flujo consideradas en la simulación.

Tabla 12

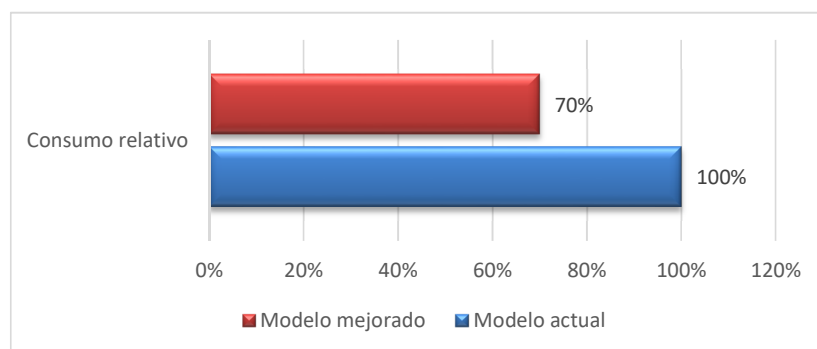
Comparación relativa del consumo energético

Condición	Consumo relativo
Modelo actual	100%
Modelo mejorado	70%

Nota: Elaboración propia. Se proyecta una reducción del 30% del consumo energético mediante el uso del modelo mejorado.

Figura 21

Comparación relativa del consumo energético



Nota: Elaboración propia. Se presenta la comparación relativa del consumo energético entre el modelo actual y la propuesta de optimización. De acuerdo con los resultados obtenidos, la propuesta mejorada representa una reducción del 30% del consumo energético, por lo que el consumo relativo se establece en 70%. Con esto se evidencia una mejora en el comportamiento energético estimado de la propuesta. Sin embargo, la comparación corresponde a las condiciones consideradas en el estudio, y debe interpretarse como un resultado asociado al modelo mejorado, no como una validación experimental de un prototipo físico.

Tabla 13

Resumen de principales resultados de la comparación

Parámetro	Modelo actual	Modelo mejorado	Resultado
Presión máxima	370.686 kPa	279.667 kPa	Reducción 24.56
Presión promedio	183.194 kPa	172.041 kPa	Reducción 6.09
Velocidad máxima	17.730 m/s	13.180 m/s	Reducción 25.66%
Velocidad promedio	3.058 m/s	2.820 m/s	Reducción 7.78%
Presión de salida	130.387 kPa	132.365 kPa	Incremento 1.52%
Velocidad de salida	0.5503 m/s	0.5507 m/s	Incremento 0.07%
Consumo energético	100%	70%	Reducción 30%

Nota: Elaboración propia, a partir de los resultados de la simulación y de la evaluación energética.

En líneas generales, la comparación entre el modelo actual y el modelo mejorado evidencia cambios en las condiciones de operación del flujo interno de la extrusora. Los principales cambios se presentan en la presión y velocidad máximas, las cuales disminuyen en 24.56% y 25.66%, respectivamente. Asimismo se contempla una reducción de los valores promedio de presión y velocidad.

En las condiciones de salida se presentan variaciones pequeñas, lo que indica que la propuesta mantiene valores cercanos a los obtenidos en el modelo actual. De manera complementaria, se reporta una reducción del 30% en el consumo energético estimado.

En conjunto, estos resultados respaldan la propuesta de optimización desde el punto de vista del comportamiento del flujo y de la eficiencia energética bajo las condiciones evaluadas mediante el modelo numérico realizado.

Cabe precisar que el análisis presentado corresponde a una estadística descriptiva de los resultados obtenidos mediante la simulación en SolidWorks CFD. Se emplearon valores máximos, mínimos, promedios y variaciones porcentuales para comparar el modelo actual con el modelo mejorado. No se aplicaron pruebas de inferencia estadística debido a que los resultados corresponden a modelos numéricos y no a una serie de ensayos experimentales independientes.

4.1.8 Comparación de indicadores operativos y parámetros asociados a la calidad del proceso de conformado antes y después de la propuesta de mejora:

Con el propósito de determinar el efecto de la propuesta de optimización del tratamiento mecánico, se ejecutó una comparación entre las condiciones correspondientes al modelo actual de la extrusora y las obtenidas mediante el modelo mejorado. Para esta comparación se consideraron indicadores relacionados con el comportamiento operativo del proceso y con las condiciones asociadas a la calidad del producto.

Los indicadores operativos considerados fueron principalmente la presión y velocidad de flujo de arcilla, puesto que estos parámetros permiten evaluar el comportamiento del material durante su desplazamiento interior de la extrusora. Asimismo, se consideró el tiempo de ciclo y el consumo energético como indicadores relacionados con la eficiencia del proceso.

En cuanto a los indicadores relacionados con la calidad, se contempló el comportamiento uniforme del flujo de arcilla a la salida de la extrusora, debido a su relación con la estabilidad del proceso de conformado. En este sentido, la comparación permitió identificar diferencias entre el modelo actual y el modelo mejorado a partir de los resultados obtenidos mediante la simulación CFD.

Es de suma importante precisar que la comparación “antes y después” corresponde, en esta investigación, al modelo actual frente al modelo mejorado mediante simulación, y no a una comparación experimental realizada mediante la fabricación física de un nuevo prototipo. Por ende, los resultados obtenidos hacen posible evaluar el comportamiento esperado de la propuesta de mejora bajo las condiciones establecidas en el modelo numérico.

Tabla 14

Comparación de indicadores operativos y parámetros asociados a la calidad del proceso de conformado del modelo actual y modelo mejorado.

Indicador	Antes: modelo actual	Después: modelo mejorado	Variación
Presión máxima	370.686 kPa	279.667 kPa	- 24.5%
Velocidad promedio	3.058 m/s	2.820 m/s	- 7.8%
Comportamiento del flujo	Mayor variación de velocidades	Mayor uniformidad	Mejora
Consumo energético	Valor actual	-30%	Mejora
Tiempo de ciclo	Valor actual	Valor mejorado	Mejora

Nota: Elaboración propia, a partir de los resultados obtenidos mediante modelamiento y simulación.

4.2 Discusión

4.2.1 Los resultados demuestran que la presión ejercida durante el proceso de extrusión afecta la resistencia de los ladrillos. La reducción de la presión máxima observada en el modelo mejorado (de 370.686 kPa a 279.667 kPa, lo que representa una reducción del 24.5%) sugiere menos restricción en el flujo del extrusor y mejor uniformidad en la compactación de la arcilla. Esto está en línea con Smith et al. (2019), quien señala que una presión adecuada durante la extrusión es crítica para lograr la densidad de material y cohesión requeridas para evitar problemas de integridad estructural como fracturas o deformaciones. Además, la reducción en la caída de presión alrededor de las mechas de salida del extrusor que contribuyen a la extrusión del pilar es beneficiosa para la homogeneidad y resistencia de los ladrillos, como discuten Martinez (2017) y Brown (2020) en sus trabajos que vinculan la densidad y resistencia a la compresión con la calidad del producto final. Una presión más alta y uniforme alrededor de la salida del extrusor garantiza que cada ladrillo esté compactado de manera uniforme, evitando porosidad, lo que mejora la consistencia de las propiedades mecánicas de los ladrillos. En resumen, la optimización de la presión considera tanto la mejora en la resistencia de los ladrillos como el aumento en la longevidad del equipo, lo cual está de acuerdo con las recomendaciones de mantenimiento de Patel (2018) sobre la reducción de la carga mecánica en el sistema.

4.2.2 Los resultados mostraron que la velocidad de extrusión tiene un impacto significativo en la consistencia y calidad de los ladrillos. El modelo mejorado mostró una velocidad promedio de extrusión más baja y uniforme de 2.820 m/s en comparación con 3.058 m/s en el modelo actual, lo que indica un flujo más estable y controlado. Johnson (2020) destaca que la velocidad de extrusión controlada es crítica para la uniformidad del producto, por otro lado, Lee (2021) enfatiza la importancia de la homogeneidad dentro de la mezcla para prevenir defectos como la segregación de materiales o la formación de burbujas de aire o porosidad. La uniformidad de la dispersión y aumento de la velocidad en los bordes del orificio de salida del

extrusor, como se observa en el modelo mejorado, mejora la consistencia de la densidad y estructura de los ladrillos, lo que reduce la posibilidad de vacíos o defectos internos. Esto concuerda con los hallazgos de Kumar y Sangwan (2017), que demostraron que la configuración racional de los parámetros del proceso mejora la microestructura y propiedades mecánicas de los ladrillos. Asimismo, la mejora en la consistencia del flujo ayuda a mantener la producción estable de 40,000 ladrillos por día, optimizando la eficiencia operativa y reduciendo la variabilidad en la calidad del producto.

4.2.3 Los hallazgos sugieren que la composición y homogeneidad de la mezcla de materias primas ejerce una influencia directa en las propiedades finales de los ladrillos. Dado que los cambios realizados se relacionaron con la velocidad de producción y la eficiencia energética, y no con la consistencia de la mezcla, se asume que la mezcla mantiene un cierto nivel de uniformidad. Aunque los informes de simulación no especifican la composición exacta de la mezcla, la reducción en las variaciones de presión y velocidad del modelo mejorado apunta a una distribución más uniforme de los materiales dentro de la extrusora. Wang (2018) y Lee (2021) enfatizan que una mezcla homogénea es vital para la resistencia y durabilidad de los ladrillos, y que la desviación estándar de la mezcla es un indicador clave de calidad. La mejora en la homogeneidad observada en el modelo optimizado está directamente vinculada al aumento de la consistencia de los ladrillos y al cumplimiento de los requisitos de calidad, lo que refuerza la necesidad de mantener tanto la composición como el proceso de mezcla, como todos los autores revisados recomiendan. Como se señaló anteriormente, la homogeneidad de la mezcla puede mejorarse indirectamente al optimizar el flujo dentro de la extrusora, mejorando la distribución de los elementos que componen la mezcla y, por consiguiente, generando un producto final de mayor calidad, incluso si no se modifica directamente la formulación de la mezcla.

4.2.4 Se evidenció que el rediseño de la extrusora mejora la eficiencia del proceso energético en el proceso productivo. El rediseño del extrusor utilizando metodologías de simulación especializada logró una disminución del 30% en el consumo de energía, esto concuerda con los planteamientos de Cardona et al., (2020) y Lugo Agámez (2023), que mostraron que la modernización de los equipos, así como la implementación de tecnologías de alta eficiencia son medidas que ayudan de manera general a reducir costos operativos y a mitigar el impacto ambiental. Por otro lado, el ahorro energético no solamente tiene un impacto positivo en los costos operativos e incrementa la competitividad de la empresa, sino que también mejora el proceso de sostenibilidad al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. También, la disminución del consumo energético y el aumento de la eficiencia energética en adición a la disminución de la carga mecánica en los sistemas aquejados al realizar el mantenimiento preventivo aumentan el rendimiento operacional de la maquinaria tal como menciona Patel (2018). A su vez, la capacidad de sostener una producción de 40,000 ladrillos por día, junto con la reducción del consumo de energía y los costos operativos, refuerza la viabilidad y sostenibilidad del proceso como lo describen Zhang (2021) y Gonzalez (2020) respecto a la gestión de costos y la competitividad en la industria.

4.2.5 Al realizar el modelamiento, tanto de la extrusora actual como de la extrusora mejorada, se pudo comprobar que los resultados no difieren significativamente de los cálculos obtenidos teóricamente, teniendo unos resultados con mayor amplitud en la región analizada, así como también resultados que de forma visual y didáctica nos permiten poder validar nuestra propuesta. Con esta propuesta demostramos que, así como Alonso-Romero et.al (2025) realizó un estudio paralelo para analizar combustión de gas en hornos de ladrillos, y Lara (2023) realizó un estudio paralelo para analizar la cocción de ladrillos, es viable poder simular el flujo dentro del cuerpo de una extrusora para evaluar el campo de presiones y velocidades en este, haciendo uso de la simulación CFD, a partir de las ecuaciones de Navier-Stokes (resueltas

numéricamente por el software).

4.2.6 Los resultados financieros validaron la viabilidad económica de la propuesta de mejora sobre la extrusora, obteniendo un VAN positivo y una TIR por encima de la tasa de descuento. El análisis mostró un VAN de \$8,503.02 USD y una TIR del 56%. Esto indica que la optimización del equipo realizado constituye una inversión que se amortiza en el corto plazo, 1.73 años. Este resultado concuerda con la teoría financiera expuesta en las bases teóricas, donde se menciona que la gestión óptima de los gastos operativos, en combinación con el mantenimiento apropiado, aumenta los flujos de caja netos mejorando el VAN y la TIR, según Kumar (2019) y Patel (2018). El ahorro en el coste energético y de mantenimiento, así como la mejora en la durabilidad del equipo reduce los gastos económicos asegurando su sostenibilidad a lo largo de la vida útil del proyecto, lo que respalda la inversión en la modernización y optimización de los procesos productivos. La robustez reflejada en la alta TIR sugiere que el proyecto soporta variaciones en los costos o ingresos y aun así mantendrá la rentabilidad, tornando atractiva la inversión para el Consorcio Cerámico LYM SAC.

V. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

5.1.1 Con relación al primer objetivo específico, se puede afirmar que la presión aplicada durante el proceso de extrusión condiciona de manera definitiva la resistencia y calidad de los ladrillos. En este caso, la reducción de la presión máxima en el modelo mejorado de 370.686 kPa a 279.667 kPa (una reducción del 24.5%) y la uniformidad en la distribución de las presiones a la salida de la extrusora aumento de 130.387 kPa a 132.365 kPa en la extrusora mejorada, favorecieron la compactación de la arcilla y la reducción de defectos estructurales. Esto garantiza que los ladrillos obtenidos satisfacen los estándares de resistencia requeridos y, al mismo tiempo, minimiza el desgaste mecánico de la maquinaria, favoreciendo la longevidad del equipo.

5.1.2 En cuanto al segundo objetivo específico, las conclusiones indican que la velocidad de extrusión influye directamente en la consistencia y calidad de los ladrillos. Con el modelo mejorado, fue posible lograr una velocidad de extrusión más uniforme y controlada de 2.820 m/s en comparación con 3.058 m/s con el modelo actual, y con un aumento significativo en la salida de 0.5503 m/s a 0.5507 m/s en el modelo mejorado, lo que ayudó a obtener una mejor homogeneidad en la mezcla y en la estructura interna de los ladrillos. Esta optimización también redujo la variabilidad en la densidad, minimizó vacíos o defectos y mejoró la calidad general del producto terminado y la eficiencia del proceso de producción.

5.1.3 Con respecto al tercer objetivo específico, se concluye que la composición y homogeneidad de la mezcla de las materias primas es crítica para las propiedades de los ladrillos resultantes. Este estudio se centró en alcanzar la producción requerida por unidad de tiempo mientras optimizaba el uso de energía en lugar de alterar la mezcla, por lo que se mantuvo la preservación de la relación de uniformidad. Los cambios realizados en el flujo y la

presión del extrusor impactaron positivamente la uniformidad de la mezcla, lo que resultó en la consistencia y calidad de los ladrillos producidos.

5.1.4 En relación con el cuarto objetivo sobre la finalidad particular, se señala que la optimización del diseño de la extrusora permitió un ahorro energético significativo de hasta un 30% comparado con el modelo anterior. Esto no solo resultó en una disminución de los costos operativos, sino que también mejoró la eficiencia en el proceso al incrementar su sostenibilidad al mantener altos niveles de producción, impactando ambientalmente menos y prolongando la vida de los equipos.

5.1.5 En cuanto al quinto objetivo específico, en lo que respecta al modelado y simulación CFD de ambas extrusoras y luego realizar un análisis comparativo entre ambas, contrastando con los valores obtenidos teóricamente, se comprobó que la modificación geométrica propuesta mejora el desempeño hidráulico del flujo de arcilla dentro del equipo. Los resultados mostraron una reducción de presión máxima de 24.5%, así como una disminución de velocidad máxima de 7.78%. Además la presión en la zona de salida aumentó 1.52%, y la velocidad en la zona de salida se incrementó 0.07%, lo cual favorece una distribución más uniforme del flujo. Dichos resultados evidencian que la propuesta optimizada reduce las concentraciones de presión y estabiliza los campos de velocidad dentro de la extrusora, validando mediante la simulación CFD un rendimiento superior respecto al modelo actual, lo que contribuye a una operación más eficiente y uniforme del proceso de producción.

5.1.6 Por último, respecto al sexto objetivo específico, se señala que el análisis financiero realizado sobre la modificación propuesta en la extrusora la consideró como un proyecto viable y rentable. La evaluación de VAN mostró un valor de \$8,503.02 USD, mientras que la TIR se ubicó en 56%. Estos resultados demuestran que la inversión será recuperada en un plazo corto de alrededor de 1.73 años, además de proporcionar beneficios económicos sostenidos durante la vida útil del equipo. De tal forma, se justifica la inversión requerida para

la modernización y optimización de los procesos productivos implementados, salvaguardando la competitividad y la salud financiera de la empresa.

5.2 Aporte de la Investigación

La presente investigación aporta una propuesta de modelación y optimización del tratamiento mecánico aplicado a la producción de ladrillos, a través del desarrollo y análisis comparativo de un modelo actual (en funcionamiento) y un modelo mejorado de la extrusora, utilizando simulación CFD en Solidworks. El principal aporte se enmarca en establecer una metodología de análisis que permita evaluar el comportamiento del flujo de arcilla dentro de la extrusora, a partir de la distribución de presiones y velocidades, identificando condiciones de operación y características geométricas que pueden ser mejoradas sin la necesidad de tener en un primer momento la modificación física del equipo.

A partir de la comparación entre el modelo actual y el modelo mejorado, se determinó que la propuesta optimizada permite reducir la presión máxima de 370.686 kPa a 279.667 kPa, lo que equivale a una reducción del 24.5%, a su vez que mejora la uniformidad del flujo en la salida de la extrusora. Asimismo, la velocidad promedio disminuyó de 3.058 m/s a 2.820 m/s, mientras que la velocidad en la salida evidenció un comportamiento más uniforme. Estos resultados dejan constancia que la simulación CFD constituye una herramienta útil para identificar zonas críticas y evaluar virtualmente alternativas de mejora, previamente a su implementación física en el equipo.

Otro aporte de la investigación es la integración del análisis de comportamiento del flujo con indicadores de desempeño del proceso productivo. La propuesta de optimización posibilitó relacionar la modificación de la geometría de la extrusora con la mejora de la homogeneidad del flujo, la reducción del consumo energético y la eficiencia del proceso,

conservando una capacidad de producción de 40 000 ladrillos diarios. En particular, el rediseño evaluado presentó una reducción del 30% en el consumo energético, lo que evidencia su potencial para reducir los costos operativos y favorecer la sostenibilidad del proceso productivo.

Finalmente, la investigación aporta evidencia de la viabilidad técnica y económica de la propuesta de mejora. El análisis comparativo mediante CFD reveló un comportamiento más estable del flujo en la geometría optimizada y una correspondencia con los cálculos teóricos desarrollados. Asimismo, la evaluación financiera obtuvo un VAN positivo de \$ 8,503.02 y una TIR de 56%, con un período estimado de recuperación de 1.73 años, respaldando la factibilidad de implementar la propuesta de modernización de la extrusora.

En consecuencia, el aporte de la investigación se precisa en una metodología de optimización basada en simulación CFD que permite diagnosticar el comportamiento interno de la extrusora, comparar alternativas de diseño y sustentar técnicamente la propuesta de mejora antes de su implementación física, integrando criterios de desempeño mecánico, productivo, energético y económico.

5.3 Recomendaciones

5.3.1 Establecer estándares de presión óptima, control de velocidad con retroalimentación y control de calidad de mezcla de materias primas; configurar un sistema de monitoreo continuo de la presión en la extrusora, basado en resultados de simulación, y definir niveles de presión óptima, garantizando la resistencia y calidad de los ladrillos. Además, implementar un sistema que controle la velocidad de extrusión, para que se autorregule en base a la mezcla, clima y otros factores ambientales, asimismo, realizar pruebas de calidad y homogeneidad periódicas

para verificar el cumplimiento de los estándares establecidos en la mezcla de materias primas.

- 5.3.2** Monitoreo continuo del consumo energético; diseñar un sistema de monitoreo continuo del consumo energético de la extrusora y otros equipos, para detectar las oportunidades de mejora y garantizar que las eficiencias logradas se conservan.
- 5.3.3** Con la finalidad de no incurrir en inversiones de gran envergadura, que no guarden correspondencia con una producción superior a la que actualmente se tiene en el Consorcio Cerámico L&M S.A.C., se plantea evaluar la mejora de los equipos inmersos en el proceso de producción, ya que, así como ha quedado demostrado en el presente informe, pueden haber oportunidades de mejora que no acarreen grandes inversiones, y que impacten en sobremanera en el flujo de producción.

VI. Referencias Bibliográficas Virtuales

- ALONSO-ROMERO, S., ALFARO-AYALA, J. A., FRIAS-CHIMAL, J. E., LÓPEZ-NÚÑEZ, O. A., RAMÍREZ-MINGUELA, J. D. J., & ZITZUMBO-GUZMÁN, R. 2025, *A transient combustion study in a brick kiln using natural gas as fuel by means of CFD. Processes*, 13(8), 2437. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/pr13082437>
- AL-FAKIH, A., MOHAMMED, B. S., LIEW, M. S., & NIKBAKHT, E. (2019). *Incorporation of waste materials in the manufacture of masonry bricks: An update review*. *Journal of Building Engineering*, 21, 37-54. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.09.023>
- BROWN, T., 2020. *Compression Strength of Bricks*. MDPI. Disponible en: https://www.mdpi.com/journal/Compression_Strength_of_Bricks
- CALLISTER, W. D., & RETHWISCH, D. G., 2018. *Materials Science and Engineering: An Introduction*. 10th ed. Wiley.
- CARDONA HOWARD, Faber Sneider, RENGIFO ROJAS, Luis Alberto, GUARÍN MARTÍNEZ, Juan Felipe, MAZO CASTRO, Daniel Guillermo, ARBELÁEZ PÉREZ, Oscar Felipe. Evaluación de las propiedades mecánicas de ladrillos elaborados con residuos de vidrio y plástico. Análisis de las emisiones de dióxido de carbono. Lámpsakos [en línea]. 2020, (24), 60-73 [fecha de Consulta: 10 de julio 2024]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=613966750005>
- GONZALEZ, M., 2020. *Raw Material Costs in Brick Production*. SpringerLink. Disponible en: https://www.springer.com/article/Raw_Material_Costs_in_Brick_Production
- HOTZA, D., & MAIA, B. G. O., 2020. *Enviromental performance and energy assessment*

- of fired-clay brick masonry*. En M. Pacheco-Torgal, P. B. Lourenco, J. A. Labrinca, S. Kumar & P. Chindaprasirt (Eds.), *Eco-efficient masonry bricks and blocks: Design, properties and durability* (pp. 447-459). Woodhead Publishing. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-305-8.00020-6>
- JOHNSON, L., 2020. *Extrusion Techniques in Brick Production*. ScienceDirect. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016003220301093>
- KUMAR, S., & SANGWAN, K. S., 2017. *Mechanical properties and microstructure of clay bricks with optimized firing process*. Construction and Building Materials, 149, 843-850. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.146>
- KUMAR, S., 2019. *Efficiency in Manufacturing Processes*. IEEE Xplore. Disponible en: https://ieeexplore.ieee.org/document/Efficiency_in_Manufacturing_Processes
- LARA, J. *Mejora del proceso de cocción de ladrillo artesanal en horno tipo MK2 por simulación numérica*. Disponible en: <https://ciatec.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1019/230>
- LEE, K., 2021. *Homogeneity in Ceramic Production*. SpringerLink. Disponible en: https://link.springer.com/article/Homogeneity_in_Ceramic_Production
- LI, X., ZHANG, Y., & WANG, J., 2020. Optimization of the drying process in brick production using computational fluid dynamics. Journal of Cleaner Production, 256, 120374. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120374>
- LUGO AGAMEZ, Carlos. *Análisis del comportamiento físico, mecánico y energético de ladrillos termo eficientes según su composición y geometría*. [En línea] Cartagena: Universidad de Cartagena, 2023 [Fecha consulta: 10 de julio 2024]. Disponible en:

<https://repositorio.unicartagena.edu.co/handle/11227/17581>

MARTINEZ, A., 2017. *Compaction in Brick Making*. Taylor & Francis Online. Disponible en: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/Compaction_in_Brick_Making

PATEL, R., 2018. *Yield and Quality in Brick Production*. ScienceDirect. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/Yield_and_Quality_in_Brick_Producti
on

SMITH, J., 2019. *Mechanical Processing of Bricks*. ResearchGate. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/Mechanical_Processing_of_Bricks

TCHIQUENDJA-ELENO, Francisco, ALFONSO-BRINDIS, Elena, QUIZA-SARDIÑAS, Ramón, GONZÁLEZ-QUINTERO, Orestes, RIVAS-SANTANA, Marcelino. Optimización multiobjetivo del endurecimiento por tratamiento mecánico-térmico reiterado en acero AISI 1045. *Ingeniería Mecánica* [en línea]. 2020, 23(1), e597 [fecha de Consulta: 10 de julio 2024]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=225163567006>

WANG, R., 2018. *Composition Analysis in Brick Manufacturing*. SAGE Journals. Disponible en: https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/Composition_Analysis_in_Brick_Man
ufac turing

ZHANG, Y., 2021. *Energy Costs in Industrial Processes*. ScienceDirect. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/Energy_Costs_in_Industrial_Processes

ZULETA-MÁRQUEZ, Ana y SARQUIS-HERRERA, Diego. *Diseño del Proceso de Producción de Ladrillo a Base de Plástico en la Empresa Protec-M Municipio de la*

Paz Cesar. [en línea] Valledupar-Colombia: Universidad de Santander, 2021 [Fecha consulta: 10 de julio2024]. Disponible en:
<https://repositorio.udes.edu.co/entities/publication/efbe3699-47a7-4371-bfd5-7c97816d29bf>

VII. ANEXOS

Anexo 1: Formatos de Instrumentos

Guía de observación para el Proceso de Extrusión

Dimensión: Proceso de Extrusión

Indicador: Presión aplicada

- **Objetivo:** Medir la presión aplicada durante el proceso de extrusión.
- **Instrumento:** Sensor de presión.
- **Unidad de Medida:** PSI (libras por pulgada cuadrada).

Fecha	Hora	Presión Aplicada (PSI)	Observaciones
DD/MM/AAAA	HH		
DD/MM/AAAA	HH		
DD/MM/AAAA	HH		

Indicador: Velocidad de extrusión

- **Objetivo:** Medir la velocidad de extrusión de la arcilla.
- **Instrumento:** Tacómetro.
- **Unidad de Medida:** m/s (metros por segundo).

Fecha	Hora	Velocidad de Extrusión (m/s)	Observaciones
DD/MM/AAAA	HH		
DD/MM/AAAA	HH		
DD/MM/AAAA	HH		

Guía de Observación para la Mezcla de Materias

Primas Dimensión: Mezcla de Materias Primas

Indicador: Composición de la mezcla

- **Objetivo:** Medir la proporción de cada componente en la mezcla.
- **Instrumento:** Balanza de precisión.
- **Unidad de Medida:** % de cada componente.

Fecha	Componente	Peso (g)	Porcentaje (%)	Observaciones
DD/MM/AAAA	Arcilla			
DD/MM/AAAA	Agua			
DD/MM/AAAA	Aditivos			

Guía de Observación para la Compactación

Dimensión: Compactación

Indicador: Resistencia a la compresión

- **Objetivo:** Evaluar la capacidad de los ladrillos para resistir fuerzas compresivas.
- **Instrumento:** Máquina de compresión.
- **Unidad de Medida:** MPa (Megapascasles).

Fecha	Fuerza Máxima (N)	Área (cm ²)	Resistencia (MPa)	Observaciones
DD/MM/AAAA				
DD/MM/AAAA				
DD/MM/AAAA				

Guía de Observación para la Eficiencia del Proceso

Dimensión: Eficiencia del Proceso

Indicador: Tiempo de ciclo de producción

- **Objetivo:** Medir el tiempo total del ciclo de producción.
- **Instrumento:** Cronómetro.
- **Unidad de Medida:** Minutos.

Fecha	Tiempo de Ciclo (min)	Observaciones
DD/MM/AAAA		
DD/MM/AAAA		
DD/MM/AAAA		

Indicador: Rendimiento del proceso

- **Objetivo:** Calcular el porcentaje de ladrillos conformes.
- **Instrumento:** Inspección visual y registros de calidad.
- **Unidad de Medida:** % de ladrillos conformes.

Fecha	Total de Ladrillos	Ladrillos Conformes	Porcentaje Conformes (%)	Observaciones
DD/MM/AAAA				
DD/MM/AAAA				
DD/MM/AAAA				

Guía de Entrevista para los Rentabilidad: Costos de producción y operativos (VAN y

TIR) Dimensión: Costos de Producción

Indicador: Costo de energía

- **Objetivo:** Registrar el gasto energético del proceso de producción.

Indicador: Costo de materias primas

- **Objetivo:** Registrar la inversión en materiales necesarios para la producción.

Anexo 2. Prueba 1

FULL REPORT

System Info

Product	Flow Simulation 2022 SP5.0. Build: 5815
Computer name	ROG-STRIX
User name	DIEGO BLONDET
Processors	AMD Ryzen 7 6800HS with Radeon Graphics
Memory	15628 MB / 7622 MB
Operating system	Windows 10 (or higher) (Version 10.0.26100)
CAD version	SOLIDWORKS 2022 SP5.0
CPU speed	3201 MHz

General Info

Model	AL_Extrusora_[1].SLDASM
Project name	PRUEBA 1 CON ARCILLA
Project comment	
Project path	C:\Users\DIEGOBLONDET\Desktop\EXTRUSORA\2
Units system	SI (m-k-g-s)
Analysis type	Internal
Exclude cavities without flow conditions	On
Coordinate system	Global Coordinate System
Reference axis	X

INPUT DATA

Mesh

Global Mesh Settings

Automatic initial mesh: On

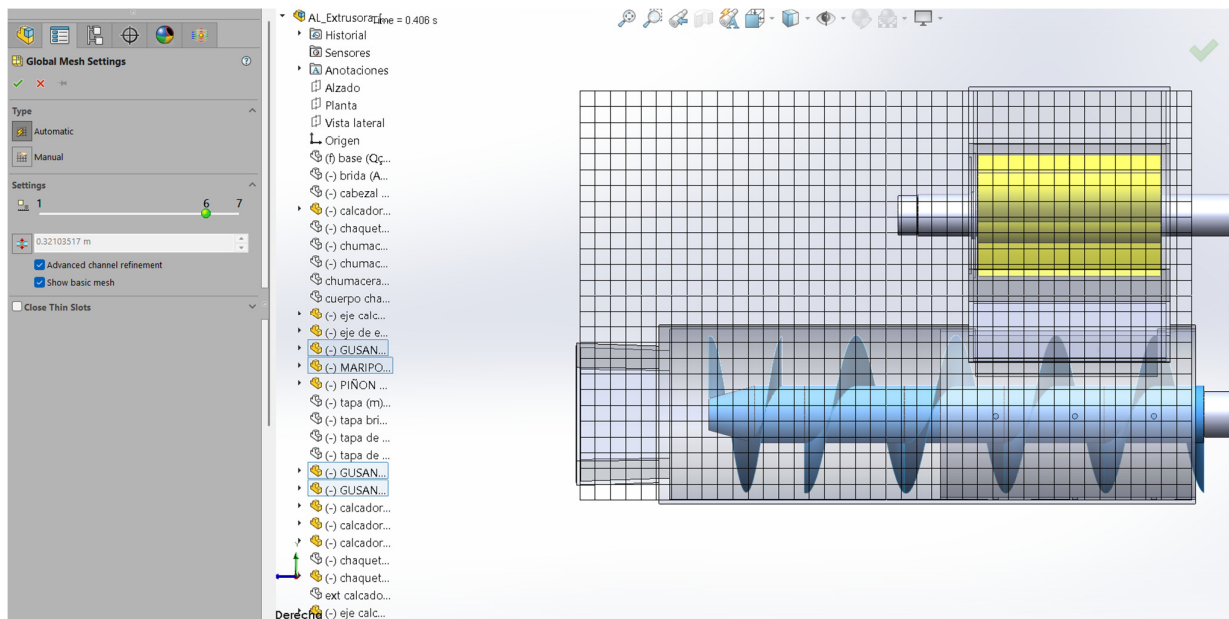
Result resolution level: 6

Advanced narrow channel refinement: On

Geometry Resolution

Evaluation of minimum gap size: Automatic

Evaluation of minimum wall thickness: Automatic



Computational Domain

Size

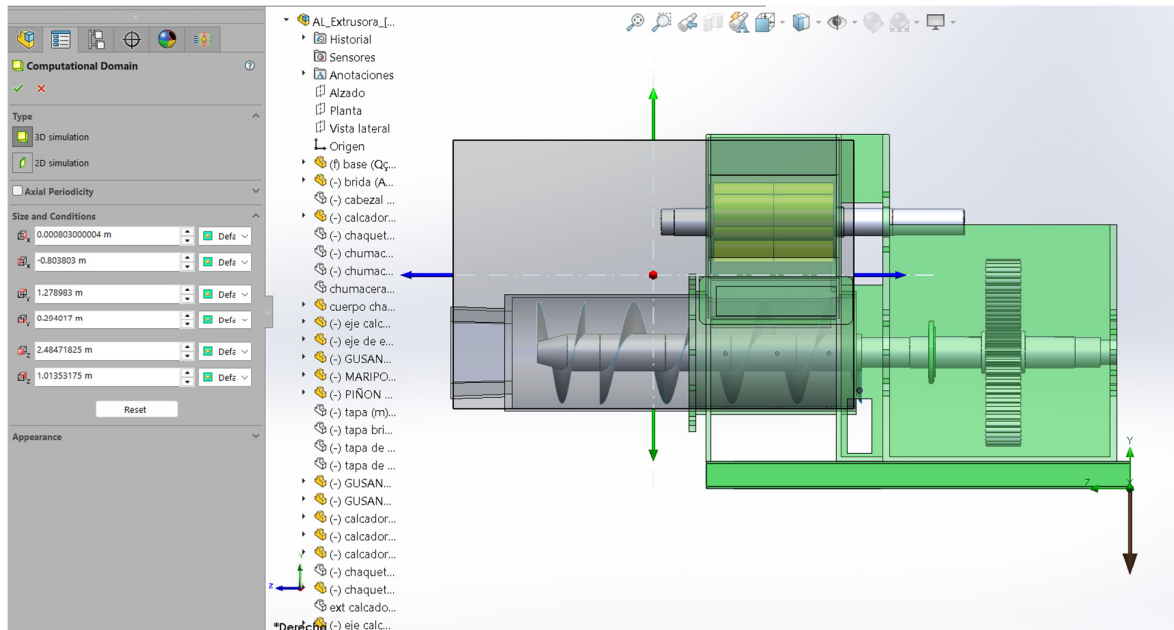
X min	-0.804 m
X max	8.030e-04 m
Y min	0.294 m
Y max	1.279 m
Z min	1.014 m
Z max	2.485 m
X size	0.805 m
Y size	0.985 m
Z size	1.471 m

Boundary Conditions

2D plane flow	None
At X min	Default
At X max	Default
At Y min	Default
At Y max	Default
At Z min	Default
At Z max	Default

EM Domain

Definition: Automatic



Physical Features

Heat conduction in solids: Off

Structural: Off

Electromagnetics: Off

Time dependent: On

Gravitational effects: On

Rotation: Local region(s) (Sliding)

Flow type: Laminar and turbulent

High Mach number flow: Off

Free surface: Off

Default roughness: 0 micrometer

Gravitational Settings

X component	0 m/s ²
Y component	-9.81 m/s ²
Z component	0 m/s ²

Default wall conditions: Adiabatic wall

Initial Conditions

Thermodynamic parameters	Static Pressure: 101325.00 Pa Temperature: 293.20 K
Velocity parameters	Velocity vector Velocity in X direction: 0 m/s Velocity in Y direction: 0 m/s Velocity in Z direction: 0 m/s
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2.00 % Length: 0.013 m

Material Settings

Fluids

Arcilla Roja

Rotating regions

Rotating Region 1

Component	Región Rotativa Calcadores-1@AL_Extrusora_[1]
Angular velocity	60.000 RPM

Rotating Region 2

Component	Región Rotativa Calcadores-2@AL_Extrusora_[1]
Angular velocity	-60.000 RPM

Rotating Region 3

Component	Región Rotativa Gusano-1@AL_Extrusora_[1]
Angular velocity	-33.000 RPM

Boundary Conditions

Inlet Volume Flow 2

Type	Inlet Volume Flow
Faces	Cara<1>@CAVIDAD-1
Coordinate system	Face Coordinate System
Reference axis	Y
Flow parameters	Flow vectors direction: Normal to face Volume flow rate: 0.6000 m ³ /s Relative to rotating frame: Yes Fully developed flow: No Inlet profile: 0
Thermodynamic parameters	Temperature type: Temperature of initial components Temperature: 293.20 K
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2.00 % Length: 0.013 m
Boundary layer parameters	Boundary layer type: Turbulent

Environment Pressure 2

Type	Environment Pressure
Faces	Cara<1>@CAVIDAD-1
Coordinate system	Face Coordinate System
Reference axis	X
Thermodynamic parameters	Environment pressure: 101325.00 Pa Temperature type: Temperature of initial components Temperature: 293.20 K
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2.00 % Length: 0.013 m
Boundary layer parameters	Boundary layer type: Turbulent

Goals

Global Goals

GG Average Static Pressure 2

Type	Global Goal
Goal type	Static Pressure
Calculate	Average value
Coordinate system	Global Coordinate System
Criteria	1.00 Pa
Use in convergence	On

GG Maximum Static Pressure 3

Type	Global Goal
Goal type	Static Pressure
Calculate	Maximum value
Coordinate system	Global Coordinate System
Criteria	1.00 Pa
Use in convergence	On

GG Minimum Total Pressure 4

Type	Global Goal
Goal type	Total Pressure
Calculate	Minimum value
Coordinate system	Global Coordinate System
Criteria	1.00 Pa
Use in convergence	On

GG Average Total Pressure 5

Type	Global Goal
Goal type	Total Pressure
Calculate	Average value
Coordinate system	Global Coordinate System
Criteria	1.00 Pa
Use in convergence	On

GG Maximum Total Pressure 6

Type	Global Goal
Goal type	Total Pressure
Calculate	Maximum value
Coordinate system	Global Coordinate System
Criteria	1.00 Pa
Use in convergence	On

GG Average Velocity 7

Type	Global Goal
Goal type	Velocity
Calculate	Average value
Coordinate system	Global Coordinate System
Criteria	1.000 m/s
Use in convergence	On

GG Average Velocity 11

Type	Global Goal
Goal type	Velocity
Calculate	Average value
Coordinate system	Global Coordinate System
Criteria	1.000 m/s
Use in convergence	On

Component Control Info

Disabled components (CFD): cuerpo chasis-1PIÑÓN PRINCIPAL 5-1chumacera interna (J2)-1chumacera de rodaje (L)-1chaqueta (G)-2TROMPA-1Región Rotativa Calcadores-1tapa de chumacera J2 (J4)-2cabezal extrusora-1tapa de chumacera J1 (J3)-2tapa de chumacera J2 (J4)-1Región Rotativa Gusano-1chumacera interna (J1)-4chumacera interna (J2)-2tapa brida (B)-1Región Rotativa Calcadores-2chaqueta de cabezal de extrusora (N)-2tapa de chumacera J1 (J3)-1tapa (m)-1ext calcador-2chaqueta de cabezal de extrusora (N)-1base (Qç)-1brida (A)-1chumacera interna (J1)-2chumacera de rodaje (K)-1

Calculation Control Options***Finish Conditions***

Finish Conditions	If one is satisfied
Maximum iterations	100
Maximum physical time	1.000 s

Solver Refinement

Refinement: Disabled

Solving

Electromagnetic Settings

Change material type to be linear	No
Non - linear convergence method	Newton - Raphson
Maximum Newton iteration	50
Newton tolerance	1.00 %
CG tolerance	0.01 %
EM-Thermal synchronization	Periodic
Periodicity	25
Maximum number of synchronizations	3
Time step	0.100 s
Total time	1.000 s

Results Saving

Save before refinement	On
------------------------	----

Advanced Control Options

Flow Freezing

Flow freezing strategy	Disabled
------------------------	----------

Manual time step (Freezing): Off

Manual time step: Off

RESULTS

General Info

Run at: ROG-STRIX
 Number of cores: 16
 Iterations: 100
 Physical time: 0.406 s
 CPU time: 184 s

Log

Mesh generation started 0	00:03:34 , Mar 02
Mesh generation normally finished 0	00:03:36 , Mar 02
Preparing data for calculation 0	00:04:29 , Mar 02
Calculation started 0	00:04:32 , Mar 02
Calculation has converged since the following criteria are satisfied: 100	00:07:34 , Mar 02
Max. iteration is reached 100	
Calculation finished 100	00:07:36 , Mar 02

Warnings: A vortex crosses the pressure opening Boundary Condition : Environment Pressure 2 ;
 Inlet flow/outlet flow=0.141759

Calculation Mesh

Basic Mesh Dimensions

Number of cells in X	22
Number of cells in Y	26
Number of cells in Z	40

Number Of Cells

Cells	71682
Fluid cells	71682
Irregular cells	0
Trimmed cells	0

Maximum refinement level: 1

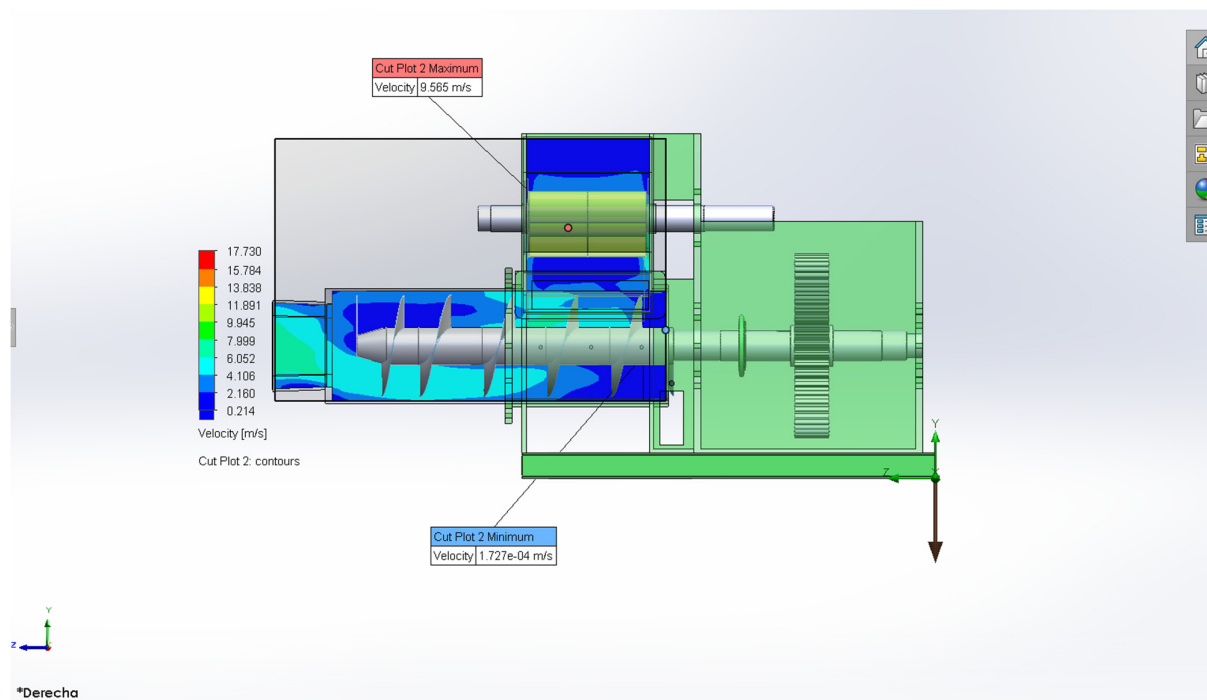
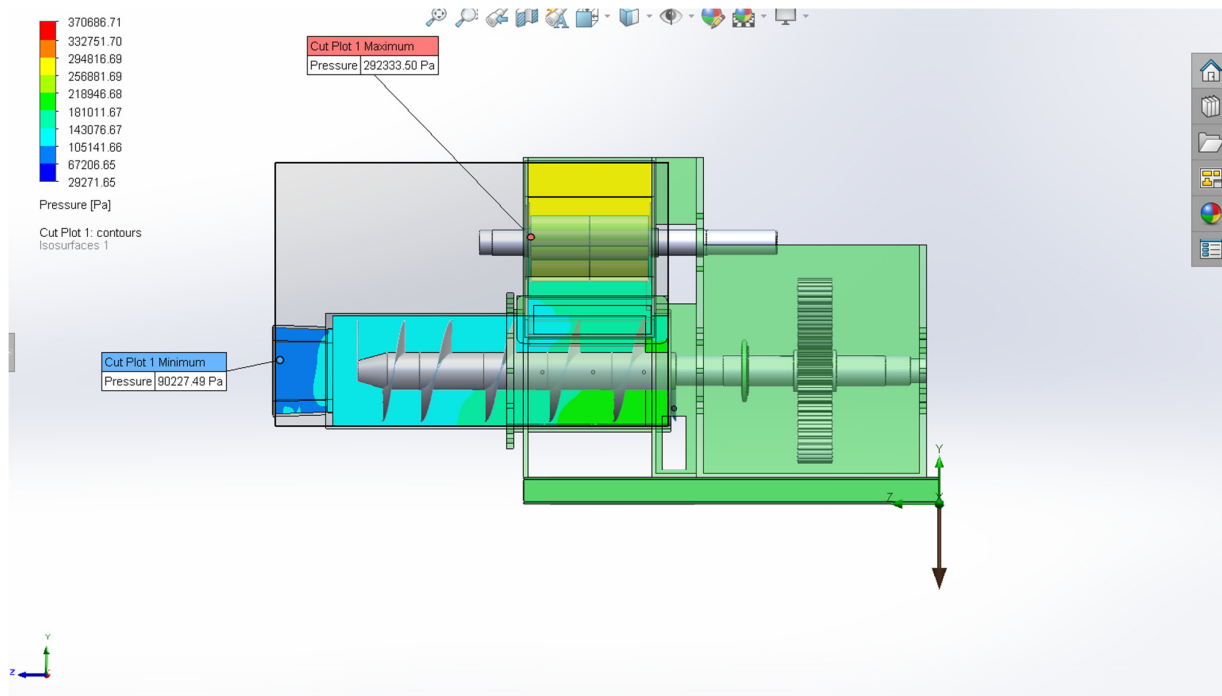
Goals

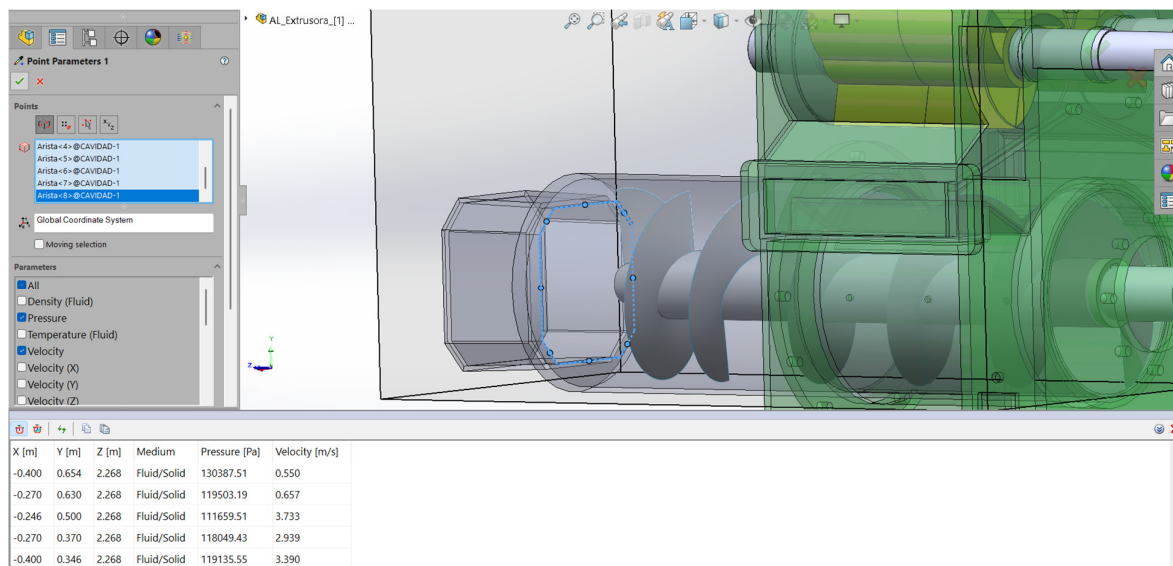
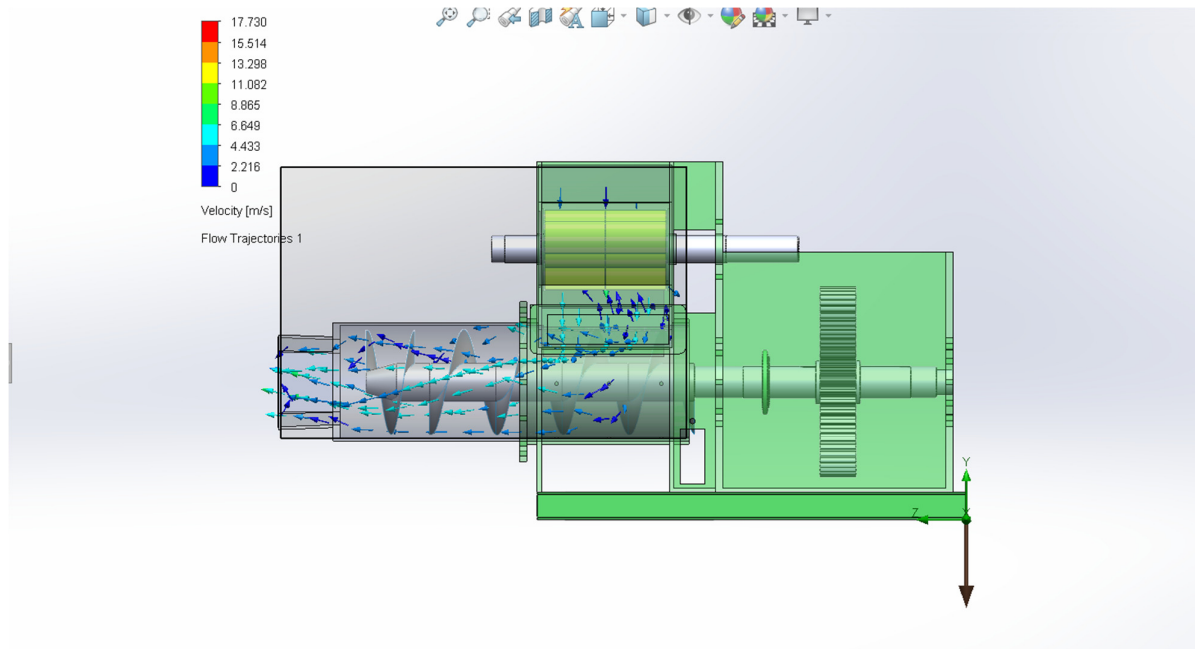
Name	Unit	Value	Progress	Criteria	Delta	Use in convergence
GG Average Static Pressure 2	Pa	183194.88	0	0	77174.9384	On
GG Maximum Static Pressure 3	Pa	370686.71	0	0	191332.441	On
GG Minimum Total Pressure 4	Pa	60725.90	0	0	39378.6947	On

GG Average Total Pressure 5	Pa	197793.75	0	0	88408.7108	On
GG Maximum Total Pressure 6	Pa	577234.52	0	0	495872.239	On
GG Average Velocity 7	m/s	3.058	0	0	2.11895386	On
GG Average Velocity 11	m/s	3.058	0	0	2.11895386	On

Min/Max Table

Name	Minimum	Maximum
Density (Fluid) [kg/m^3]	2300.00	2300.00
Pressure [Pa]	29271.65	370686.71
Temperature [K]	277.37	302.06
Temperature (Fluid) [K]	277.37	302.06
Velocity [m/s]	0	17.730
Velocity (X) [m/s]	-11.413	13.483
Velocity (Y) [m/s]	-14.610	15.861
Velocity (Z) [m/s]	-17.286	10.869
Mach Number []	0	0.02
Mach Number RRF []	0	0.02
Velocity RRF (X) [m/s]	-11.413	13.648
Velocity RRF (Y) [m/s]	-14.610	15.123
Velocity RRF (Z) [m/s]	-17.286	10.869
Relative Pressure [Pa]	-72272.08	269142.98
Bottleneck Number []	1.8843043e-11	1.0000000
Heat Transfer Coefficient [W/m^2/K]	0	0
ShortCut Number []	3.0336330e-11	1.0000000
Surface Heat Flux [W/m^2]	0	0
Surface Heat Flux (Convective) [W/m^2]	0	0
Total Enthalpy Flux [W/m^2]	-1.018e+08	8.269e+07
Acoustic Power [W/m^3]	0	2.287e-05
Acoustic Power Level [dB]	0	73.59





Anexo 3. Prueba 2

FULL REPORT

System Info

Product	Flow Simulation 2022 SP5.0. Build: 5815
Computer name	ROG-STRIX
User name	DIEGO BLONDET
Processors	AMD Ryzen 7 6800HS with Radeon Graphics
Memory	15628 MB / 8669 MB
Operating system	Windows 10 (or higher) (Version 10.0.26100)
CAD version	SOLIDWORKS 2022 SP5.0
CPU speed	3201 MHz

General Info

Model	AL_Extrusora_[1].SLDASM
Project name	PRUEBA 1 CON ARCILLA
Project comment	
Project path	C:\Users\DIEGOBLONDET\Desktop\EXTRUSORA\2
Units system	SI (m-kg-s)
Analysis type	Internal
Exclude cavities without flow conditions	On
Coordinate system	Global Coordinate System
Reference axis	X

INPUT DATA

Mesh

Global Mesh Settings

Automatic initial mesh: On

Result resolution level: 6

Advanced narrow channel refinement: On

Geometry Resolution

Evaluation of minimum gap size: Automatic

Evaluation of minimum wall thickness: Automatic

Computational Domain

Size

X min	-0.804 m
X max	8.030e-04 m
Y min	0.294 m
Y max	1.279 m
Z min	1.014 m
Z max	2.485 m
X size	0.805 m
Y size	0.985 m
Z size	1.471 m

Boundary Conditions

2D plane flow	None
At X min	Default
At X max	Default
At Y min	Default
At Y max	Default
At Z min	Default
At Z max	Default

EM Domain

Definition: Automatic

Physical Features

Heat conduction in solids: Off

Structural: Off

Electromagnetics: Off

Time dependent: On

Gravitational effects: On

Rotation: Local region(s) (Sliding)

Flow type: Laminar and turbulent

High Mach number flow: Off

Free surface: Off

Default roughness: 0 micrometer

Gravitational Settings

X component	0 m/s ²
Y component	-9.81 m/s ²
Z component	0 m/s ²

Default wall conditions: Adiabatic wall

Initial Conditions

Thermodynamic parameters	Static Pressure: 101325.00 Pa Temperature: 293.20 K
Velocity parameters	Velocity vector Velocity in X direction: 0 m/s Velocity in Y direction: 0 m/s Velocity in Z direction: 0 m/s
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2.00 % Length: 0.013 m

Material Settings**Fluids**

Arcilla Roja

Rotating regions

Rotating Region 1

Component	Región Rotativa Calcadores-1@AL_Extrusora_[1]
Angular velocity	60.000 RPM

Rotating Region 2

Component	Región Rotativa Calcadores-2@AL_Extrusora_[1]
Angular velocity	-60.000 RPM

Rotating Region 3

Component	Región Rotativa Gusano-1@AL_Extrusora_[1]
Angular velocity	-33.000 RPM

Boundary Conditions

Inlet Volume Flow 2

Type	Inlet Volume Flow
Faces	Cara<1>@CAVIDAD-1
Coordinate system	Face Coordinate System
Reference axis	Y
Flow parameters	Flow vectors direction: Normal to face Volume flow rate: 0.6000 m ³ /s Relative to rotating frame: Yes Fully developed flow: No Inlet profile: 0
Thermodynamic parameters	Temperature type: Temperature of initial components Temperature: 293.20 K
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2.00 % Length: 0.013 m
Boundary layer parameters	Boundary layer type: Turbulent

Environment Pressure 2

Type	Environment Pressure
Faces	Cara<1>@CAVIDAD-1
Coordinate system	Face Coordinate System
Reference axis	X
Thermodynamic parameters	Environment pressure: 101325.00 Pa Temperature type: Temperature of initial components Temperature: 293.20 K
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2.00 % Length: 0.013 m
Boundary layer parameters	Boundary layer type: Turbulent

Goals

Global Goals

GG Average Static Pressure 2

Type	Global Goal
------	-------------

Goal type	Static Pressure
Calculate	Average value
Coordinate system	Global Coordinate System
Criteria	1.00 Pa
Use in convergence	On

GG Maximum Static Pressure 3

Type	Global Goal
Goal type	Static Pressure
Calculate	Maximum value
Coordinate system	Global Coordinate System
Criteria	1.00 Pa
Use in convergence	On

GG Minimum Total Pressure 4

Type	Global Goal
Goal type	Total Pressure
Calculate	Minimum value
Coordinate system	Global Coordinate System
Criteria	1.00 Pa
Use in convergence	On

GG Average Total Pressure 5

Type	Global Goal
Goal type	Total Pressure
Calculate	Average value
Coordinate system	Global Coordinate System
Criteria	1.00 Pa
Use in convergence	On

GG Maximum Total Pressure 6

Type	Global Goal
Goal type	Total Pressure
Calculate	Maximum value
Coordinate system	Global Coordinate System
Criteria	1.00 Pa
Use in convergence	On

GG Average Velocity 7

Type	Global Goal
Goal type	Velocity
Calculate	Average value
Coordinate system	Global Coordinate System
Criteria	1.000 m/s
Use in convergence	On

GG Average Velocity 11

Type	Global Goal
Goal type	Velocity
Calculate	Average value
Coordinate system	Global Coordinate System
Criteria	1.000 m/s
Use in convergence	On

Component Control Info

Disabled components (CFD): cuerpo chasis-1PIÑON PRINCIPAL 5-1chumacera interna (J2)-1chumacera de rodaje (L)-1chaqueta (G)-2TROMPA-1Región Rotativa Calcadore-1tapa de chumacera J2 (J4)-2cabezal extrusora-1tapa de chumacera J1 (J3)-2tapa de chumacera J2 (J4)-1Región Rotativa Gusano-1chumacera interna (J1)-4chumacera interna (J2)-2tapa brida (B)-1Región Rotativa Calcadore-2chaqueta de cabezal de extrusora (N)-2tapa de chumacera J1 (J3)-1tapa (m)-1ext calcador-2chaqueta de cabezal de extrusora (N)-1base (Qç)-1brida (A)-1chumacera interna (J1)-2chumacera de rodaje (K)-1

Calculation Control Options

Finish Conditions

Finish Conditions	If one is satisfied
Maximum iterations	100
Maximum physical time	1.000 s

Solver Refinement

Refinement: Disabled

Solving

Electromagnetic Settings

Change material type to be linear	No
Non - linear convergence method	Newton - Raphson
Maximum Newton iteration	50
Newton tolerance	1.00 %
CG tolerance	0.01 %
EM-Thermal synchronization	Periodic
Periodicity	25
Maximum number of synchronizations	3
Time step	0.100 s
Total time	1.000 s

Results Saving

Save before refinement	On
------------------------	----

Advanced Control Options

Flow Freezing

Flow freezing strategy	Disabled
------------------------	----------

Manual time step (Freezing): Off

Manual time step: Off

RESULTS

General Info

Run at: ROG-STRIX

Number of cores: 16

Iterations: 100

Physical time: 0.465 s

CPU time: 158 s

Log

Mesh generation started 0	17:21:56 , Mar 08
Mesh generation normally finished 0	17:21:58 , Mar 08
Preparing data for calculation 0	17:21:58 , Mar 08
Calculation started 0	17:22:01 , Mar 08
Calculation has converged since the following criteria are satisfied: 100	17:24:37 , Mar 08
Max. iteration is reached 100	
Calculation finished 100	17:24:39 , Mar 08

Warnings: A vortex crosses the pressure opening Boundary Condition : Environment Pressure 2 ;
Inlet flow/outlet flow=0.0135023

Calculation Mesh

Basic Mesh Dimensions

Number of cells in X	22
Number of cells in Y	26
Number of cells in Z	40

Number Of Cells

Cells	71646
Fluid cells	71646
Irregular cells	0
Trimmed cells	0

Maximum refinement level: 1

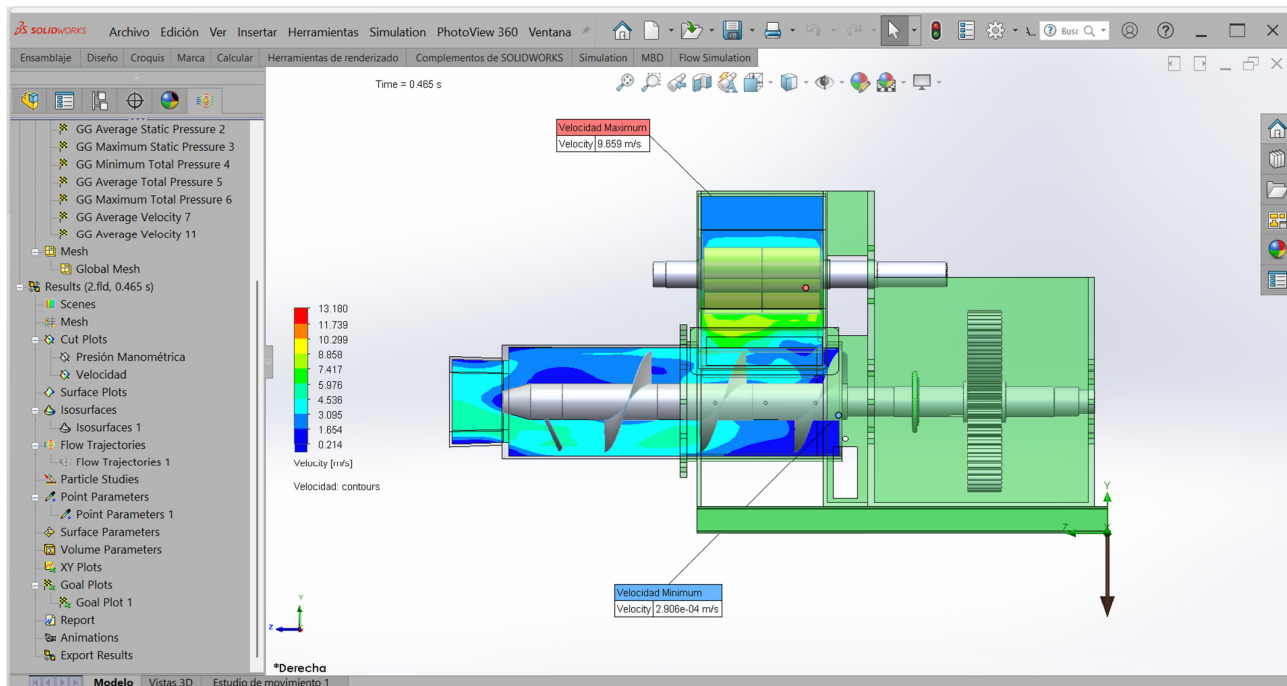
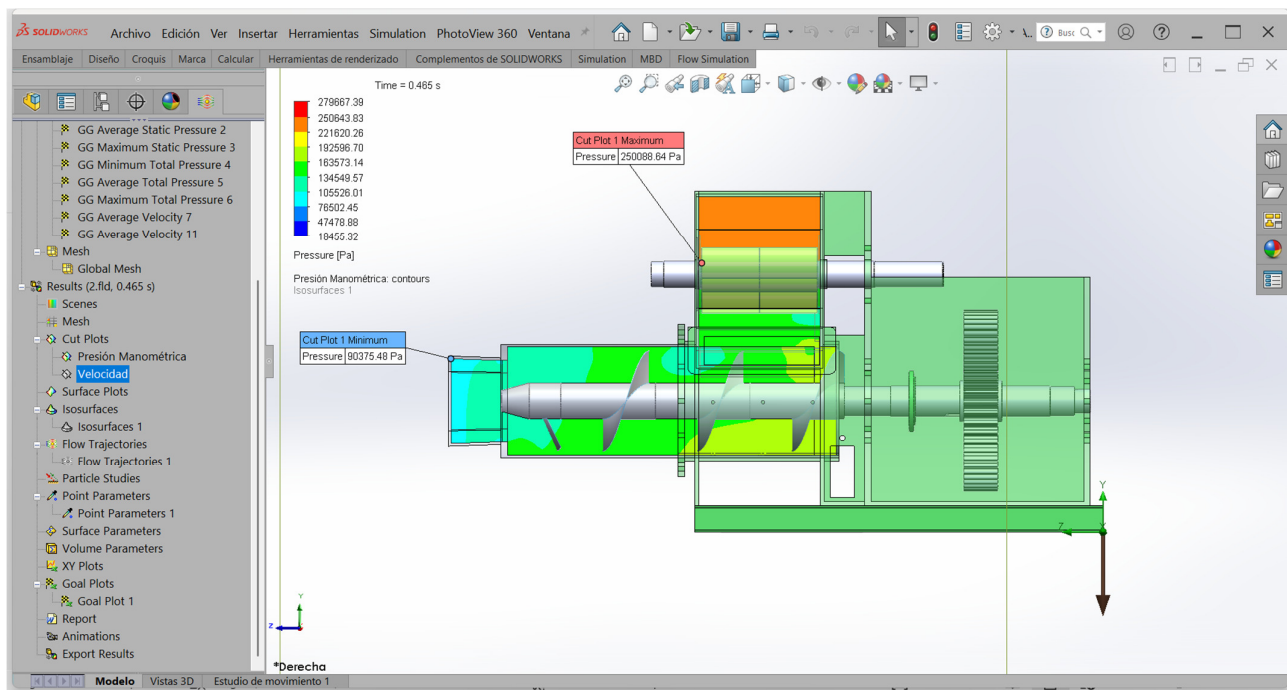
Goals

Name	Unit	Value	Progress	Criteria	Delta	Use in convergence
GG Average Static Pressure 2	Pa	172041.11	0	0	78751.2741	On
GG Maximum Static Pressure 3	Pa	279667.39	0	0	188585.07	On
GG Minimum Total Pressure 4	Pa	25147.22	0	0	39887.6815	On
GG Average Total Pressure 5	Pa	184282.26	0	0	90646.6856	On
GG Maximum Total Pressure 6	Pa	391236.47	0	0	295717.633	On

GG Average Velocity 7	m/s	2.820	0	0	2.21575269	On
GG Average Velocity 11	m/s	2.820	0	0	2.21575269	On

Min/Max Table

Name	Minimum	Maximum
Density (Fluid) [kg/m ³]	2300.00	2300.00
Pressure [Pa]	18455.32	279667.39
Temperature [K]	284.86	303.96
Temperature (Fluid) [K]	284.86	303.96
Velocity [m/s]	0	13.180
Velocity (X) [m/s]	-7.676	8.104
Velocity (Y) [m/s]	-9.566	10.531
Velocity (Z) [m/s]	-9.939	6.470
Mach Number []	0	0.01
Mach Number RRF []	0	0.01
Velocity RRF (X) [m/s]	-7.676	8.262
Velocity RRF (Y) [m/s]	-9.566	9.634
Velocity RRF (Z) [m/s]	-9.939	6.470
Relative Pressure [Pa]	-83088.76	178123.31
Bottleneck Number []	2.0208873e-12	1.0000000
Heat Transfer Coefficient [W/m ² /K]	0	0
ShortCut Number []	1.0274416e-11	1.0000000
Surface Heat Flux [W/m ²]	0	0
Surface Heat Flux (Convective) [W/m ²]	0	0
Total Enthalpy Flux [W/m ²]	-8.102e+07	9.179e+07
Acoustic Power [W/m ³]	0	6.768e-07
Acoustic Power Level [dB]	0	58.30



Anexo 4. Análisis Comparativo de los Modelos de la Extrusora de Ladrillos

Se presenta una explicación detallada de los datos obtenidos de los modelos actual y mejorado de la extrusora de ladrillos. Se analizan parámetros clave como presión, velocidad, tiempo de cálculo, condiciones de flujo, rotación y advertencias, basados en los informes proporcionados.

Modelo Actual

1. Presión:

- Presión máxima: 370.686 kPa.
- Presión mínima: 29.271 kPa.
- Presión promedio: 183.194 kPa.
- Presión salida: 130.387 kPa.

2. Velocidad:

- Velocidad promedio: 3.058 m/s.
- Velocidad máxima: 17.730 m/s.
- Velocidad salida: 0.5503 m/s.

3. Tiempo de Cálculo:

- Tiempo físico: 0.406 s.
- Iteraciones: 100.

4. Condiciones de Flujo:

- Tipo de flujo: Laminar y turbulento.
- Flujo de entrada: 0.6000 m³/s.
- Intensidad de turbulencia: 2%.

5. Rotación:

- Región Rotativa Calcadores-1: 60 RPM.
- Región Rotativa Calcadores-2: -60 RPM.
- Región Rotativa Gusano-1: -33 RPM.

6. Advertencias:

- Se detectó un vórtice cruzando la condición de presión ambiental, lo que podría afectar la estabilidad del flujo.

Modelo Mejorado

1. Presión:

- Presión máxima: 279.667 kPa.
- Presión mínima: 18.455 kPa.
- Presión promedio: 172.041 kPa.
- Presión salida: 132.365 kPa

2. Velocidad:

- Velocidad promedio: 2.820 m/s.
- Velocidad máxima: 13.180 m/s.
- Velocidad salida: 0.5507 m/s.

3. Tiempo de Cálculo:

- Tiempo físico: 0.465 s.
- Iteraciones: 100.

4. Condiciones de Flujo:

- Tipo de flujo: Laminar y turbulento.
- Flujo de entrada: 0.6000 m³/s.
- Intensidad de turbulencia: 2%.

5. Rotación:

- Región Rotativa Calcadores-1: 60 RPM.
- Región Rotativa Calcadores-2: -60 RPM.
- Región Rotativa Gusano-1: -33 RPM.

6. Advertencias:

- Se detectó un vórtice cruzando la condición de presión ambiental, pero con menor impacto en comparación con el modelo actual.

Conclusión

El análisis comparativo de los modelos actual y mejorado de la extrusora de ladrillos muestra que el modelo mejorado presenta una optimización significativa en términos de presión, velocidad y estabilidad del flujo. Estas mejoras contribuyen a una mayor eficiencia del proceso y una mejor calidad de los ladrillos producidos.

Anexo 5. Cálculos

Cálculos de objetivo específico 1:

La ecuación de Navier-Stokes se puede escribir de forma vectorial de la siguiente manera:

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \nabla u \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 u + f$$

Con componentes de velocidad en las direcciones x, y, z respectivamente seria:

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial u}{\partial y} + w \cdot \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + f_x$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial v}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial v}{\partial y} + w \cdot \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + f_y$$

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial w}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial w}{\partial y} + w \cdot \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) + f_z$$

Condiciones de contorno:

- Condición de no deslizamiento (velocidad en la pared igual a cero)
- Condición de presión (presión conocida en la frontera)
- Condición de flujo (flujo conocido en la frontera)

Al ser una ecuación no lineal, no tienen resolución analítica, por lo general se aplica métodos numéricos (por ello nos amparamos en la simulación CFD, la cual brinda el software SolidWorks, en su módulo Flow Simulation).

Al asumir las condiciones de contorno la ecuación se reduciría al eje x a la ecuación

11:

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial u}{\partial y} + w \cdot \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + f_x$$

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$$

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \rho g \frac{\Delta h}{L} - 2\mu \frac{U}{h^2}$$

Cálculo de presión de salida para la maquina actual:

Asumiendo valores teóricos y medidos

- $p_0 = 145,000 \text{ Pa}$
- $\mu = 0.001 \text{ Pa.s}$
- $\rho = 2300 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$
- $h = 1 \text{ m}$
- $\Delta h = 0.65 \text{ m}$
- $L = 1.12 \text{ m}$
- $U = 1.1 \text{ m/s}$

Cálculo de gradiente de presión:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{2,300 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0.65 \text{m}}{1.12^2} - 2 \cdot (0.001 \text{ Pa.s} \cdot \frac{1.1 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1 \text{m}^2})$$

$$\frac{\partial p}{\partial x} = 13,107.988871 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$$

Donde usando la ecuación 14:

$$P(x) = p_0 - \left(\frac{\partial p}{\partial x}\right) \cdot L$$

$$P(x) = 145,000 \text{ Pa} - (13,107.988871 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}) \cdot (1.12 \text{m})$$

$$P(x) = 130,319.052 \text{ Pa}$$

Cálculo de presión de salida para la maquina mejorada:

Asumiendo valores teóricos y medidos

- $p_0 = 145,000 \text{ Pa}$
- $\mu = 0.001 \text{ Pa.s}$
- $\rho = 2300 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$
- $h = 1 \text{ m}$
- $\Delta h = 0.65 \text{ m}$
- $L = 1.028 \text{ m}$
- $U = 1.1 \text{ m/s}$

Cálculo de gradiente de presión:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{2,300 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0.65 \text{m}}{1.028^2} - 2 \cdot (0.001 \text{ Pa.s} \cdot \frac{1.1 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1 \text{m}^2})$$

$$\frac{\partial p}{\partial x} = 14,267.7964 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$$

Donde usando la ecuación 14:

$$P(x) = p_0 - (\frac{\partial p}{\partial x}) \cdot L$$

$$P(x) = 145,000 \text{ Pa} - (14,267.7964 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}) \cdot (1.028 \text{m})$$

$$P(x) = 130,332.7050 \text{ Pa}$$

Entonces podemos observar que la variación de presión en la salida de la extrusora actual 130.319 kPa es menor que la presión de la extrusora mejorada 130.332 kPa, pero por ser calculo con restricciones existirá un margen de error.

Cálculos de objetivo específico 2:

La ecuación de Navier-Stokes se puede escribir de forma vectorial de la siguiente manera:

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \nabla u \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 u + f$$

Con componentes de velocidad en las direcciones x, y, z respectivamente seria:

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial u}{\partial y} + w \cdot \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + f_x$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial v}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial v}{\partial y} + w \cdot \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + f_y$$

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial w}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial w}{\partial y} + w \cdot \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) + f_z$$

Condiciones de contorno:

- Condición de no deslizamiento (velocidad en la pared igual a cero)
- Condición de presión (presión conocida en la frontera)
- Condición de flujo (flujo conocido en la frontera)

Al ser una ecuación no lineal, no tienen resolución analítica, por lo general se aplica métodos numéricos.

Al asumir las condiciones de contorno la ecuación se reduciría al eje x a la ecuación

11:

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial u}{\partial y} + w \cdot \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + f_x$$

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$$

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \rho g \frac{\Delta h}{L} - 2\mu \frac{U}{h^2}$$

Usando la ecuación 10:

$$u(y) = \left(\frac{1}{2} \mu\right) \left(\frac{\partial p}{\partial x} - \frac{Uy}{h}\right) (y^2 - hy)$$

Cálculo de velocidad de salida para la maquina actual:

Asumiendo valores teóricos y medidos

- $y = \frac{h}{2}$
- $\frac{\partial p}{\partial x} = 13,107.988871 \frac{Pa}{m}$
- $\mu = 0 Pa.s$
- $h = 1 m$
- $U = 1.1 m/s$

Reemplazando datos:

$$u\left(\frac{h}{2}\right) = \left(\frac{1}{2} \mu\right) \left(\frac{\partial p}{\partial x} - \frac{U \cdot \frac{h}{2}}{h}\right) \left(\left(\frac{h}{2}\right)^2 - h\left(\frac{h}{2}\right)\right)$$

$$u\left(\frac{1}{2}\right) = \left(\frac{1}{2} \mu\right) \left(\frac{\partial p}{\partial x}\right) \left(\left(\frac{h}{2}\right)^2 - h\left(\frac{h}{2}\right)\right) + \frac{U \cdot \frac{h}{2}}{h}$$

$$u\left(\frac{1}{2}\right) = \left(\frac{1}{2} \cdot 0 Pa.s\right) \left(13,107.988871 \frac{Pa}{m} -\right) \left(\left(\frac{1}{2}\right)^2 - 1\left(\frac{1}{2}\right)\right) + \frac{1.1 \cdot \frac{m}{s}}{2}$$

$$u\left(\frac{1}{2}\right) = 0.550 \frac{m}{s}$$

Cálculo de velocidad de salida para la maquina mejorada:

Asumiendo valores teóricos y medidos

- $y = \frac{h}{2}$
- $\frac{\partial p}{\partial x} = 14,267.7964 \frac{Pa}{m}$
- $\mu = 0 Pa.s$
- $h = 1 m$

- $U = 1.1 \text{ m/s}$

Reemplazando datos:

$$u\left(\frac{h}{2}\right) = \left(\frac{1}{2} \mu\right) \left(\frac{\partial p}{\partial x} - \frac{U \cdot \frac{h}{2}}{h}\right) \left(\left(\frac{h}{2}\right)^2 - h\left(\frac{h}{2}\right)\right)$$

$$u\left(\frac{1}{2}\right) = \left(\frac{1}{2} \mu\right) \left(\frac{\partial p}{\partial x}\right) \left(\left(\frac{h}{2}\right)^2 - h\left(\frac{h}{2}\right)\right) + \frac{U \cdot \frac{h}{2}}{h}$$

$$u\left(\frac{1}{2}\right) = \left(\frac{1}{2} \cdot 0 \text{ Pa} \cdot \text{s}\right) \left(14,267.7964 \frac{\text{Pa}}{\text{m}} - \right) \left(\left(\frac{1}{2}\right)^2 - 1\left(\frac{1}{2}\right)\right) + \frac{1.1 \cdot \frac{\text{m}}{2}}{2}$$

$$u\left(\frac{1}{2}\right) = 0.550 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

El modelo mejorado presenta una velocidad de extrusión similar, pero con una distribución más uniforme, lo que favorece la consistencia de la mezcla y la calidad de los ladrillos. Un flujo más estable reduce la formación de vacíos o zonas de diferente densidad, asegurando que los ladrillos cumplan con los estándares de calidad requeridos.

Cálculo de la eficiencia del proceso

Para evaluar la eficiencia del proceso de producción de ladrillos, se utilizarán indicadores cuantitativos que permitan medir el desempeño operativo. La eficiencia del proceso se puede calcular mediante la siguiente fórmula estándar:

$$\text{Eficiencia del Proceso (\%)} = (\text{Producción Real} / \text{Producción Estándar}) \times 100$$

Donde:

- Producción Real: cantidad de ladrillos conformes producidos en un periodo determinado.
- Producción Estándar: cantidad de ladrillos que se espera producir bajo condiciones óptimas en el mismo periodo.

Reemplazando:

$$\text{Eficiencia del Proceso (\%)} = (38000 / 40000) \times 100 = 95\%$$

Así que la eficiencia del proceso es del 95%.

Cálculo del VAN

- Costo de la extrusora original (2016): \$26,000 USD
- Costo estimado de la mejora (2025): \$5,200 USD (20% del valor de la máquina original)
- Tipo de cambio referencial: 1 USD = 3.80 PEN
- Costo de la mejora en soles: S/ 19,760
- Ahorro anual estimado por reducción de consumo energético y mantenimiento: \$3,000 USD (S/ 11,400)
- Vida útil de la mejora: 7 años
- Tasa de descuento: 12% anual

El Valor Actual Neto (VAN) se calcula con la siguiente fórmula:

$$VAN = \sum [F_t / (1 + r)^t] - C_0$$

Donde:

VAN = Valor Actual Neto

F_t = Flujo de caja neto en el año t
 r = Tasa de descuento (12%)
 n = Vida útil del proyecto (7 años)
 C_0 = Inversión inicial (\$5,200 USD)

Sustituyendo los valores:

$$VAN = [2,678.57 + 2,392.47 + 2,137.92 + 1,909.75 + 1,705.13 + 1,521.55 + 1,357.63] - 5,200$$

$$VAN = 13,703.02 - 5,200 = 8,503.02 \text{ USD}$$

$$VAN = S/ 32,311.48$$

Cálculo de la TIR

Flujo de caja proyectado

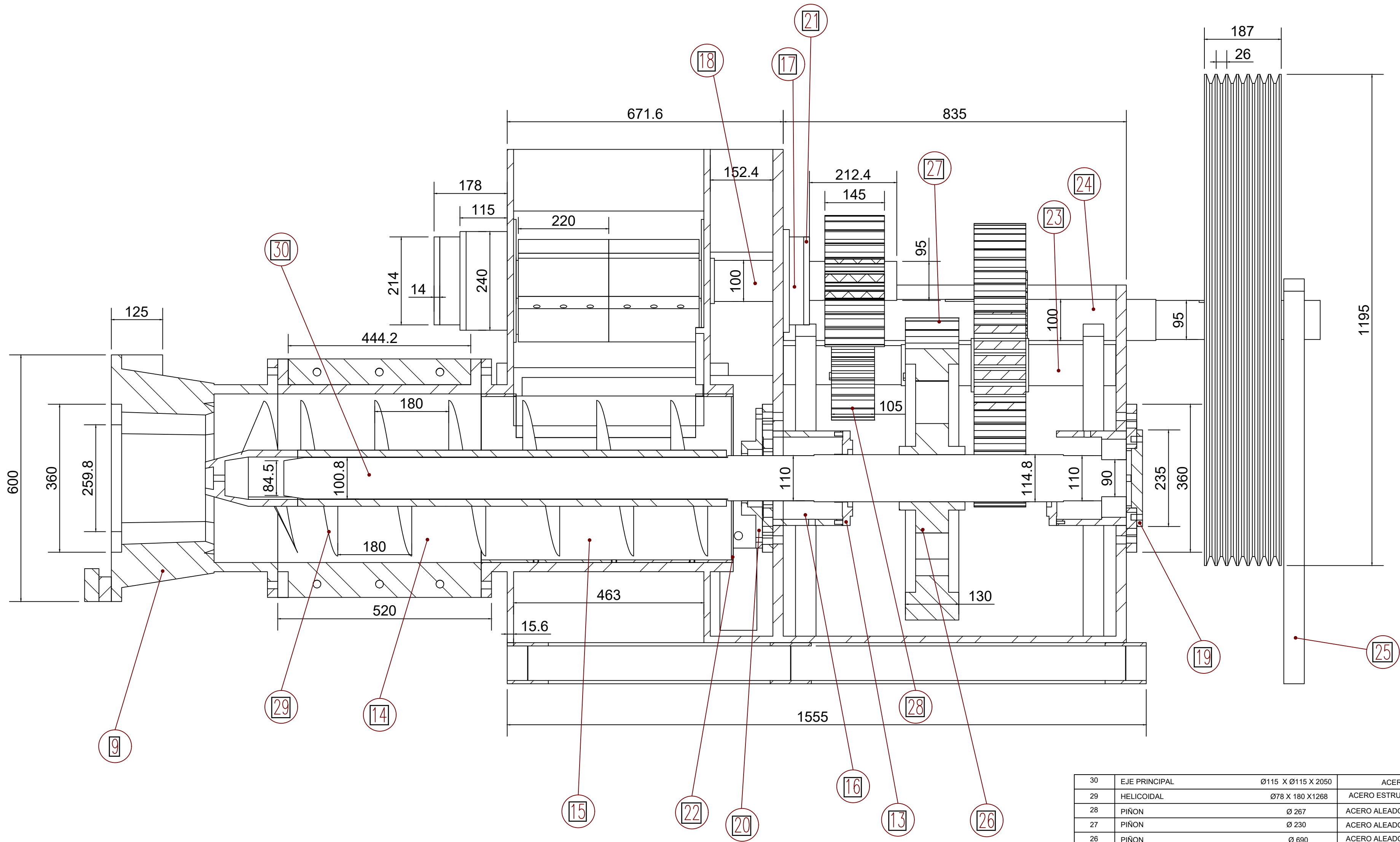
Año	Flujo neto (\$)
0	-5200
1	3000
2	3000
3	3000
4	3000
5	3000
6	3000
7	3000

$$\sum \frac{FCt}{(1+r)^t} = I \quad o \quad \sum_{t=1}^7 \frac{FCt}{(1+TIR)^t} = I$$

$$5200 = \frac{3000}{(1+TIR)^1} + \frac{3000}{(1+TIR)^2} + \frac{3000}{(1+TIR)^3} + \frac{3000}{(1+TIR)^4} + \frac{3000}{(1+TIR)^5} + \frac{3000}{(1+TIR)^6} + \frac{3000}{(1+TIR)^7}$$

Resolviendo: $TIR = 0.558 = 56\%$

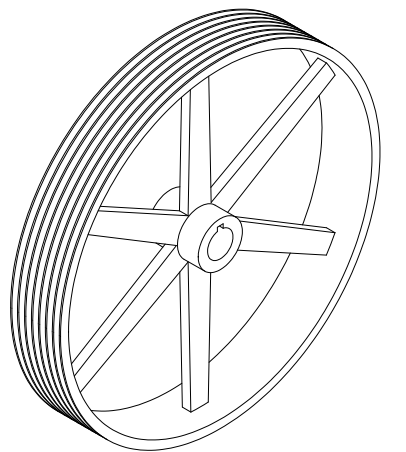
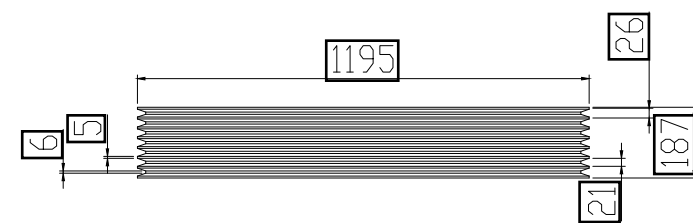
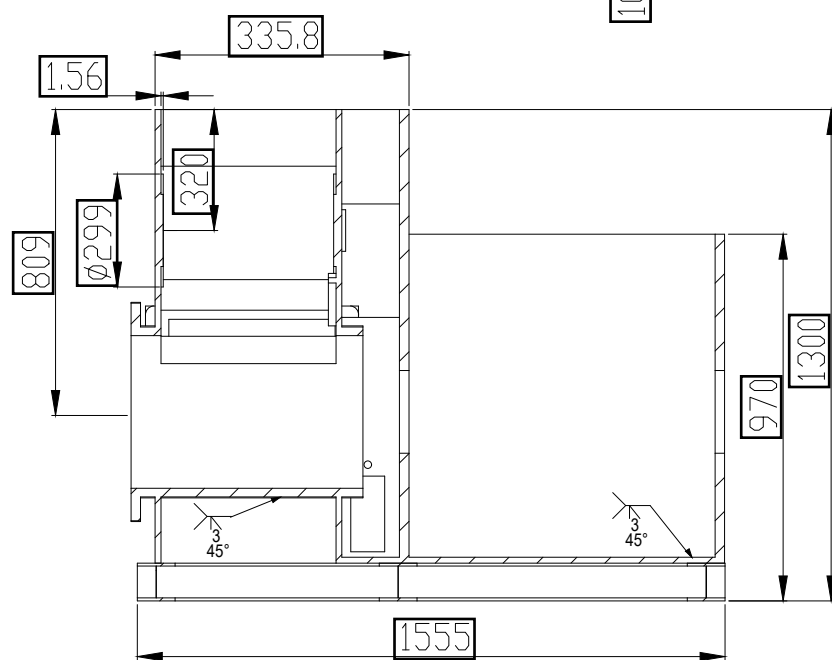
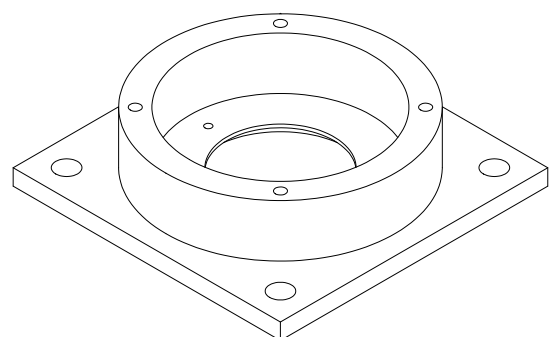
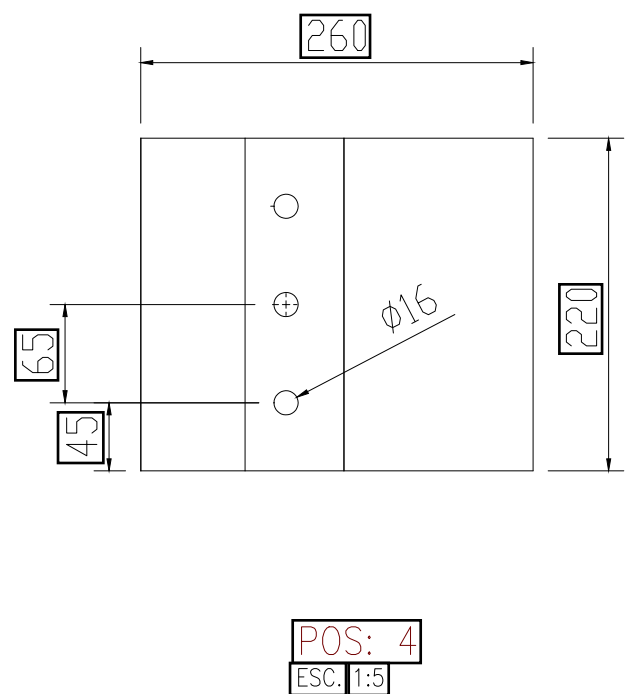
Anexo 6. Planos del modelo actual y modelo mejorado



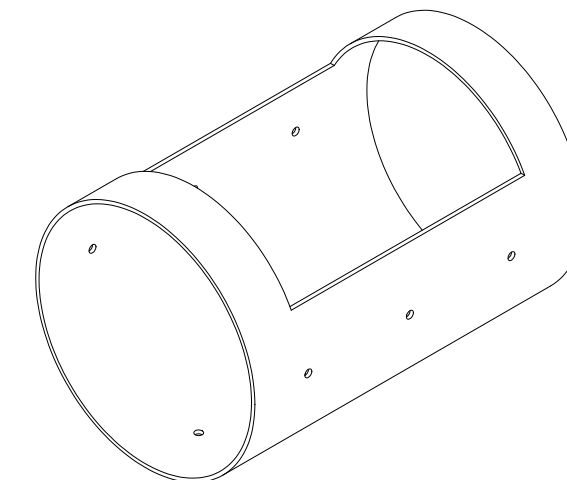
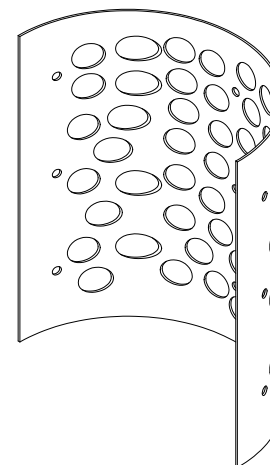
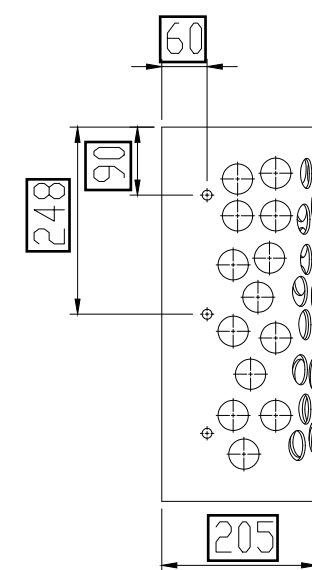
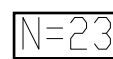
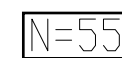
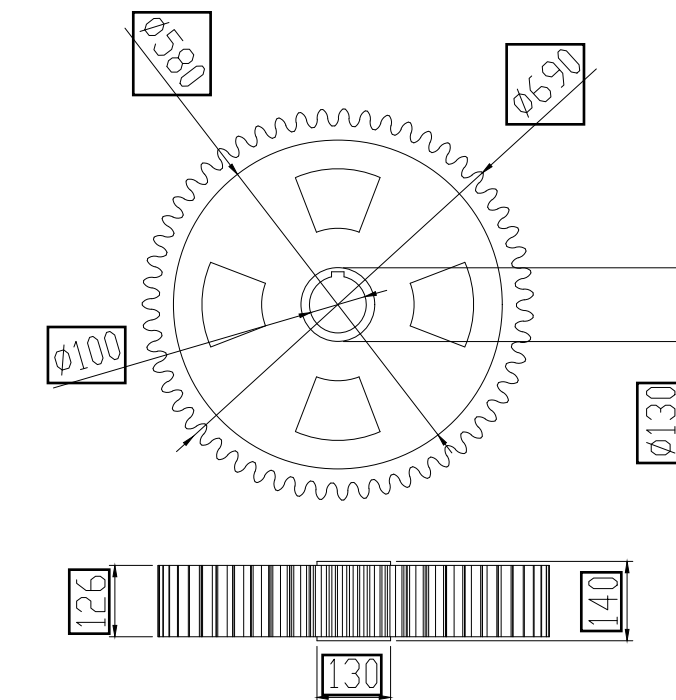
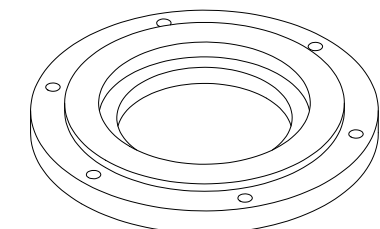
VISTA DE SECCION "A-A" ENSAMBLE DE EXTRUSORA

Esc. 1:7

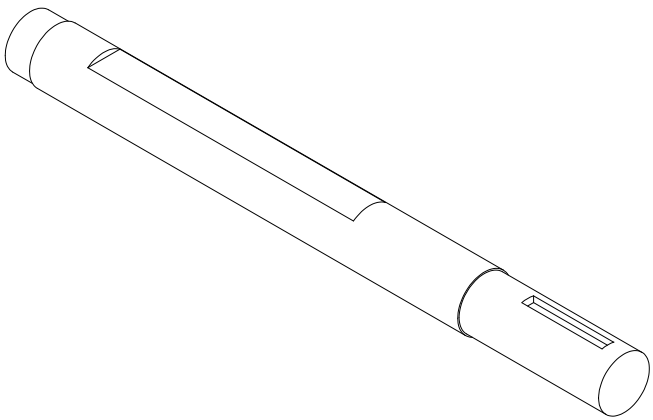
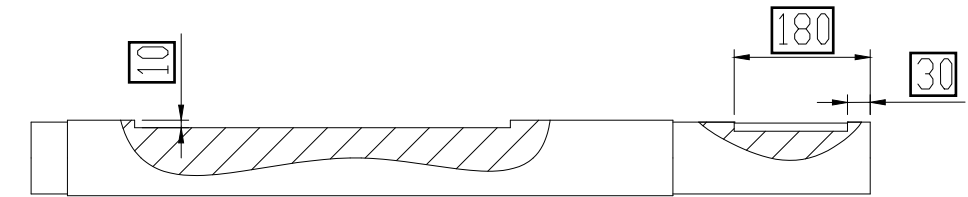
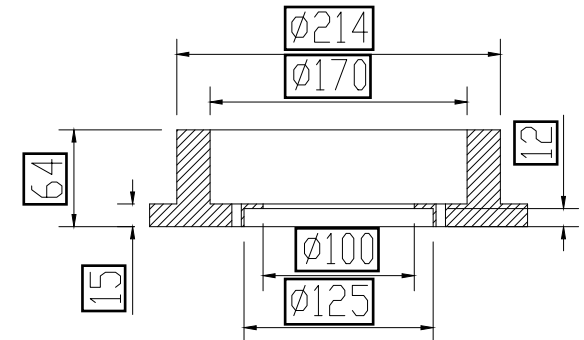
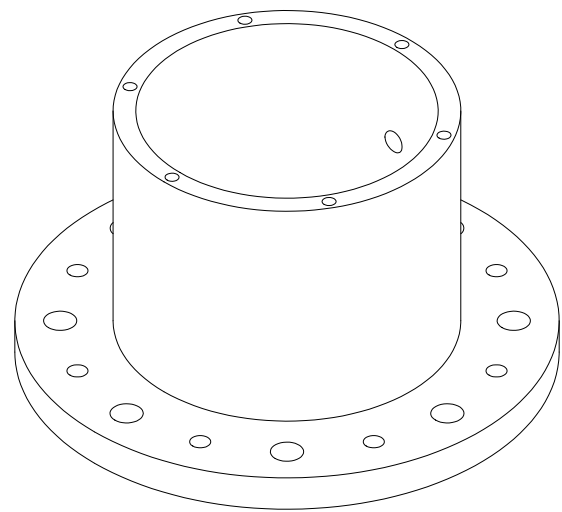
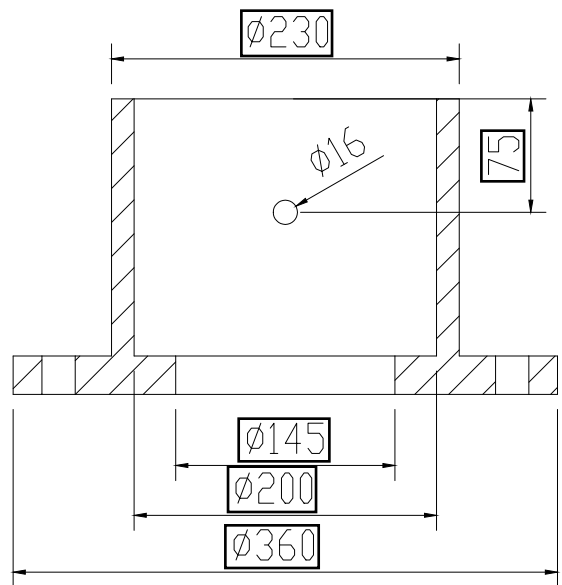
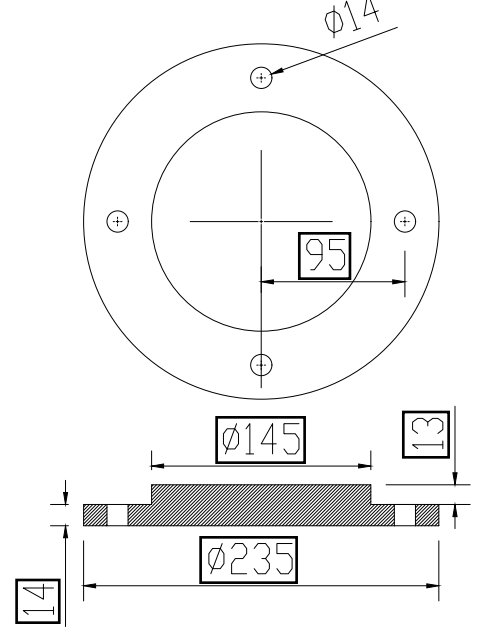
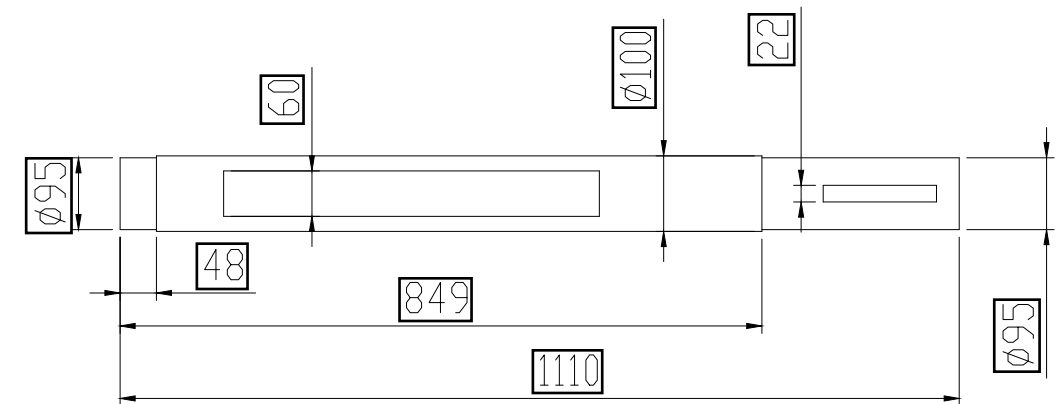
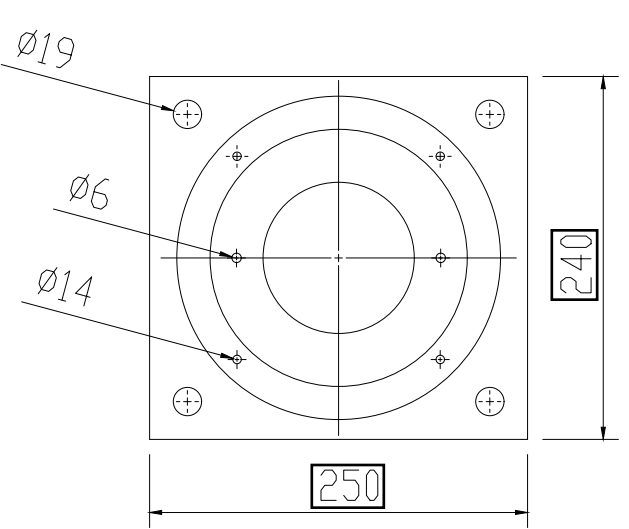
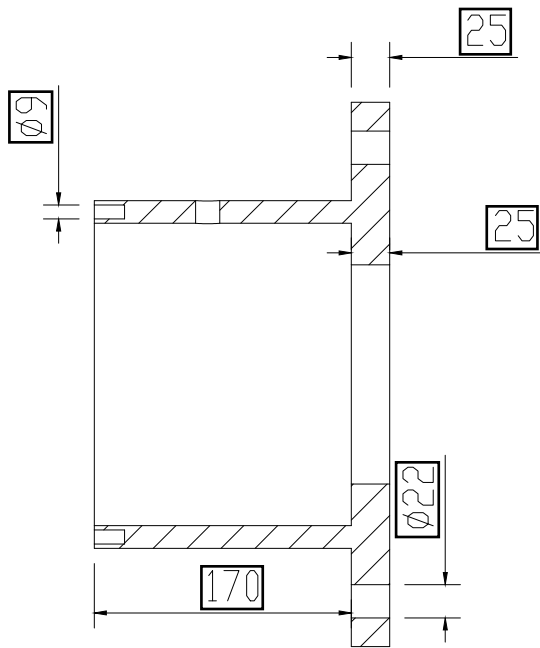
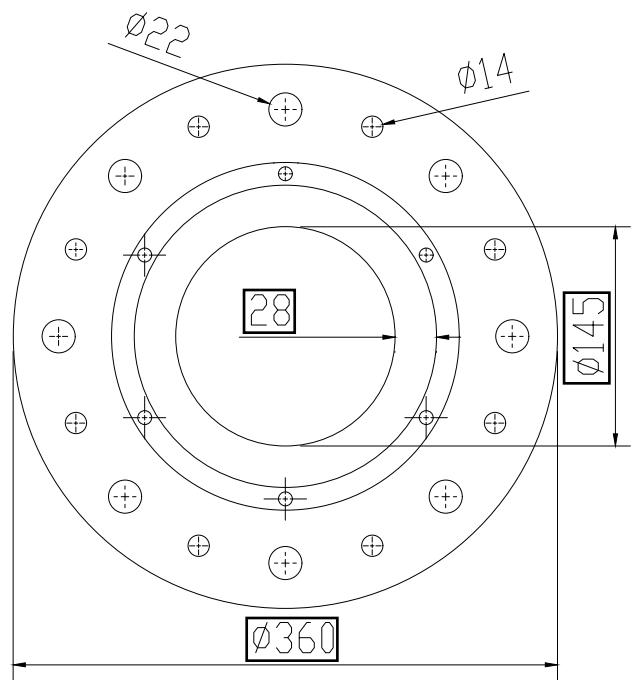
30	EJE PRINCIPAL	Ø115 X Ø115 X 2050	ACERO AL CARBONO 0.45%	SAE 1045	139.68
29	HELICOIDAL	Ø78 X 180 X1268	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	70.72
28	PIÑON	Ø 267	ACERO ALEADO DE ALTA RESISTENCIA	AISI 4340 / VCN-320	29.16
27	PIÑON	Ø 230	ACERO ALEADO DE ALTA RESISTENCIA	AISI 4340 / VCN-320	23.30
26	PIÑON	Ø 690	ACERO ALEADO DE ALTA RESISTENCIA	AISI 4340 / VCN-320	61.14
25	SOPORTE DE POLEA	50 X 200 X 974	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	74.39
24	CONTRAEJE	Ø95 X Ø95 X 1300	ACERO AL CARBONO 0.45%	SAE 1045	77.16
23	EJE SECUNDARIO	Ø95 X Ø95 X 809	ACERO AL CARBONO 0.45%	SAE 1045	47.51
22	TAPA DE VACÍO	15 X 100 X 410	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	11.89
21	TAPA DE SOPORTE INTERNO DE RODAJE	16 X 147 X 214	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	12.65
20	TAPA DE BRIDA	51 X 140 X 200	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	4.18
19	TAPA DE BRIDA	27 X 145 X 235	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	3.32
18	EJE CALCADOR	Ø95 X Ø95 X 1110	ACERO AL CARBONO 0.45%	SAE 1045	24.36
17	SOPORTE INTERNO DE RODAJE	64 X 125 X 214	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	10.67
16	SOPORTE DE RODAJE	195 X 230 X 360	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	29.58
15	CHAQUETA CHASIS	6 X 410 X 437	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	28.75
14	CHAQUETA CABEZAL	6 X 410 X 495	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	5.65
13	BRIDA	25 X 185 X 230	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	4.76
ITEM		DESCRIPCION			PESO
EMPRESA:		MATERIAL			NORMA
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA		TAMANO DE FORMATO: A2			
		U.M: mm			



	7	POLEA	165 X 187 X 1195	ACERO ALEADO DE ALTA RESISTENCIA								AISI 4340 / VCN-320				177.04	
	6	CUERPO CHASIS	1300 X 1300 X 1555	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO								ASTM A-36				1656.18	
	5	SOPORTE INTERNO DE RODAJE	64 X 125 X 214	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO								ASTM A-36				10.91	
	4	CALCADOR	100 X 220 X 260	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO								ASTM A-36				24.36	
	3	SOPORTE DE RODAJE	195 X 230 X 360	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO								ASTM A-36				56.68	
	2	CABEZAL EXTRUSORA	205 X 495 X 580	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO								ASTM A-36				240.49	
	1	BASE EXTRUSORA	100 X 1300 X 1555	ACERO ESTRUCTURAL ALTA RESISTENCIA								ASTM A-572 Gr 50				98.50	
ITEM		DESCRIPCION			MATERIAL										NORMA		PESO
EMPRESA:			LONGITUD min/máx	0 6	6 30	30 120	120 315	315 1000	1000 2000	2000 4000	4000 8000	8000 12000	12000 15000	TAMANO DE FORMATO: A2			
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA			TOLERANCIA (mm)	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2	±3	±4	±5	U.M.: mm			
	ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA MECÁNICA		CLASE DE RUGOSIDAD	N12	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1		
	DIBUJADO: JUAN RODRIGUEZ DIEGO BLONDET		VALOR DE LA RUGOSIDAD (MICRAS)	50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	.05	.025		
			REVISADO: 02/11/2025														
			REVISADO: ING. NELVER ESCALANTE		NÚMERO DE PLANO: 3/7												
DESPIECE 1 -M1																	



13	CHAQUETA CHASIS	6 X 410 X 437	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	28.75											
14	CHAQUETA CABEZAL	6 X 410 X 495	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	5.65											
13	BRIDA	25 X 185 X 230	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	4.76											
12	PIÑON	Ø 320	ACERO ALEADO DE ALTA RESISTENCIA	AISI 4340 / VCN-320	61.14											
11	PIÑON	Ø 690	ACERO ALEADO DE ALTA RESISTENCIA	AISI 4340 / VCN-320	219.12											
10	PIÑON	Ø 240	ACERO ALEADO DE ALTA RESISTENCIA	AISI 4340 / VCN-320	26.08											
9	TROMPA EXTRUSORA	355 X 600 X 660	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	345.20											
8	TAPA DE SOPORTE INTERNO DE RODAJE	20 X 145 X 214	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	6.38											
ITEM	DESCRIPCION		MATERIAL							NORMA			PESO			
EMPRESA:			LONGITUD min/máx	Ø 6	6 30	30 120	120 315	315 1000	1000 2000	2000 4000	4000 8000	8000 12000	12000 15000	TAMANO DE FORMATO: A2		
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA			TOLERANCIA (mm)	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2	±3	±4	±5	U.m: mm		
	ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA MECÁNICA		CLASE DE RUGOSIDAD	N12	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1	
	DIBUJADO: JUAN RODRIGUEZ DIEGO BLONDET	REVISADO: ING. NELVER ESCALANTE	VALOR DE LA RUGOSIDAD (MICRAS)	50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	.05	.025	
			NOMBRE:													
			DESPIECE 2 -M1													
			REVISADO: 02/11/2025													
			NÚMERO DE PLANO: 4/7													

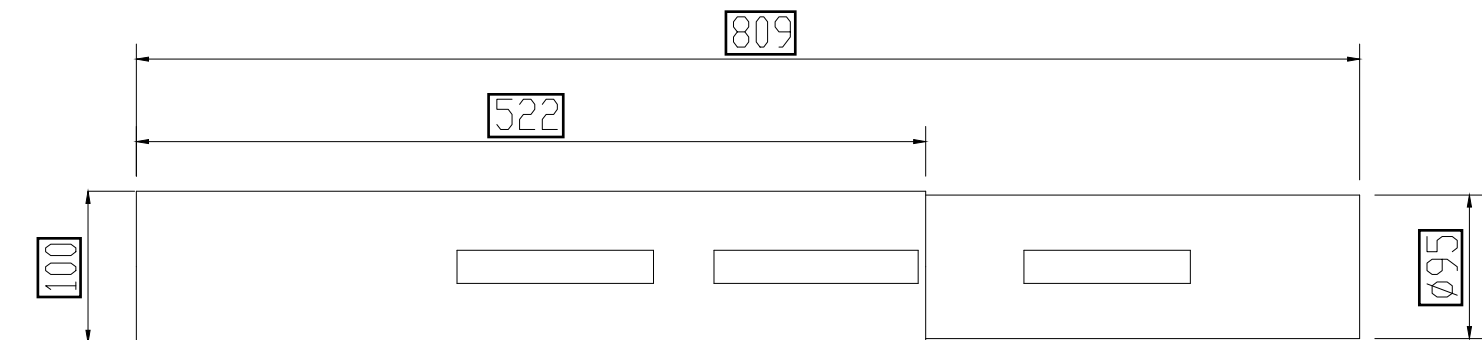
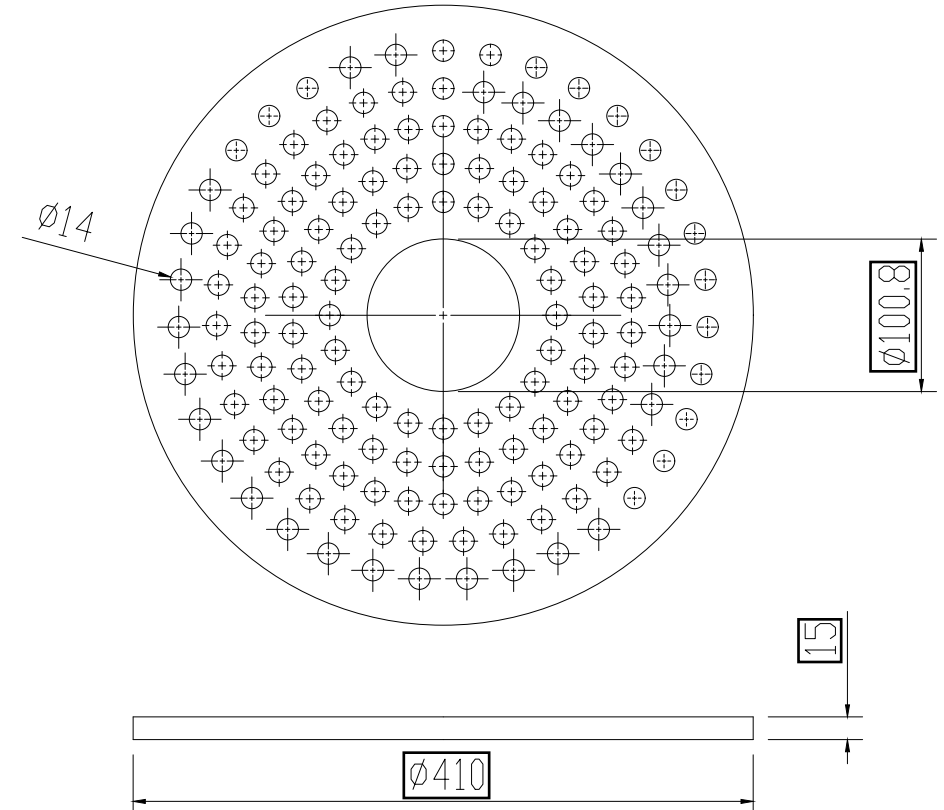
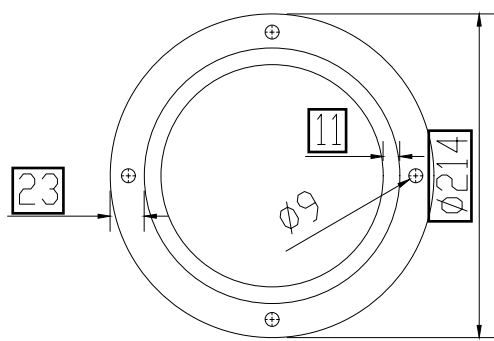
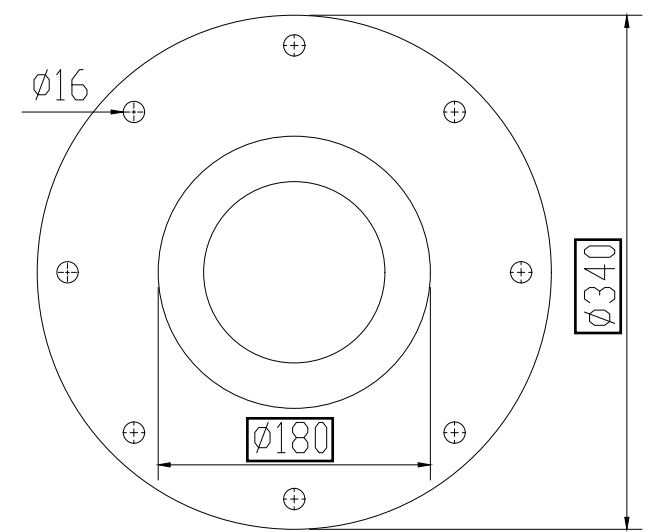


POS: 19
ESC. 1:4

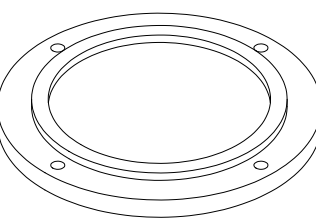
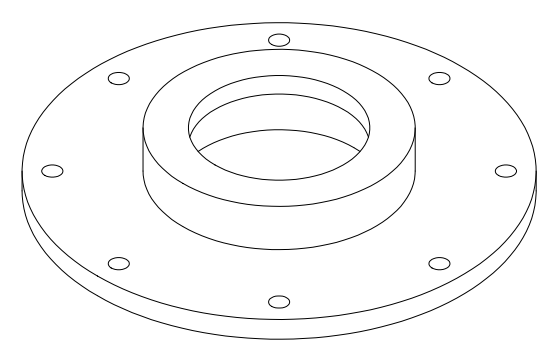
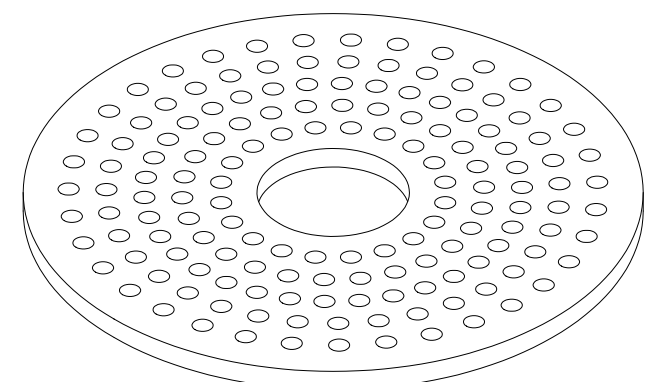
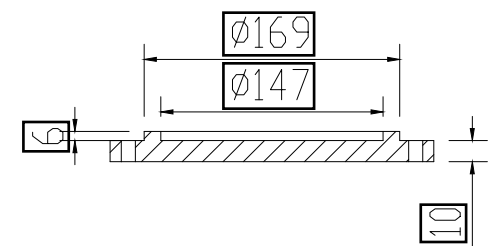
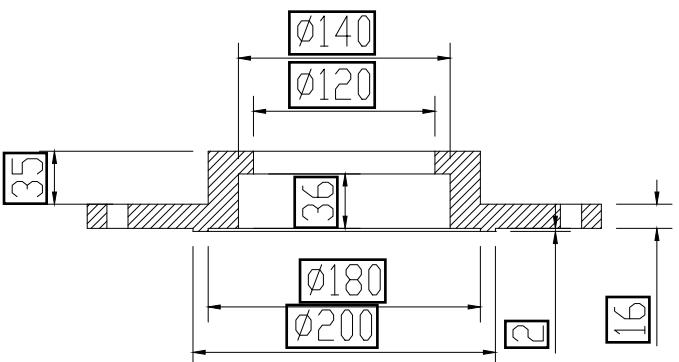
POS: 16
ESC. 1:5

POS: 17
ESC. 1:10

POS: 18
ESC. 1:10



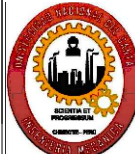
POS: 23
ESC. 1:4



POS: 21
ESC. 1:4

POS: 22
ESC. 1:4

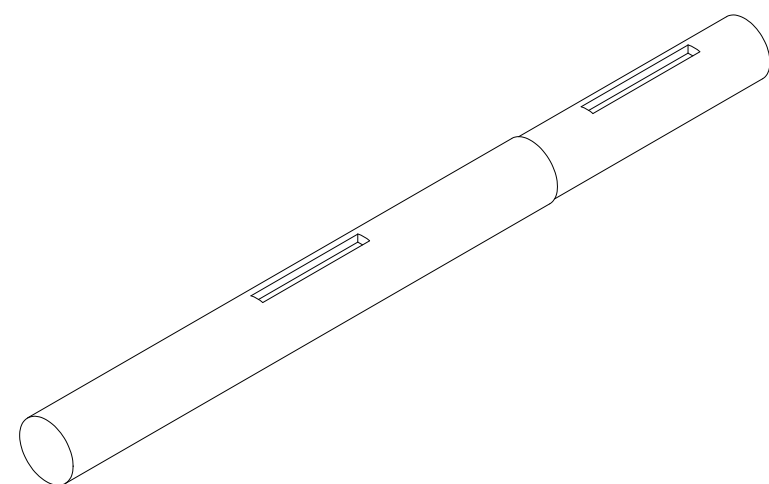
POS: 20
ESC. 1:4

23	EJE SECUNDARIO	Ø95 X Ø95 X 809	ACERO AL CARBONO 0.45%	SAE 1045	47.51											
22	TAPA DE VACÍO	15 X 100 X 410	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	11.89											
21	TAPA DE SOPORTE INTERNO DE RODAJE	16 X 147 X 214	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	12.65											
20	TAPA DE BRIDA	51 X 140 X 200	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	4.18											
19	TAPA DE BRIDA	27 X 145 X 235	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	3.32											
18	EJE CALCADOR	Ø95 X Ø95 X 1110	ACERO AL CARBONO 0.45%	SAE 1045	24.36											
17	SOPORTE INTERNO DE RODAJE	64 X 125 X 214	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	10.67											
16	SOPORTE DE RODAJE	195 X 230 X 360	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	29.58											
ITEM	DESCRIPCION		MATERIAL				NORMA				PESO					
EMPRESA:		LONGITUD min/máx	0 6	6 30	30 120	120 315	315 1000	1000 2000	2000 4000	4000 8000	8000 12000	12000 15000	TAMAÑO DE FORMATO: A2			
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA		TOLERANCIA (mm)	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2	±3	±4	±5	U.M:	mm		
	ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA MECÁNICA		CLASE DE RUGOSIDAD	N12	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1	
			VALOR DE LA RUGOSIDAD (MICRAS)	50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	.05	.025	REVISADO: 02/11/2025
	DIBUJADO: JUAN RODRIGUEZ DIEGO BLONDET		REVISADO: ING. NELVER ESCALANTE	NOMBRE:												
			DESPIECE 3 -M1												NÚMERO DE PLANO: 5/7	



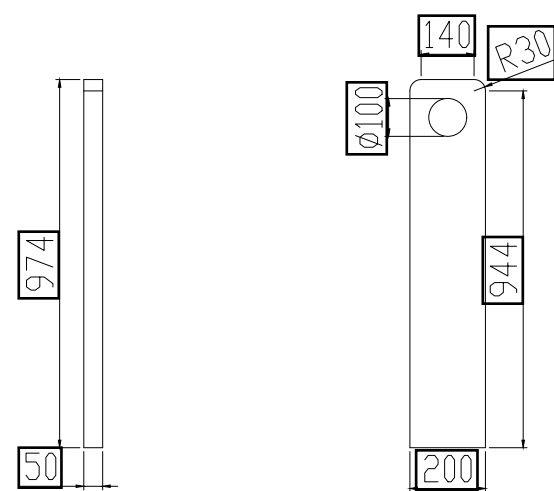
ESCUELA PROFESIONAL:
INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJADO:
JUAN RODRIGUEZ
DIEGO BLONDET
REVISADO:
ING. NELVER
ESCALANTE

DESPIECE 3 -M1



Technical drawing of a rectangular plate. The drawing shows a rectangle with a horizontal dimension of 267 and a vertical dimension of 105. The dimensions are indicated by arrows and labeled with the numbers 267 and 105 respectively.

A diagram of a circular disk with a central hole. A dimension line on the right indicates a radius of 379.

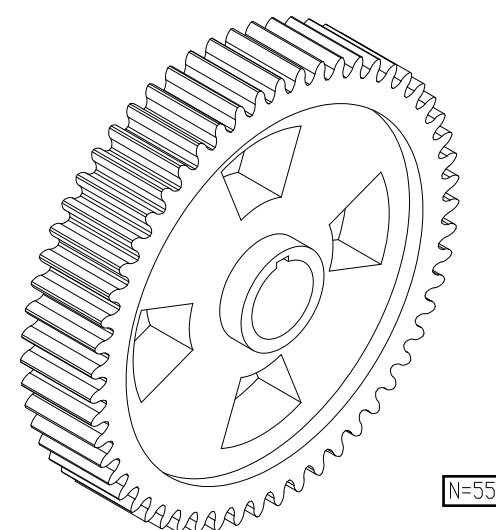
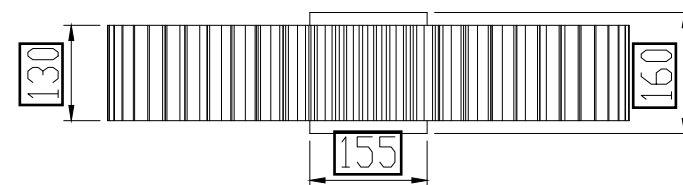


Technical drawing of a worm gear. The drawing shows the profile of the gear teeth and the throat. Dimensions are indicated as follows:

- Length: 1268
- Pitch Diameter: 137
- Throat Diameter: 79

Technical drawing of a gear with the following dimensions:

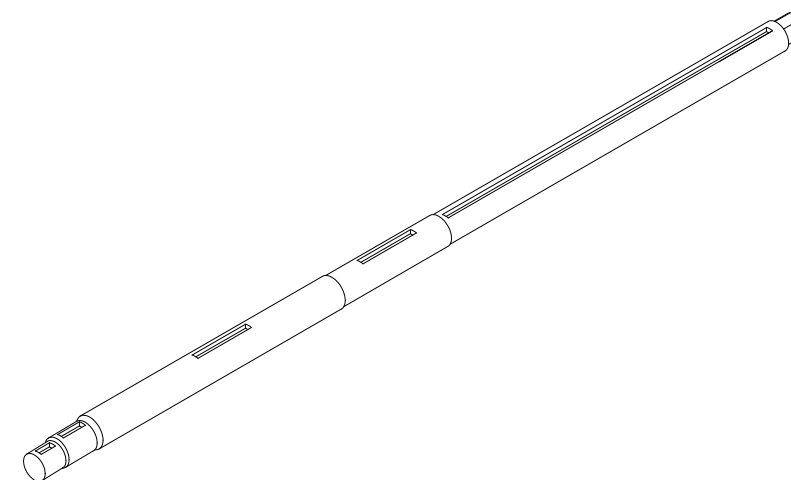
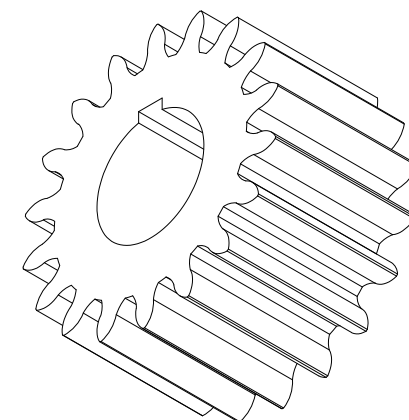
- Outer Diameter: $\phi 114.8$
- Pitch Diameter: $\phi 155$
- Addendum Circle Diameter: $\phi 169.0$
- Root Circle Diameter: $\phi 55.5$



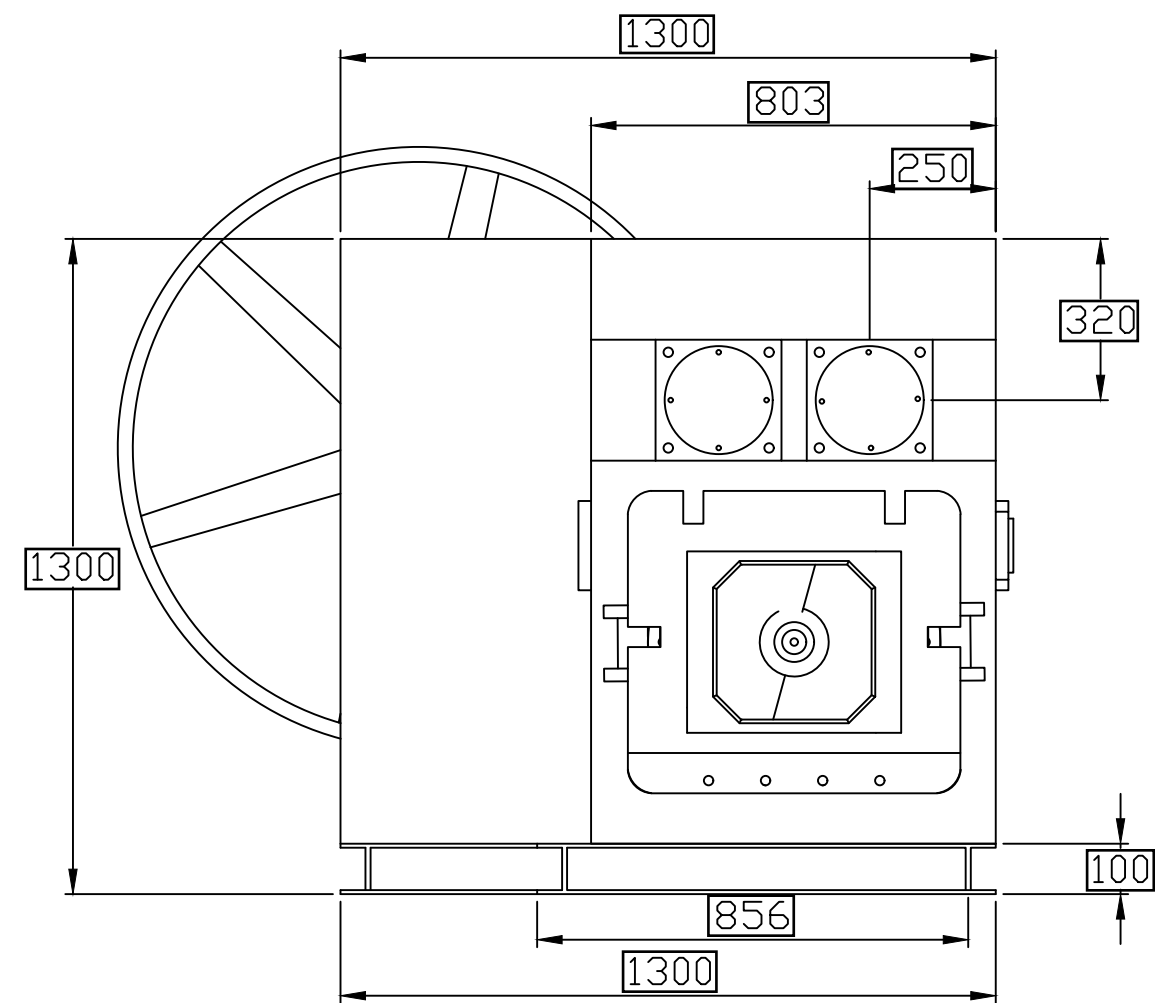
The diagram illustrates the relationship between the number of nodes (N) and the number of links (L) for a network. The left bar represents N with a total value of 2050, and the right bar represents L with a total value of 50. The segments of the bars are labeled with their respective values, and arrows indicate the mapping from the left bar to the right bar.

Segment	Value	Mapping to L
1	60	3
2	90	607
3	110	210
4	114.8	1030
5	110	84.46
6	100.8	50
7	84.46	-

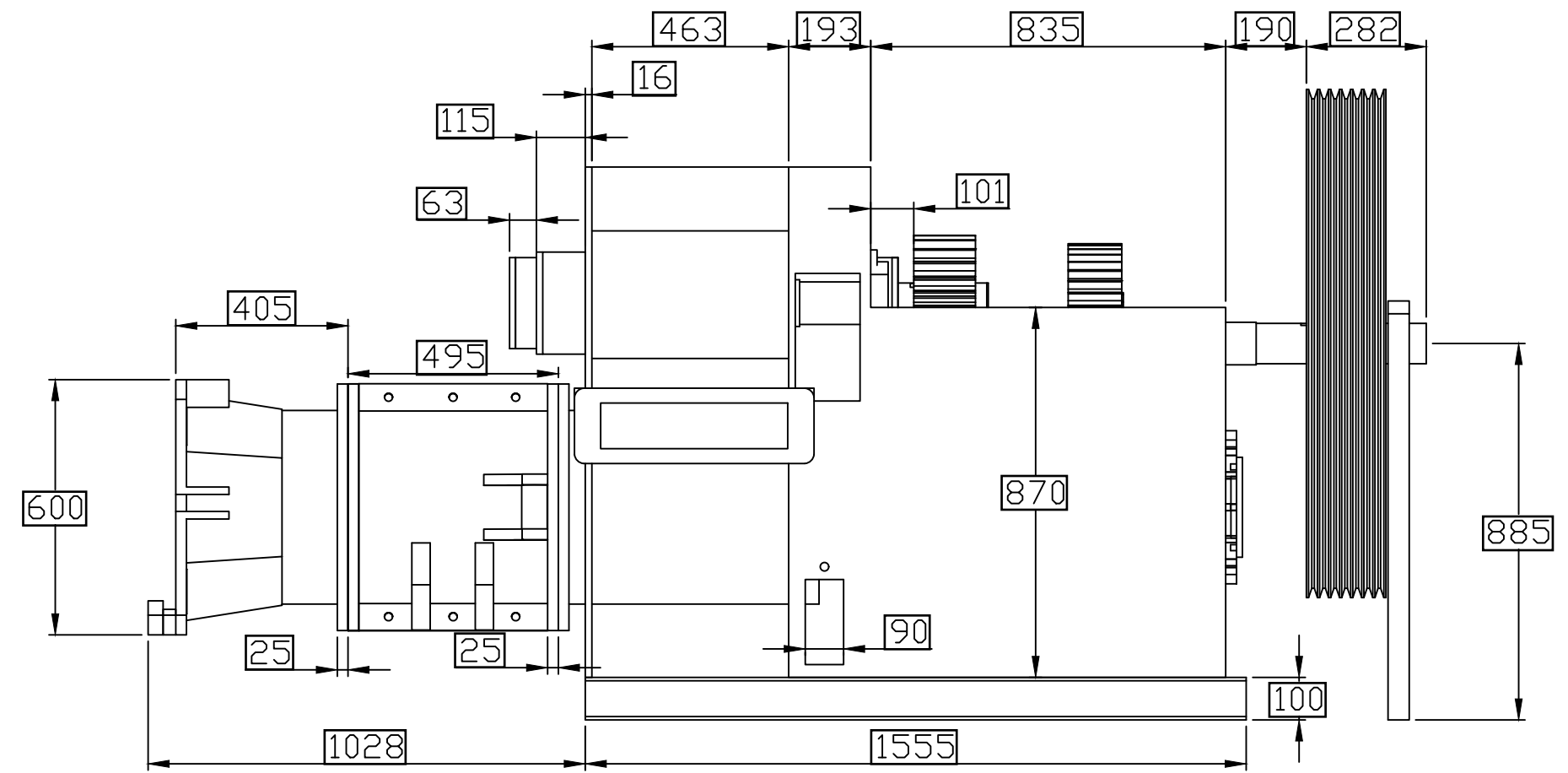
POS: 27
ESC. 1:5



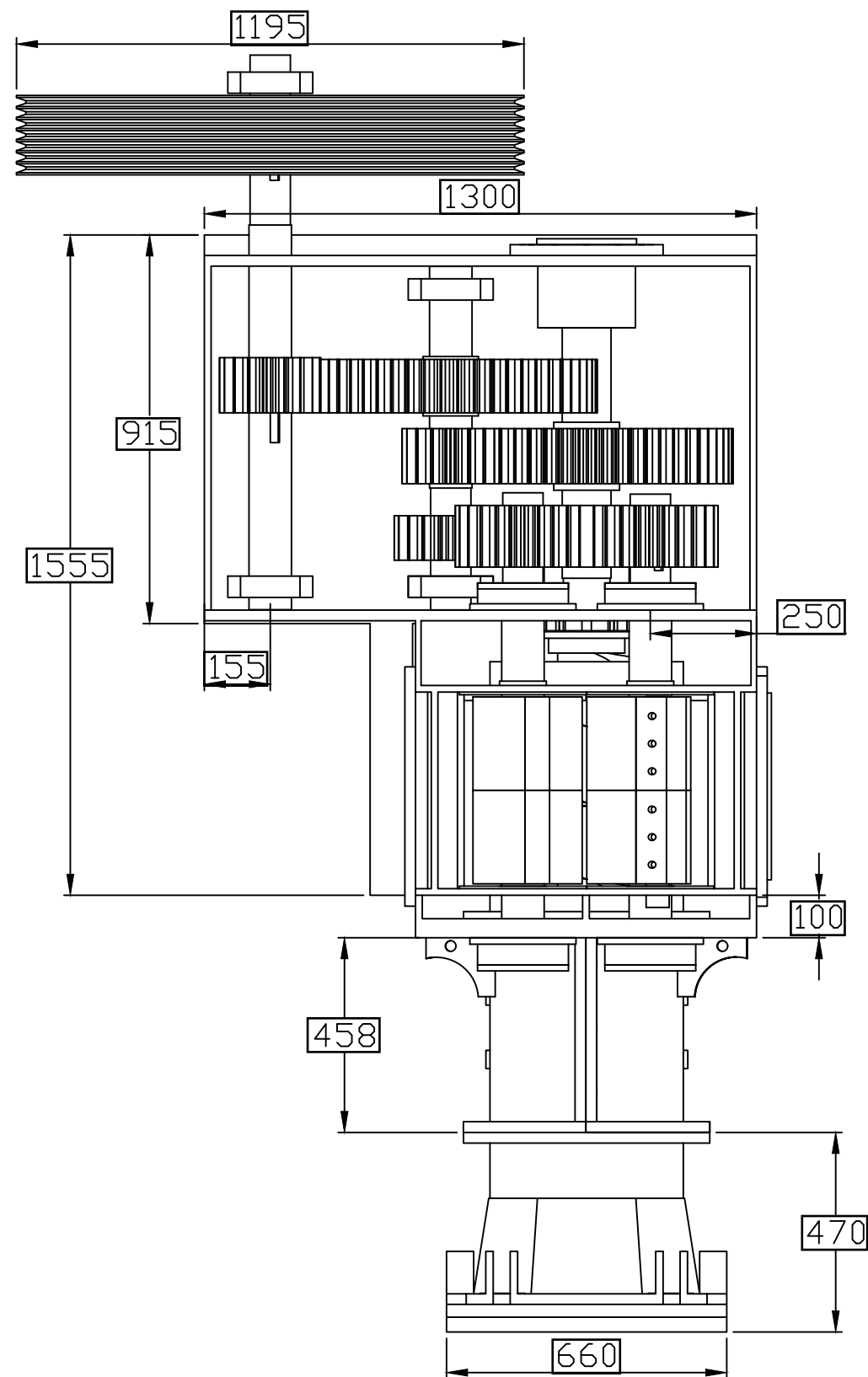
30	EJE PRINCIPAL	Ø115 X Ø115 X 1268	ACERO AL CARBONO 0.45%							SAE 1045		139.72					
29	HELICOIDAL	Ø78 X 180 X 1268	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO							ASTM A-36		70.72					
28	PIÑON	Ø 267	ACERO ALEADO DE ALTA RESISTENCIA							AISI 4340 / VCN-320		29.16					
27	PIÑON	Ø 230	ACERO ALEADO DE ALTA RESISTENCIA							AISI 4340 / VCN-320		23.30					
26	PIÑON	Ø 690	ACERO ALEADO DE ALTA RESISTENCIA							AISI 4340 / VCN-320		61.14					
25	SOPORTE DE POLEA	50 X 200 X 974	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO							ASTM A-36		74.39					
24	CONTRAEJE	Ø95 X Ø95 X 1300	ACERO AL CARBONO 0.45%							SAE 1045		77.16					
ITEM	DESCRIPCION		MATERIAL												NORMA		PESO
EMPRESA:			LONGITUD mm/máx		0	6	30	30	120	315	1000	2000	4000	8000	12000	15000	TAMANO DE FORMATO: A2
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA			TOLERANCIA (mm)		+0.1	+0.2	+0.3	+0.5	+0.8	+1.2	+2	+3	+4	+5	U.M.	mm	
			ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA MECÁNICA														
DIBUJADO: JUAN RODRIGUEZ DIEGO BLONDET			REVISADO: ING. NELVER ESCALANTE														
			CLASE DE RUGOSIDAD VALOR DE LA RUGOSIDAD (MICRAS) NOMBRE:		N12	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1	 REVISADO: 02/11/2025 NÚMERO DE PLANO:
					50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	.05	.025	
DESPIECE 4 -M1																	
6/7																	



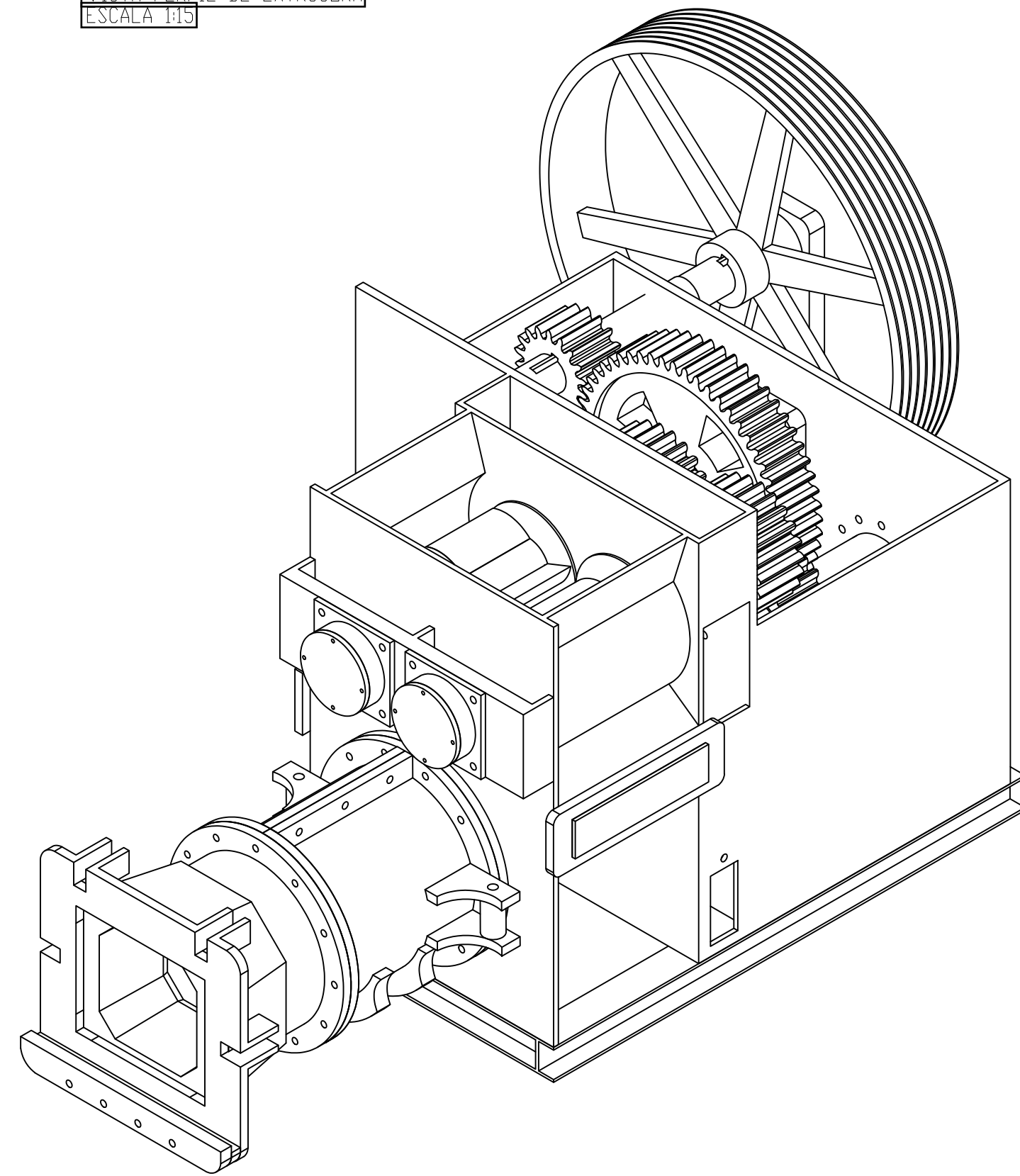
VISTA FRONTAL DE EXTRUSORA
ESCALA 1:15



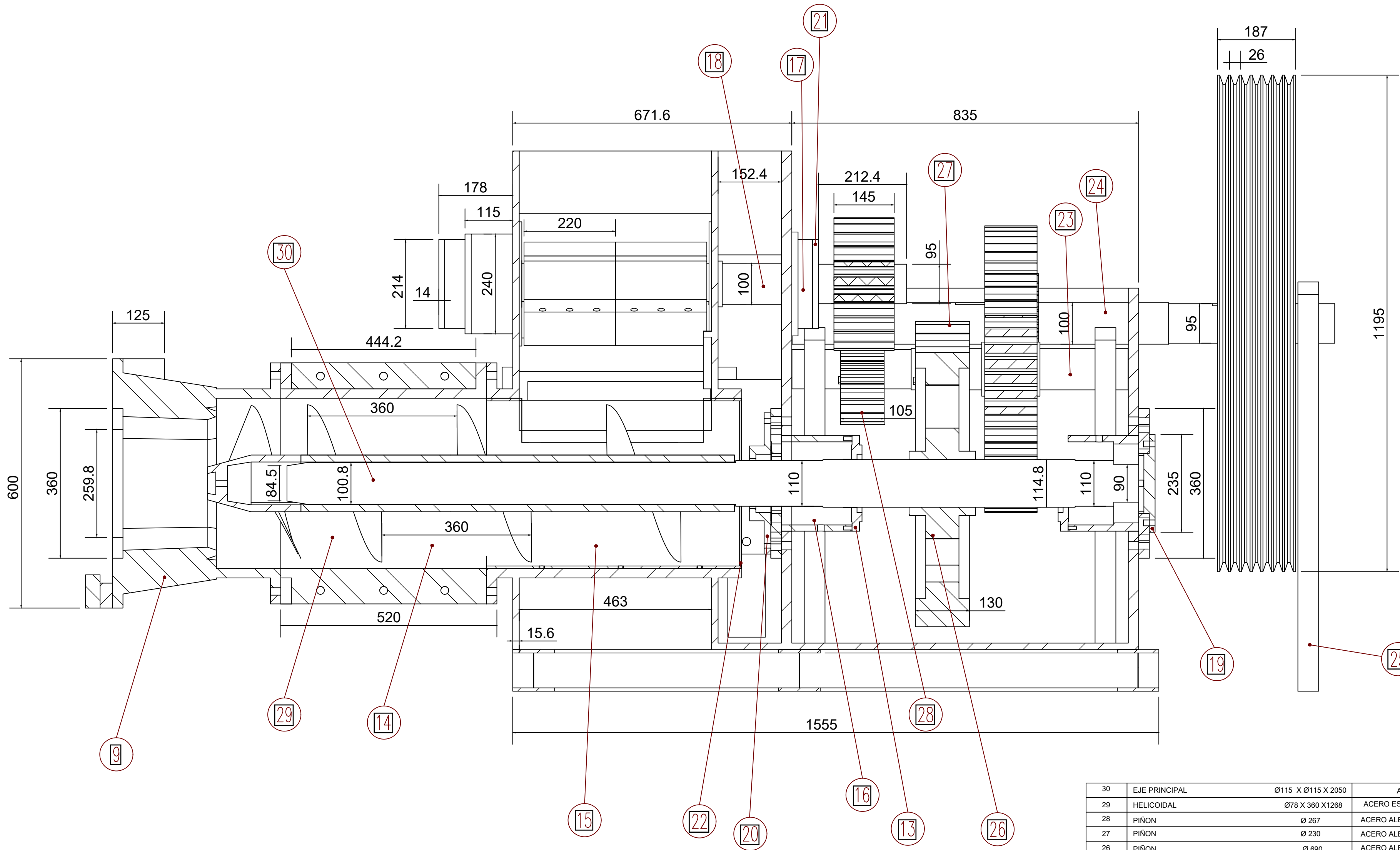
VISTA PERFIL DE EXTRUSORA
ESCALA 1:15



VISTA PLANTA DE EXTRUSORA
ESCALA 1:15

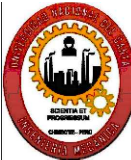


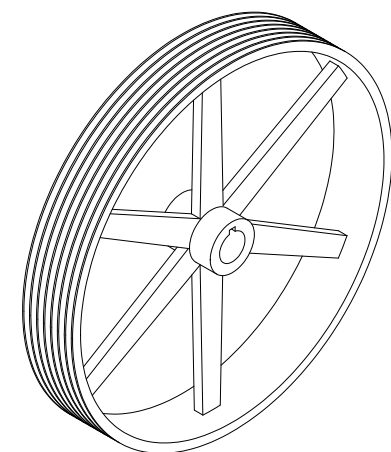
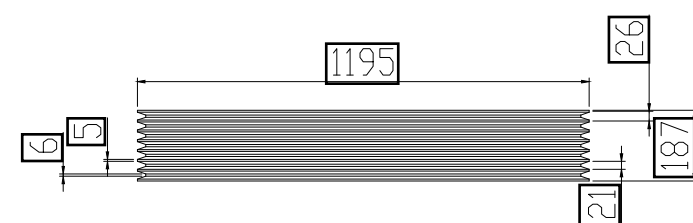
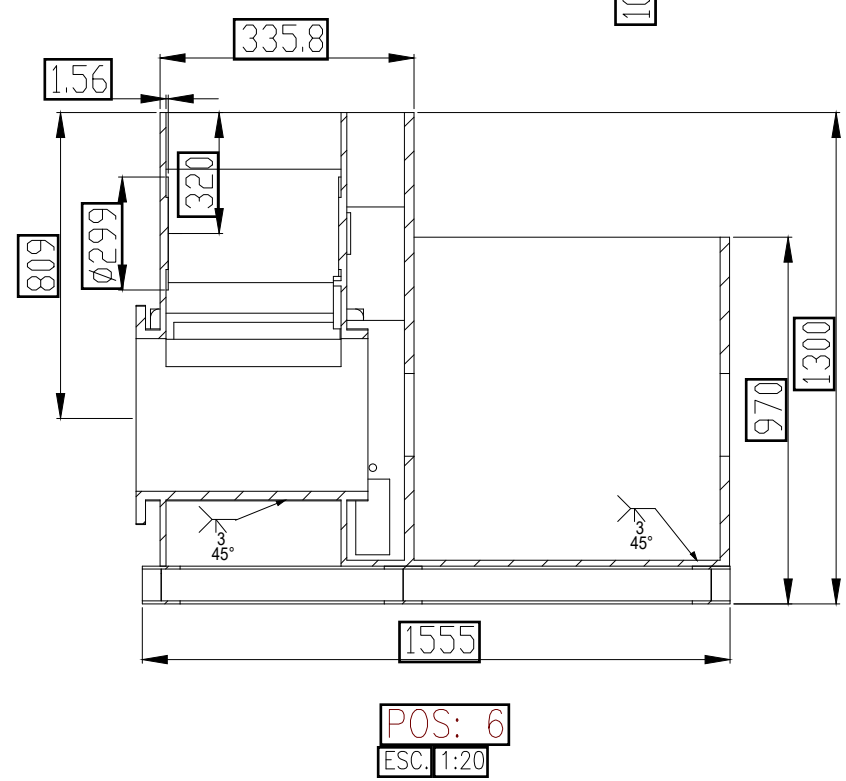
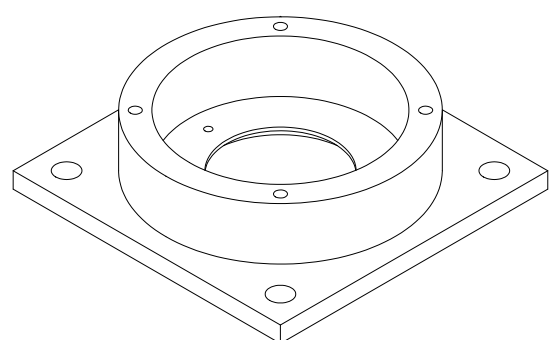
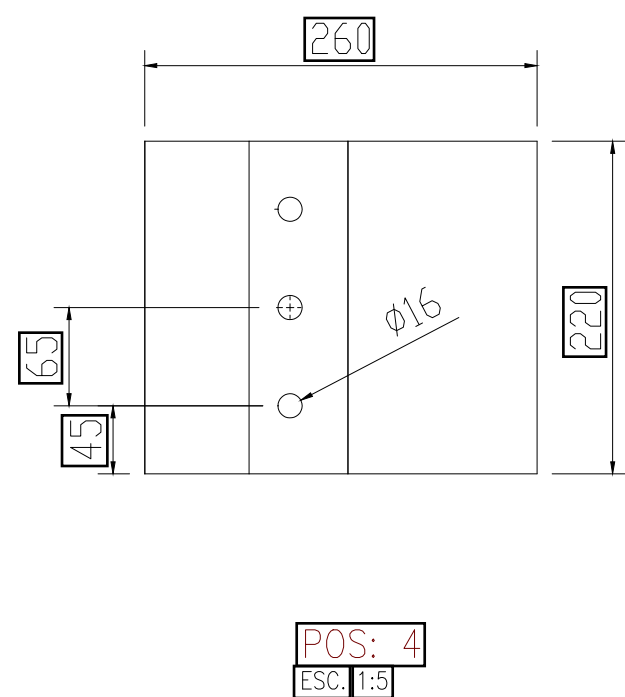
EMPRESA:		UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA												TAMANO DE FORMATO:	
ESCUELA PROFESIONAL:		INGENIERÍA MECÁNICA												A2	
DIBUJADO:		JUAN RODRIGUEZ												REVISADO:	
DIEGO BLONDET		ING. NELVER												02/11/2025	
REVISADO:		DIEGO BLONDET												NÚMERO DE PLANO:	
ESCALANTE		ISOMETRICO Y VISTAS DE EXTRUSORA (M1)												7/7	



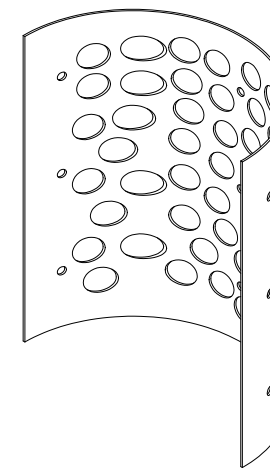
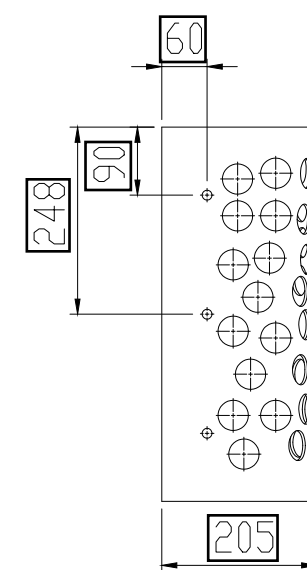
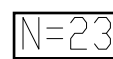
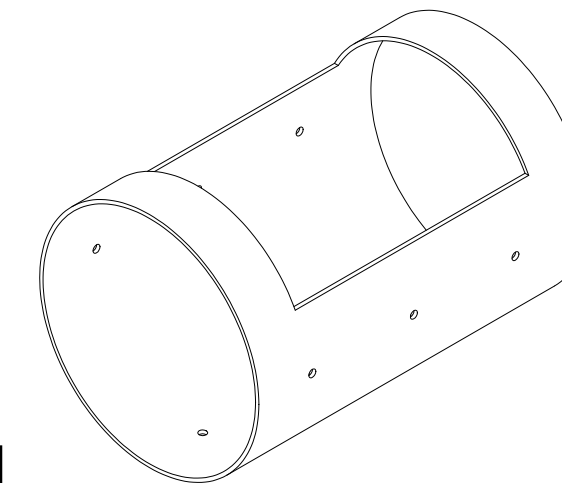
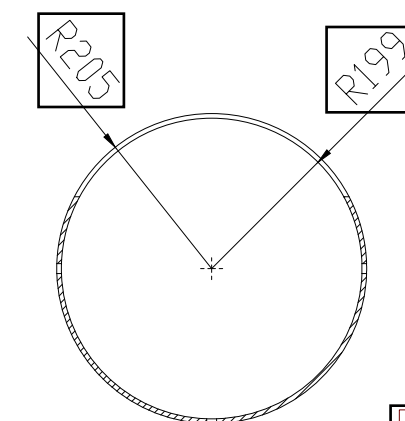
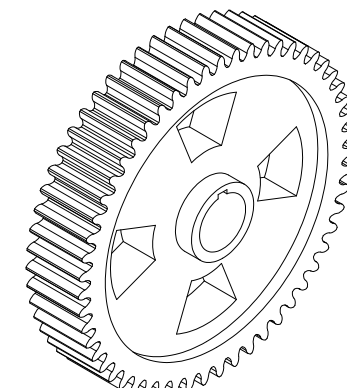
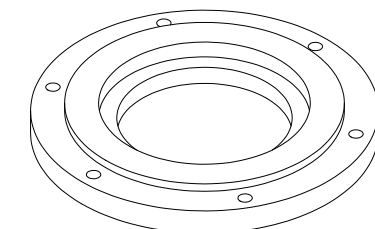
VISTA DE SECCION "A-A" ENSAMBLE DE EXTRUSORA

Esc. 1:7

30	EJE PRINCIPAL	Ø115 X Ø115 X 2050	ACERO AL CARBONO 0.45%	SAE 1045	139.68														
29	HELICOIDAL	Ø78 X 360 X1268	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	65.72														
28	PIÑON	Ø 267	ACERO ALEADO DE ALTA RESISTENCIA	AISI 4340 / VCN-320	29.16														
27	PIÑON	Ø 230	ACERO ALEADO DE ALTA RESISTENCIA	AISI 4340 / VCN-320	23.30														
26	PIÑON	Ø 690	ACERO ALEADO DE ALTA RESISTENCIA	AISI 4340 / VCN-320	61.14														
25	SOPORTE DE POLEA	50 X 200 X 974	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	74.39														
24	CONTRAEJE	Ø95 X Ø95 X 1300	ACERO AL CARBONO 0.45%	SAE 1045	77.16														
23	EJE SECUNDARIO	Ø95 X Ø95 X 809	ACERO AL CARBONO 0.45%	SAE 1045	47.51														
22	TAPA DE VACÍO	15 X 100 X 410	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	11.89														
21	TAPA DE SOPORTE INTERNO DE RODAJE	16 X 147 X 214	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	12.65														
20	TAPA DE BRIDA	51 X 140 X 200	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	4.18														
19	TAPA DE BRIDA	27 X 145 X 235	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	3.32														
18	EJE CALCADOR	Ø95 X Ø95 X 1110	ACERO AL CARBONO 0.45%	SAE 1045	24.36														
17	SOPORTE INTERNO DE RODAJE	64 X 125 X 214	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	10.67														
16	SOPORTE DE RODAJE	195 X 230 X 360	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	29.58														
15	CHAQUETA CHASIS	6 X 410 X 437	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	28.75														
14	CHAQUETA CABEZAL	6 X 410 X 495	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	5.65														
13	BRIDA	25 X 185 X 230	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	4.76														
ITEM		DESCRIPCION		MATERIAL		NORMA		PESO											
EMPRESA:		LONGITUD min/máx TOLERANCIA (mm)		0 6	6 30	120	315	1000	2000	4000	8000	12000	15000	TAMANO DE FORMATO: A2					
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA		±0.1			±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2	±3	±4	±5	U.M: mm					
		ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA MECÁNICA		CLASE DE RUGOSIDAD		N12	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1		
		DIBUJADO: JUAN RODRIGUEZ DIEGO BLONDET		REVISADO: ING. NELVER ESCALANTE		VALOR DE LA RUGOSIDAD (MICRAS)		50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1		.05
		NOMBRE:		VISTA DE SECCION-M2														NÚMERO DE PLANO: 2/7	



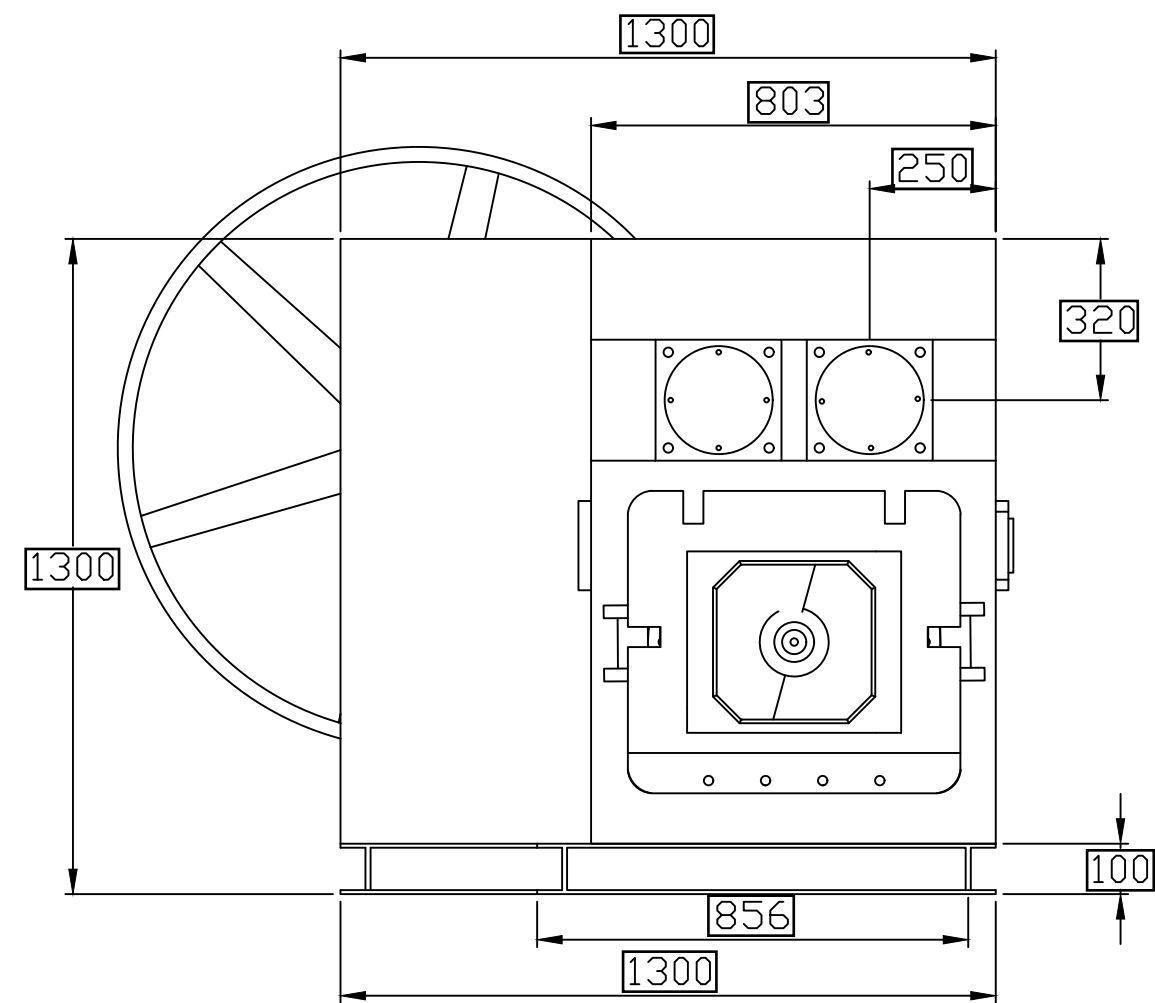
7	POLEA	165 X 187 X 1195	ACERO ALEADO DE ALTA RESISTENCIA								AIS1 4340 / VCN-320				177.04	
6	CUERPO CHASIS	1300 X 1300 X 1555	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO								ASTM A-36				1656.18	
5	SOPORTE INTERNO DE RODAJE	64 X 125 X 214	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO								ASTM A-36				10.91	
4	CALCADOR	100 X 220 X 260	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO								ASTM A-36				24.36	
3	SOPORTE DE RODAJE	195 X 230 X 360	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO								ASTM A-36				56.68	
2	CABEZAL EXTRUSORA	205 X 495 X 580	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO								ASTM A-36				240.49	
1	BASE EXTRUSORA	100 X 1300 X 1555	ACERO ESTRUCTURAL ALTA RESISTENCIA								ASTM A-572 Gr 50				98.50	
ITEM		DESCRIPCION		MATERIAL								NORMA				PESO
EMPRESA:		LONGITUD min/max		0	6	30	120	315	1000	1000	2000	4000	8000	12000	15000	TAMANO DE FORMATO:
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA		TOLERANCIA (mm)		±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2	±3	±4	±5	U.M.	mm	A2
 ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA MECÁNICA DIBUJADO: JUAN RODRIGUEZ DIEGO BLONDET REVISADO: ING. NELVER ESCALANTE		CLASE DE RUGOSIDAD		N12	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1	 REVISADO: 02/11/2025
		VALOR DE LA RUGOSIDAD (MICRAS)		50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	.05	.025	
		NOMBRE:														3/7
DESPIECE 1 -M2																



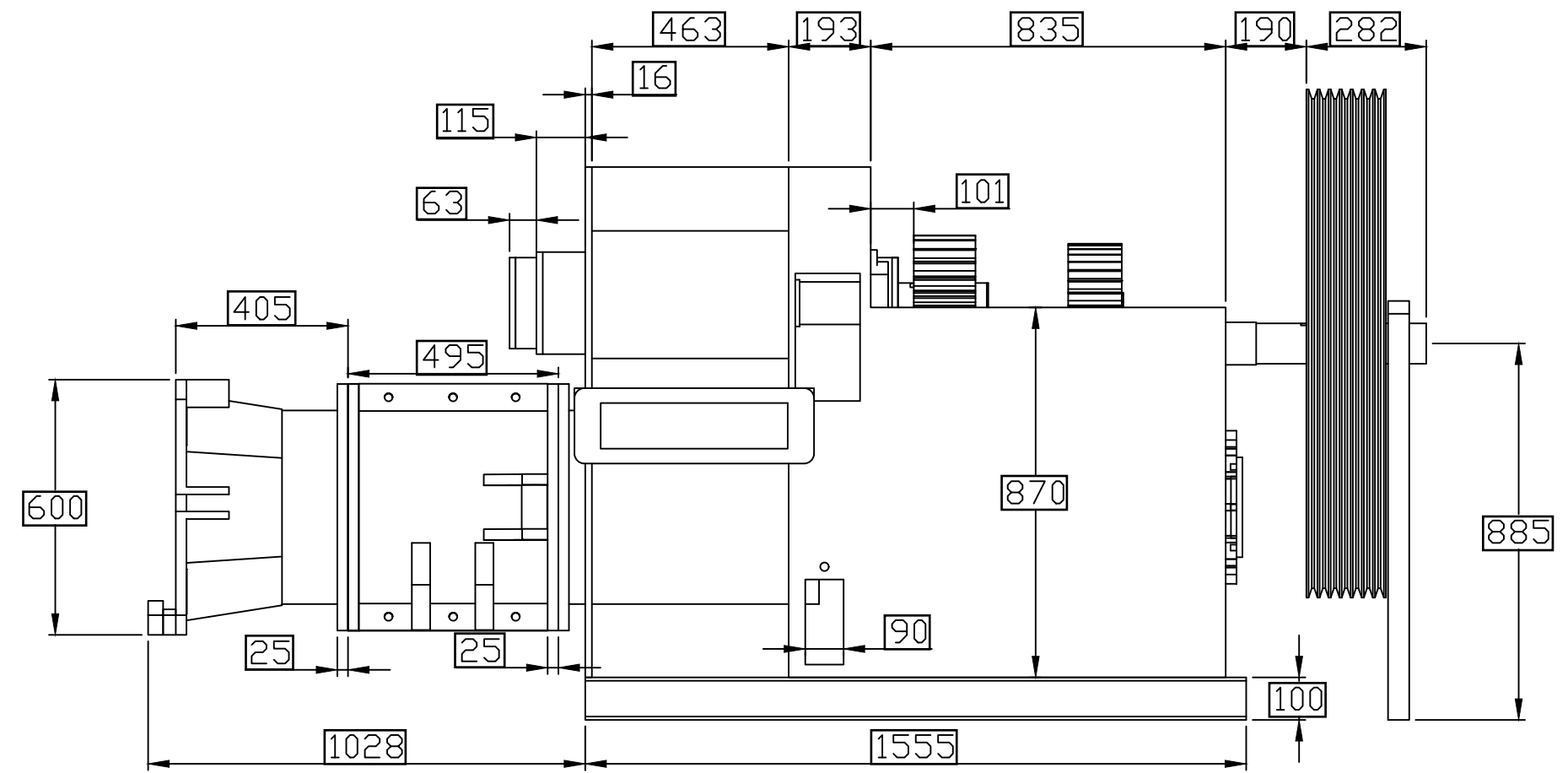
13	CHAQUETA CHASIS	6 X 410 X 437	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	28.75										
14	CHAQUETA CABEZAL	6 X 410 X 495	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	5.65										
13	BRIDA	25 X 185 X 230	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	4.76										
12	PIÑON	Ø 320	ACERO ALEADO DE ALTA RESISTENCIA	AISI 4340 / VCN-320	61.14										
11	PIÑON	Ø 690	ACERO ALEADO DE ALTA RESISTENCIA	AISI 4340 / VCN-320	219.12										
10	PIÑON	Ø 240	ACERO ALEADO DE ALTA RESISTENCIA	AISI 4340 / VCN-320	26.08										
9	TROMPA EXTRUSORA	355 X 600 X 660	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	345.20										
8	TAPA DE SOPORTE INTERNO DE RODAJE	20 X 145 X 214	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	6.38										
ITEM	DESCRIPCION		MATERIAL				NORMA				PESO				
EMPRESA:			LONGITUD	Ø	6	30	120	315	1000	2000	4000	8000	12000	TAMANO DE FORMATO:	
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA			min/máx	6	30	120	315	1000	2000	4000	8000	12000	15000	AZ	
			TOLERANCIA (mm)	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2	±3	±4	±5	U.m:	mm
			CLASE DE RUGOSIDAD	N12	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1
			VALOR DE LA RUGOSIDAD (MICRAS)	50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	.05	.025
			NOMBRE:												

23	EJE SECUNDARIO	Ø95 X Ø95 X 409	ACERO AL CARBONO 0.45%	SAE 1045	47.51													
22	TAPA DE VACÍO	15 X 100 X 410	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	11.89													
21	TAPA DE SOPORTE INTERNO DE RODAJE	16 X 147 X 214	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	12.65													
20	TAPA DE BRIDA	51 X 140 X 200	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	4.18													
19	TAPA DE BRIDA	27 X 145 X 235	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	3.32													
18	EJE CALCADOR	Ø95 X Ø95 X 1110	ACERO AL CARBONO 0.45%	SAE 1045	24.36													
17	SOPORTE INTERNO DE RODAJE	64 X 125 X 214	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	10.67													
16	SOPORTE DE RODAJE	195 X 230 X 360	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO	ASTM A-36	29.58													
ÍTEM		DESCRIPCION		MATERIAL								NORMA				PESO		
EMPRESA:		LONGITUD		0	6	30	30	120	315	315	1000	2000	4000	8000	12000	15000	TAMANO DE FORMATO:	
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA		TOLERANCIA (mm)		±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2	±3	±4	±5	U.M: mm				
ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA MECÁNICA		CLASE DE RUGOSIDAD		N12	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1			
		VALOR DE LA RUGOSIDAD (MICRAS)		50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	.05	.025	REVISADO: 02/11/2025		
DIBUJADO: JUAN RODRIGUEZ DIEGO BLONDET		REVISADO: ING. NELVER ESCALANTE		NOMBRE: DESPIECE 3 -M2												NÚMERO DE PLANO: 5/7		

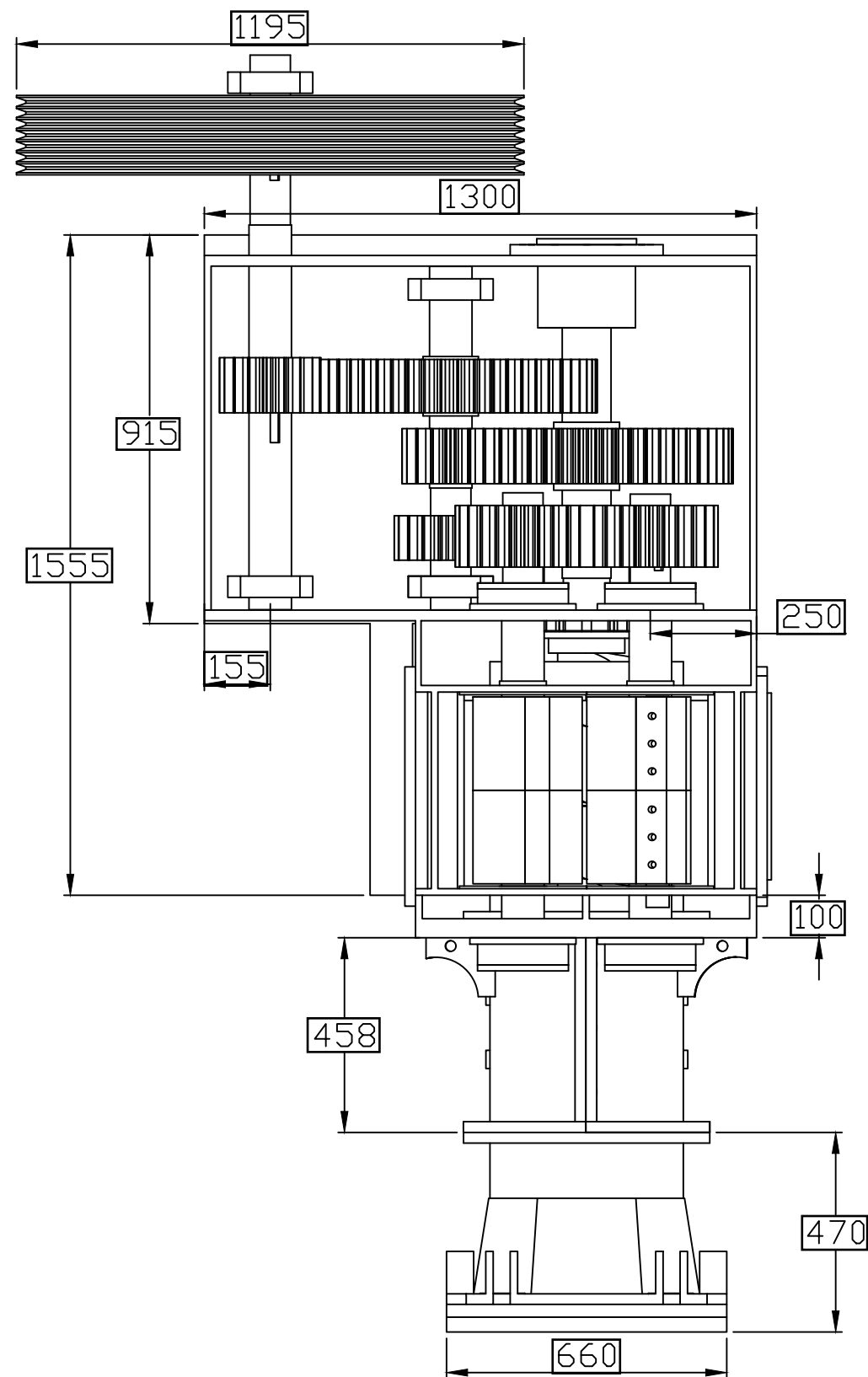
30	EJE PRINCIPAL	Ø115 X Ø115 X 1260	ACERO AL CARBONO 0.45%										SAE 1045		139.68	
29	HELICOIDAL	Ø78 X 360 X 1268	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO										ASTM A-36		65.72	
28	PIÑON	Ø 267	ACERO ALEADO DE ALTA RESISTENCIA										AISI 4340 / VCN-320		29.16	
27	PIÑON	Ø 230	ACERO ALEADO DE ALTA RESISTENCIA										AISI 4340 / VCN-320		23.30	
26	PIÑON	Ø 690	ACERO ALEADO DE ALTA RESISTENCIA										AISI 4340 / VCN-320		61.14	
25	SOPORTE DE POLEA	50 X 200 X 974	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO										ASTM A-36		74.39	
24	CONTRAEJE	Ø95 X Ø95 X 1300	ACERO AL CARBONO 0.45%										SAE 1045		77.16	
ITEM		DESCRIPCION		MATERIAL										NORMA		PESO
EMPRESA:		UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA		LONGITUD min/máx TOLERANCIA (mm)										TAMANO DE FORMATO A2		
				0 6 +0.1	6 30 ±0.2	120 120 ±0.3	315 315 ±0.5	1000 1000 ±0.8	1000 2000 ±1.2	2000 4000 ±2	4000 8000 ±3	8000 12000 ±4	12000 15000 ±5	U.M.: mm		
		ESCUOLA PROFESIONAL: INGENIERÍA MECÁNICA		CLASE DE RUGOSIDAD VALOR DE LA RUGOSIDAD (MICRAS)												
DIBUJADO: JUAN RODRIGUEZ DIEGO BLONDET		REVISADO: ING. NELVER ESCALANTE		NÚMERO DE PLANO:										REVISADO: 02/11/2025		
				DESPIECE 4 -M2										NÚMERO DE PLANO: 6/7		



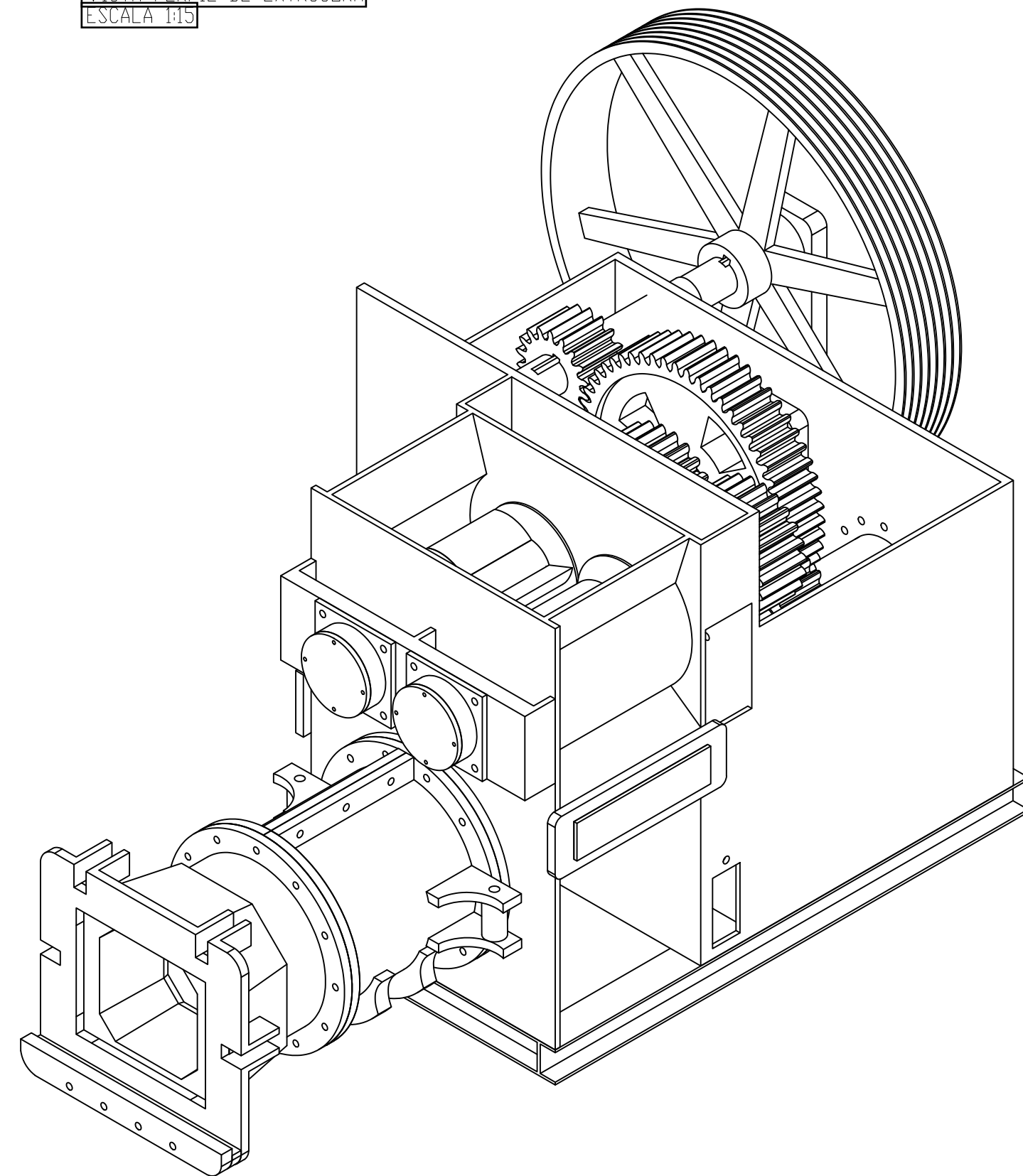
VISTA FRONTAL DE EXTRUSORA
ESCALA 1:15



VISTA PERFIL DE EXTRUSORA
ESCALA 1:15



VISTA PLANTA DE EXTRUSORA
ESCALA 1:15



EMPRESA:			LONGITUD												TAMANO DE FORMATO:					
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA			min/máx												A2					
			TOLERANCIA (mm)												U.M: mm					
			ESCUELA PROFESIONAL:		CLASE DE RUGOSIDAD															
			INGENIERÍA MECÁNICA		VALOR DE LA RUGOSIDAD (MICRAS)		N12	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3			N2	N1
							50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1			.05	.025
DIBUJADO:			REVISADO:		NOMBRE:												REVISADO:			
JUAN RODRIGUEZ			ING.NELVER		ISOMETRICO Y VISTAS DE EXTRUSORA (M2)												02/11/2025			
DIEGO BLONDET			ESCALANTE														NÚMERO DE PLANO:			
																	7/7			