

DISEÑO APOYADO EN CAE DE UNA PRENSA HIDRÁULICA PARA LA FABRICACIÓN DE
LADRILLOS POR COMPRESIÓN

DAVID SANTIAGO JOYA BELTRÁN

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA MECÁNICA
TUNJA, BOYACÁ
2024

DISEÑO APOYADO EN CAE DE UNA PRENSA HIDRÁULICA PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS POR COMPRESIÓN

DAVID SANTIAGO JOYA BELTRÁN

Trabajo de grado académico

Profesor Carlos Andrés Aguirre Rodríguez
Ingeniero Mecánico
Profesor German Andrés Gutiérrez Arias
Ingeniero Electrónico

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA MECÁNICA
TUNJA, BOYACÁ
2024

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Tunja, Boyacá (17/10/2024)

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi luz y guía en cada paso de este camino. A mi querida familia, por su amor incondicional y por ser el pilar fundamental en mi vida. A mis amigos, por su amistad y por estar a mi lado en cada alegría y desafío.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi director de tesis, el ingeniero Andrés Aguirre, por su invaluable guía, paciencia y apoyo durante todo el proceso de investigación. Su experiencia y conocimientos han sido fundamentales para la realización de este trabajo.

A mi codirector, Germán Gutiérrez, por su asesoramiento y por compartir conmigo sus ideas y perspectivas que enriquecieron significativamente este proyecto.

También deseo agradecer a mi familia y amigos por su apoyo incondicional y por estar siempre a mi lado en cada etapa de este camino.

Finalmente, a todos aquellos que, de una u otra forma, contribuyeron al desarrollo de este trabajo de grado, mi más sincero agradecimiento.

CONTENIDO

pág.

RESUMEN	14
INTRODUCCIÓN	16
1 JUSTIFICACION.....	17
2 OBJETIVOS.....	18
3 ALCANCE.....	19
4 METODOLOGÍA	20
5 MARCO REFERENCIAL.....	23
5.1 MARCO HISTÓRICO.....	23
5.1.1 Evolución tecnológica de las prensas hidráulicas hasta la actualidad.....	23
5.1.2 Origen de los ladrillos	24
5.1.3 Evolución en la fabricación de ladrillos	24
5.1.4 Uso de prensas hidráulicas en la producción de ladrillos.....	24
5.2 MARCO TEÓRICO	25
5.2.1 Principios de diseño mecánico aplicables a prensas hidráulicas	25
5.2.2 Introducción a los fundamentos teóricos de la simulación por elementos finitos 31	
5.2.3 Herramientas de software para la simulación por elementos finitos.....	31
5.3 MARCO LEGAL	36
5.4 ANTECEDENTES.....	37
6 Q.F.D (QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT)	38
6.1 NECESIDADES DEL MERCADO	38
6.2 MATRIZ DE PONDERACIÓN	39
6.2.1 Interpretación de los valores en la ponderación de las necesidades del mercado.....	39
6.2.2 Explicación del resultado de la tabla de ponderación	40
6.3 ESPECIFICACIONES DE DISEÑO	40
6.4 MATRIZ DE REQUISITOS Y NECESIDADES	41
6.4.1 Interpretación de los valores en la ponderación de la matriz de requisitos y necesidades.....	42

6.4.2	Explicación del resultado de la tabla de requisitos y necesidades	42
6.5	SOLUCIONES ACTUALES EN EL MERCADO	43
6.6	PRIORIZACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE DISEÑO	44
7	DISEÑO MECÁNICO	45
7.1	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PRENSA HIDRÁULICA	45
7.1.1	Visión general del funcionamiento	45
7.2	ESPECIFICACIONES DE DISEÑO	46
7.2.1	Requisitos funcionales.....	46
7.3	DESARROLLO DEL DISEÑO MECÁNICO	48
7.3.1	Diseño del cilindro hidráulico principal	48
7.3.2	Selección de los cilindros hidráulicos No. 2 y No. 3	53
7.3.3	Diseño del bastidor principal.....	54
7.3.4	Uniones en el diseño del bastidor principal.....	61
7.3.5	Acabados para la prensa hidráulica.....	61
7.3.6	Diseño del molde de formación	62
7.3.7	Propuesta de diseños alternativos para la prensa hidráulica	63
7.3.8	Diseño CAD en Autodesk Inventor	63
7.4	RESULTADOS DEL DISEÑO MECÁNICO	64
8	ANÁLISIS ESTÁTICO POR ELEMENTOS FINITOS.....	66
8.1	SOFTWARE Y HERRAMIENTAS	66
8.2	LIMITACIONES CONOCIDAS DEL FEA	66
8.3	ANÁLISIS DEL BASTIDOR PRINCIPAL	67
8.3.1	Impacto en el Diseño Global.....	75
8.4	ANÁLISIS DE LA VIGA MÓVIL SUPERIOR	75
8.4.1	Justificación de selección para la viga móvil superior	82
8.5	ANÁLISIS DE LA VIGA MÓVIL INFERIOR	82
8.5.1	Justificación de selección para la viga móvil inferior	84
8.6	ANÁLISIS DEL MOLDE SUPERIOR.....	85
8.6.1	Justificación de selección para el molde superior	87
8.7	ANÁLISIS DEL MOLDE CENTRAL.....	88
8.7.1	Justificación de selección para el molde central	90
8.8	ANÁLISIS DEL MOLDE INFERIOR	90
8.8.1	Justificación de selección para el molde inferior	93

8.9	RESULTADO DE ANÁLISIS ESTÁTICO POR ELEMENTOS FINITOS	93
9	DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL ELECTROHIDRÁULICO	94
9.1	DESCRIPCIÓN DEL CIRCUITO ELECTROHIDRÁULICO.....	94
9.1.1	Diagrama de potencia para el motor de la bomba hidráulica	94
9.1.2	Diagrama de control eléctrico para la bomba hidráulica	95
9.1.3	Diagrama de potencia electrohidráulico	96
9.1.4	Diagrama de control eléctrico para el sistema hidráulico	97
9.2	DISEÑO DEL SISTEMA HIDRÁULICO.....	98
9.2.1	Cálculo de la fuerza y presión en el sistema hidráulico.....	98
9.2.2	Velocidad de salida del cilindro.....	98
9.2.3	Cálculo del caudal	98
9.2.4	Selección de la tubería	99
9.2.5	Cálculo de la velocidad en la tubería	99
9.2.6	Selección del fluido hidráulico.....	99
9.2.7	Pérdidas hidráulicas en el sistema	99
9.2.8	Presión requerida para la bomba.....	101
9.2.9	Potencia del motor.....	101
9.3	CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS ELECTROHIDRÁULICOS DEL SISTEMA.....	101
9.4	RESULTADOS DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL ELECTROHIDRÁULICO	103
10	ESTIMACIÓN DE COSTOS DE MATERIALES Y FABRICACIÓN	104
10.1	COSTOS DE MATERIALES	104
10.1.1	Selección de materiales.....	105
10.2	COSTOS DE LOS ELEMENTOS ELECTROHIDRÁULICOS	105
10.3	COSTOS DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS Y CONEXIONES	106
10.3.1	Estimación de costos globales para componentes y materiales de la prensa hidráulica	106
10.4	COSTOS DE FABRICACIÓN	107
10.5	COSTOS TOTALES Y MARGEN DE CONTINGENCIA.....	108
10.6	COMPARACIÓN DE LA VIABILIDAD ENTRE FABRICACIÓN LOCAL Y COMPRA DE PRENSA HIDRÁULICA IMPORTADA.....	108
10.6.1	Descripción de la prensa importada desde China.....	108
10.6.2	Comparación directa de costos y capacidad de producción	109

10.6.3	Análisis de viabilidad	109
10.7	RESULTADOS ESTIMACIÓN DE COSTOS DE MATERIALES Y FABRICACIÓN	109
	CONCLUSIONES.....	110
	RECOMENDACIONES	112
	BIBLIOGRAFÍA	113
	ANEXOS	117

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Matriz de ponderación de requerimientos	39
Tabla 2. Matriz de requisitos y necesidades	41
Tabla 3. Soluciones actuales en el mercado	43
Tabla 4. Selección del material para la pared del cilindro hidráulico	49
Tabla 5. Selección del material del vástago.....	50
Tabla 6. Perfiles evaluados para el bastidor	54
Tabla 7. Materiales para perfil cuadrado	55
Tabla 8. Materiales para los perfiles IPE y HEA	56
Tabla 9. Comparativa de los análisis de esfuerzo máximo de von Mises para diferentes perfiles estructurales de la viga móvil superior.....	58
Tabla 10. Comparativa de los análisis de esfuerzo normal para diferentes perfiles estructurales	60
Tabla 11. Descripción del modelo del bastidor principal – Iteración 1	67
Tabla 12. Resultados de simulación del bastidor principal – Iteración 1	68
Tabla 13. Discusión de resultados del bastidor principal – Iteración 1	69
Tabla 14. Descripción del modelo del bastidor principal – Iteración 2.....	70
Tabla 15. Resultados de simulación del bastidor principal – Iteración 2	71
Tabla 16. Discusión de resultados del bastidor principal – Iteración 2	72
Tabla 17. Descripción del modelo del bastidor principal – Iteración 3.....	72
Tabla 18. Resultados de simulación del bastidor principal – Iteración 3	73
Tabla 19. Discusión de resultados del bastidor principal – Iteración 3	74
Tabla 20. Descripción del modelo de la viga móvil superior – Iteración 1	75
Tabla 21. Resultados de simulación de la viga móvil superior – Iteración 1.....	76
Tabla 22. Discusión de resultados de la viga móvil superior – Iteración 1	77
Tabla 23. Descripción del modelo de la viga móvil superior – Iteración 2	77
Tabla 24. Resultados de simulación de la viga móvil superior – Iteración 2.....	78
Tabla 25. Discusión de resultados de la viga móvil superior – Iteración 2	79
Tabla 26. Descripción del modelo de la viga móvil superior – Iteración 3	80
Tabla 27. Resultados de simulación de la viga móvil superior – Iteración 3.....	81
Tabla 28. Discusión de resultados de la viga móvil superior – Iteración 3	82
Tabla 29. Descripción del modelo de la viga móvil Inferior	82
Tabla 30. Resultados de simulación de la viga móvil inferior	83
Tabla 31. Discusión de resultados de la viga móvil inferior.....	84
Tabla 32. Descripción del modelo del molde superior	85
Tabla 33. Resultados de simulación del molde superior	86
Tabla 34. Discusión de resultados del molde superior.....	87
Tabla 35. Descripción del modelo del molde central.....	88
Tabla 36. Resultados de simulación del molde central	89
Tabla 37. Discusión de resultados del molde central	90

Tabla 38. Descripción del modelo del molde inferior	90
Tabla 39. Resultados de simulación del molde inferior	91
Tabla 40. Discusión de resultados del molde inferior	92
Tabla 41. Costos de materiales	104
Tabla 42. Costos de los elementos electrohidráulicos	105
Tabla 43. Costos de los equipos eléctricos y conexiones	106
Tabla 44. Costos de fabricación	107
Tabla 45. Costos totales y margen de contingencia	108
Tabla 46. Comparación directa de costos y capacidad de producción.....	109

LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Metodología.....	20
Figura 2. Funcionamiento de la prensa hidráulica	45
Figura 3. Diseño CAD de la prensa hidráulica para fabricación de ladrillos	63
Figura 4. Plano de explosionado de la prensa hidráulica para fabricación de ladrillos	64
Figura 5. Mallado y condiciones de borde – molde superior	85
Figura 6. Diagrama de potencia para el motor de la bomba hidráulica	94
Figura 7. Diagrama de control eléctrico para la bomba hidráulica	95
Figura 8. Diagrama de potencia electrohidráulico	96
Figura 9. Diagrama de control eléctrico para el sistema hidráulico	97

LISTA DE ANEXOS

pág.

Anexo A. Cotización de costos de los elementos electrohidráulicos	118
Anexo B. Cotización de costo de fabricación	120
Anexo C. Cotización de prensa hidráulica de China	121
Anexo D Manual de mantenimiento	123
Anexo E Planos de fabricación	137
Anexo F Alternativas de diseño	143

RESUMEN

El presente trabajo, titulado “Diseño apoyado en CAE de una prensa hidráulica para manufactura por compresión”, tiene como objetivo principal diseñar y evaluar una prensa hidráulica destinada a la fabricación de ladrillos de arcilla. La necesidad de equipos accesibles y efectivos en la industria ladrillera de Colombia, especialmente en Boyacá, impulsó el desarrollo de este proyecto. El diseño se basa en simulaciones por elementos finitos (FEA) y en un sistema de control electrohidráulico, asegurando una operación confiable y adecuada a las exigencias del proyecto.

El proyecto se organiza en cuatro capítulos. El primero trata sobre el diseño mecánico de la prensa, abordando la selección de materiales y componentes, como perfiles estructurales y cilindros hidráulicos. El segundo capítulo incluye el análisis estático por elementos finitos, evaluando los puntos críticos del bastidor y de las vigas móviles bajo diversas condiciones de carga. El tercer capítulo presenta el sistema de control electrohidráulico, que regula el funcionamiento de los actuadores y la presión del sistema. El cuarto capítulo analiza la estimación de costos de materiales y fabricación, comparando la fabricación local con la importación desde China.

El método utilizado incluyó simulaciones estructurales con Autodesk Inventor Nastran para evaluar los esfuerzos y deformaciones en los componentes principales de la prensa. Se realizaron cálculos específicos para el sistema electrohidráulico y los costos de fabricación, abarcando la selección de componentes fundamentales.

Los resultados demuestran que el diseño propuesto cumple con las especificaciones técnicas, garantizando la integridad estructural y el correcto funcionamiento de la prensa hidráulica. La comparación entre la fabricación local y la importación muestra que la opción local resulta 11% más económica, manteniendo la misma capacidad productiva.

El diseño de la prensa hidráulica ofrece una solución competitiva para la industria ladrillera de Colombia, con ventajas en términos de costos, accesibilidad de materiales y disponibilidad de soporte técnico.

Palabras clave: Prensa hidráulica, manufactura por compresión, simulación por elementos finitos (FEA), sistema electrohidráulico, fabricación de ladrillos.

ABSTRACT

The present work, titled "CAE-Supported Design of a Hydraulic Press for Compression Manufacturing," has the primary objective of designing and evaluating a hydraulic press aimed at the production of clay bricks. The need for accessible and effective equipment in Colombia's brick industry, especially in Boyacá, prompted the development of this project. The design is based on finite element analysis (FEA) simulations and an electrohydraulic control system, ensuring reliable operation and suitability to the project's requirements.

The project is organized into four chapters. The first addresses the mechanical design of the press, focusing on the selection of materials and components, such as structural profiles and hydraulic cylinders. The second chapter includes the static analysis by finite element, evaluating the critical points of the frame and the movable beams under various load conditions. The third chapter presents the electrohydraulic control system, which regulates the operation of the actuators and system pressure. The fourth chapter analyzes the cost estimation for materials and manufacturing, comparing local production with importing from China.

The method used included structural simulations with Autodesk Inventor Nastran to assess the stresses and deformations in the main components of the press. Specific calculations were made for the electrohydraulic system and manufacturing costs, covering the selection of key components.

The results show that the proposed design meets the technical specifications, ensuring the structural integrity and proper functioning of the hydraulic press. The comparison between local production and importation reveals that the local option is 11% more cost-effective while maintaining the same production capacity.

The design of the hydraulic press offers a competitive solution for Colombia's brick industry, with advantages in terms of cost, material accessibility, and availability of technical support.

Keywords: Hydraulic press, compression manufacturing, finite element analysis (FEA), electrohydraulic system, brick manufacturing.

INTRODUCCIÓN

La fabricación de ladrillos en Colombia enfrenta dificultades relacionadas con la contaminación en el uso de recursos hídricos y con la limitación de los equipos disponibles en el mercado. Las empresas dedicadas a este sector requieren soluciones tecnológicas que mejoren sus procesos productivos y eleven su competitividad. Con el propósito de atender estas necesidades, el presente proyecto propone el diseño apoyado en ingeniería asistida por computadora (siglas en inglés, CAE) de una prensa hidráulica para la manufactura por compresión de ladrillos. Esta máquina tiene como objetivo resolver los problemas actuales y mejorar el proceso de fabricación de manera confiable y sin desperdicio de materiales.

El diseño mecánico de la prensa estará orientado a asegurar la resistencia de los componentes estructurales, de modo que puedan soportar las cargas y esfuerzos generados durante la operación de compresión de los ladrillos. Mediante simulaciones por elementos finitos (siglas en inglés, FEA), se identificarán los puntos críticos de la estructura, lo que permitirá ajustar el diseño para evitar fallos y garantizar un funcionamiento adecuado en las condiciones de trabajo propuestas.

Se implementará un sistema de control electrohidráulico que automatizará el funcionamiento de la prensa, con el fin de asegurar un control preciso durante el proceso. Este diseño busca que la prensa alcance un nivel de producción equiparable al de equipos internacionales, pero ajustado a las condiciones específicas de una empresa local en Boyacá, contribuyendo a mejorar la capacidad productiva.

Se realizará un análisis de costos de materiales y fabricación, con el propósito de evaluar los recursos necesarios para la construcción de la prensa. Este análisis permitirá determinar los componentes clave y los procesos involucrados en su fabricación, garantizando que los costos se mantengan dentro de los márgenes previstos para el proyecto.

1 JUSTIFICACION

El proyecto se enfoca en el diseño de una prensa hidráulica para la fabricación de ladrillos de arcilla, con el propósito de mejorar el proceso en una empresa local ladrillera. La arcilla ha sido seleccionada como material de compactación debido a su amplia disponibilidad en Colombia, siendo el departamento de Boyacá responsable del 28% de la producción nacional¹. Los ladrillos fabricados con prensas hidráulicas presentan una absorción de agua de 7,5 menor en comparación con los métodos convencionales², lo que contribuye a un proceso más sostenible y mejora la durabilidad del producto final.

El diseño, basado en CAE, busca desarrollar un equipo que se adapte a las necesidades y condiciones de la empresa local. Esto permitirá que la empresa cuente con una herramienta que mejore su competitividad, gracias a que el proceso se automatiza con el sistema de prensado, las propiedades del producto se podrán controlar de mejor manera.

¹ MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Portafolio de mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales para el sector alfarero y de producción de ladrillo en Colombia. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021. 15 p. ISBN 978-958-5551-72-5.

² ALAUDDIN, MD. A Comparative Study on Environmental Impacts of Bricks Prepared by Chimney and Hydraulic Press Processes. Master's thesis, Jahangirnagar University, Department of Environmental Sciences, 2021. 65 p.

2 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y evaluar por medio de herramientas numéricas una prensa hidráulica para la fabricación de ladrillos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar el diseño mecánico de una prensa hidráulica para la fabricación de ladrillos.
- Realizar simulaciones por elementos finitos para identificar y evaluar los puntos críticos de la prensa.
- Calcular los sistemas de control electrohidráulicos y simular la operación de la máquina.
- Determinar los costos de materiales y fabricación de la máquina.

3 ALCANCE

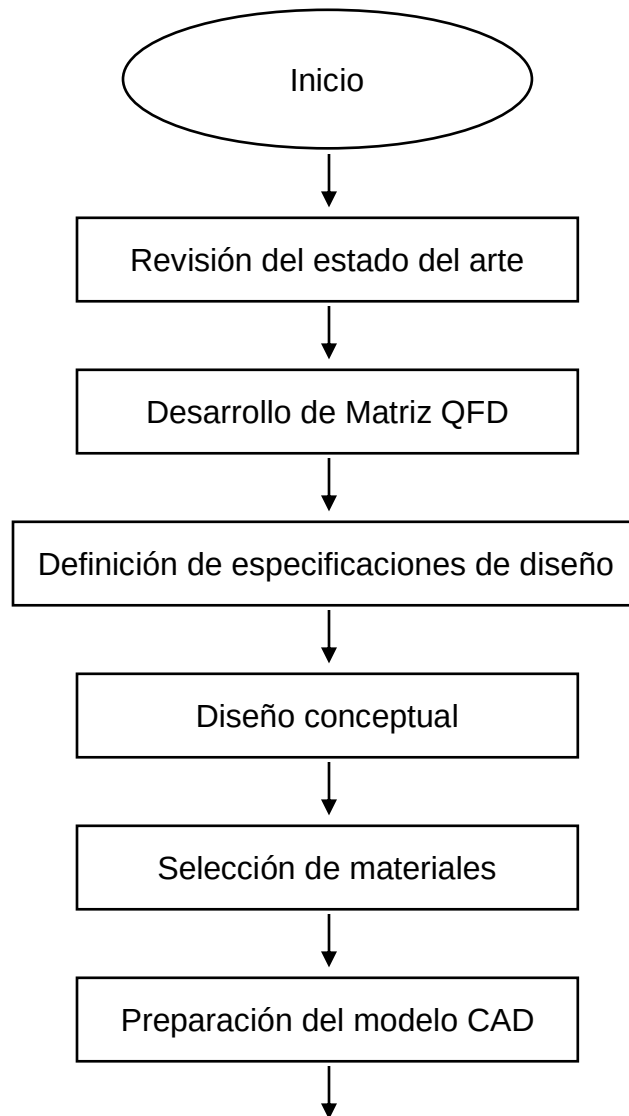
Este proyecto abarca el diseño mecánico de una prensa hidráulica para la fabricación de ladrillos, teniendo en cuenta componentes fundamentales como el bastidor, los cilindros hidráulicos y los moldes. Se realizarán simulaciones por elementos finitos (FEA) para identificar los puntos críticos de la estructura a partir de análisis estructural, garantizando su correcto desempeño.

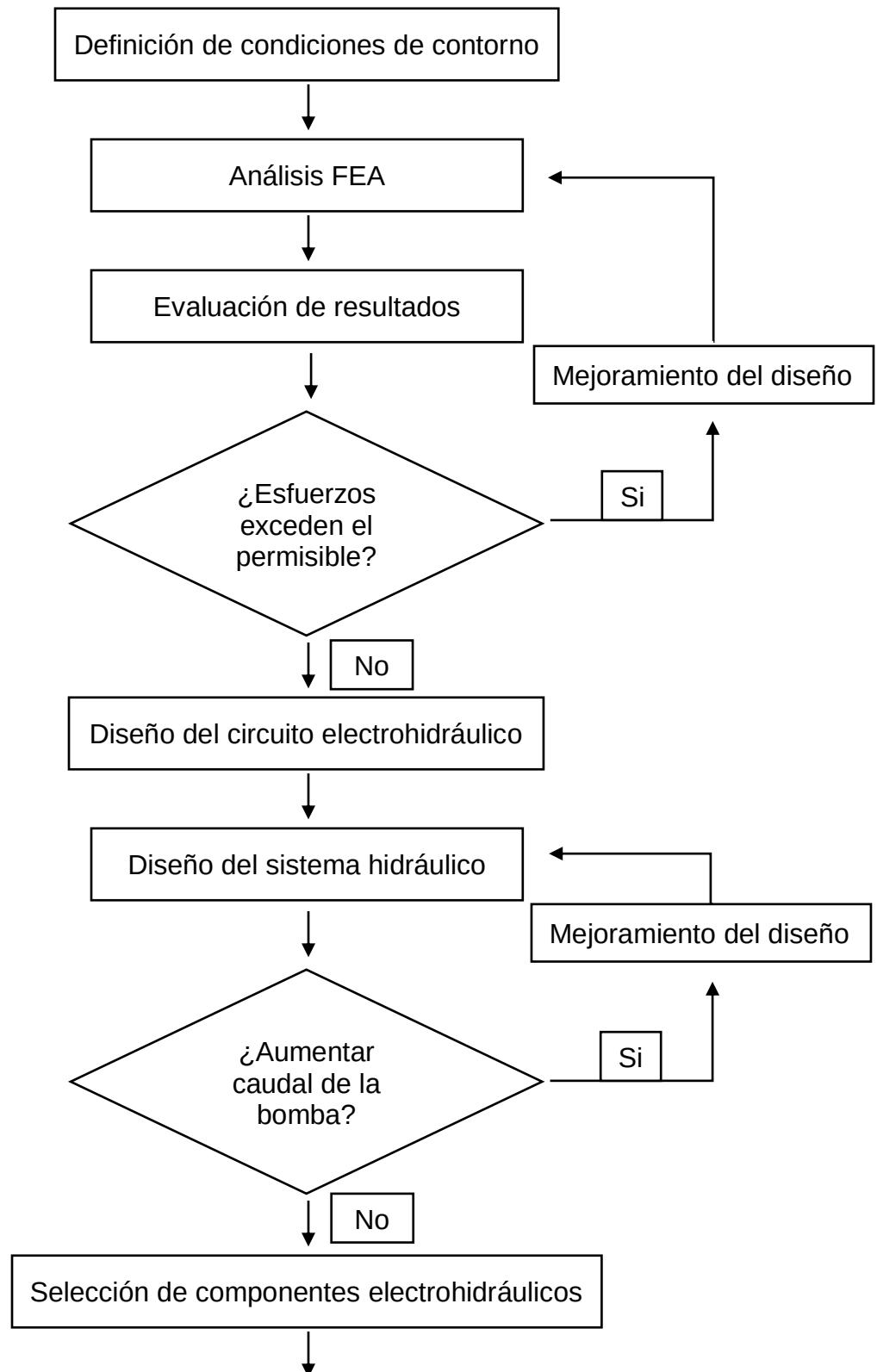
El diseño incluye los sistemas de control electrohidráulicos, con el fin de asegurar el control preciso de los componentes. También se llevará a cabo un análisis de los costos de materiales y fabricación, seguido por una comparación entre la compra de una prensa hidráulica importada y la fabricación de una en Colombia.

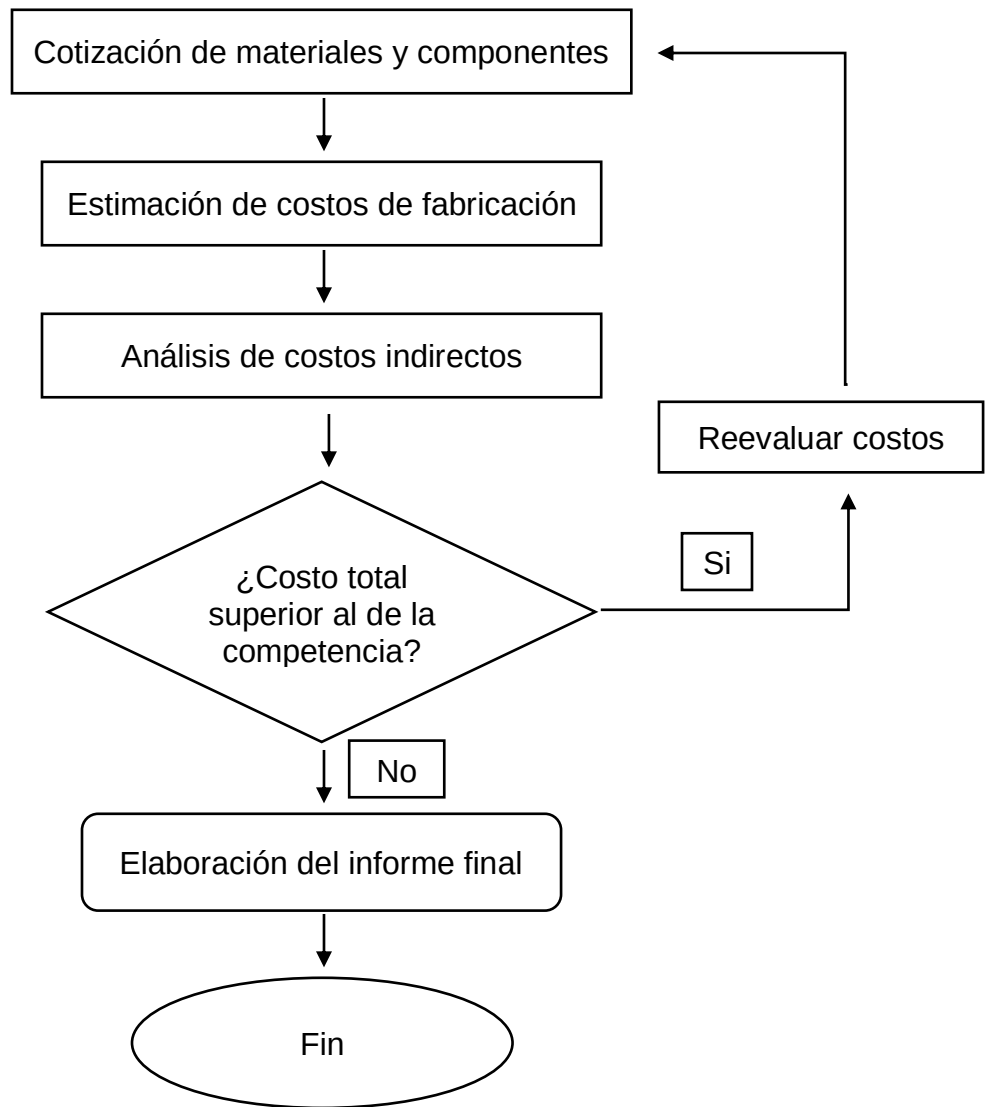
4 METODOLOGÍA

La metodología de este trabajo de grado sigue un proceso estructurado para desarrollar el diseño de una prensa hidráulica para la fabricación de ladrillos. Inicia con la *revisión del estado del arte* y la elaboración de una *matriz QFD*, lo que permite definir las *especificaciones de diseño*. A continuación, se procede al diseño conceptual, a la selección de materiales y a la preparación de un modelo CAD. Luego, se definen las condiciones de contorno, se realiza el análisis FEA y se implementan mejoras de diseño según los resultados. Finalmente, se desarrolla el sistema electrohidráulico, se analizan los costos y se elabora el informe final del proyecto.

Figura 1. Metodología







Fuente: elaboración propia

5 MARCO REFERENCIAL

5.1 MARCO HISTÓRICO

5.1.1 Evolución tecnológica de las prensas hidráulicas hasta la actualidad

Como menciona Air-Hydraulics³ la invención de la prensa hidráulica se atribuye a Joseph Bramah, quien patentó su innovador diseño en 1795. Basándose en los principios fundamentales del teorema de Pascal, Bramah ideó una máquina para generar fuerzas enormes con un esfuerzo mínimo de entrada.

Las primeras prensas hidráulicas, aunque limitadas en términos de presión máxima, encontraron aplicaciones significativas en la industria metalúrgica y en la manufactura de componentes precisos. A medida que la tecnología avanzaba, inventores como Jacques y Auguste Perier y John Haswell realizaron mejoras cruciales en el diseño de estas prensas, incrementando su capacidad y desempeño operativo. Estas innovaciones permitieron moldear y formar metales con una consistencia y precisión superiores, revolucionando procesos como el estampado, la extrusión y la forja de metales.

Desde sus inicios, las prensas hidráulicas han experimentado una notable evolución tecnológica que ha incrementado su capacidad, versatilidad y precisión. Tal como señala Shanghai Yingxin World Machinery Co⁴ la incorporación de sistemas de control electrohidráulico ha permitido una automatización sin precedentes, facilitando operaciones más precisas y controladas. Con el desarrollo de materiales avanzados, como aceros de alta resistencia y aleaciones ligeras, se ha posibilitado la fabricación de prensas más duraderas y con mayor capacidad de carga. Un ejemplo destacado es la prensa hidráulica servoaccionada, que utiliza servomotores para controlar de manera precisa la velocidad y la posición del émbolo, mejorando así la precisión del proceso.

Estas innovaciones han tenido un impacto significativo en diversas industrias. En la automotriz, se ha facilitado la fabricación de piezas de carrocería más ligeras y resistentes. En el sector aeroespacial, las prensas hidráulicas son cruciales para producir componentes estructurales de alta precisión. La integración de tecnología de monitoreo y sensores avanzados ha mejorado el mantenimiento predictivo y la seguridad operativa, asegurando un funcionamiento más fiable y seguro de las prensas.

³ AIR-HYDRAULICS, INC. The history of factory presses: Where it started and where it's going. [En línea]. [citado el 26 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://www.airhydraulics.com/blog/the-history-of-factory-presses-where-it-started-and-where-its-going/>

⁴ SHANGHAI YINGXIN WORLD MACHINERY CO., LTD. The development history of hydraulic press. [En línea]. [citado el 28 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://www.pressmachine-world.com/the-development-history-of-hydraulic-press>

5.1.2 Origen de los ladrillos

El uso de los ladrillos se remonta a unos 7.000 años en la antigua ciudad de Jericó, ubicada en lo que hoy es Turquía. Como describe Brick Architecture⁵ los primeros ladrillos se fabricaban moldeando barro y secándolos al sol, un método que fue adoptado por varias civilizaciones en el Medio Oriente y el Valle del Indo. Este tipo de ladrillo era especialmente adecuado para climas cálidos, donde la lluvia no comprometía su durabilidad.

En el Antiguo Egipto, la técnica se mejoró al mezclar la arcilla con paja, lo que aumentaba la resistencia de los ladrillos. Ejemplos de esta innovación se encuentran en las ruinas de Harappa y Mohenjo-Daro. Estos ladrillos resultaron esenciales para la construcción de grandes estructuras como pirámides y templos, las cuales han perdurado a lo largo del tiempo.

5.1.3 Evolución en la fabricación de ladrillos

Con el tiempo, la introducción de hornos para cocer los ladrillos mejoró su resistencia, haciéndolos más adecuados para climas fríos. Los romanos innovaron al desarrollar hornos móviles que les permitieron fabricar ladrillos cocidos en diversas regiones de su imperio. Gracias a estos avances, pudieron construir monumentales obras como acueductos, baños públicos y edificios militares, muchos de los cuales aún perduran.

El mayor avance en la producción de ladrillos llegó con la implementación de prensas hidráulicas en el siglo XIX. Conforme indica Batchelder & Collins⁶ estas máquinas permitían comprimir la arcilla con gran fuerza y precisión, logrando ladrillos más uniformes y resistentes. La producción en masa aumentó drásticamente, permitiendo fabricar miles de ladrillos por día, con una calidad superior a la obtenida con métodos tradicionales. Este avance revolucionó la industria de la construcción, al hacer los ladrillos más accesibles y duraderos.

5.1.4 Uso de prensas hidráulicas en la producción de ladrillos

La integración de prensas hidráulicas en la producción de ladrillos representó un avance crucial, marcando una transición desde métodos manuales y mecánicos hacia procesos más consistentes. Como indica National Building Arts Center⁷ las prensas hidráulicas se adoptaron debido a su capacidad para aplicar fuerzas uniformes y controladas, lo que resultó en la producción de ladrillos de mayor calidad y precisión. Este cambio permitió un aumento significativo en la productividad y una reducción en el esfuerzo manual necesario. Un ejemplo destacado de esta transición fue la *Hydraulic Press Brick Company*, fundada en el siglo XIX,

⁵ BRICK ARCHITECTURE. The history of bricks and brickmaking. [sitio Web]. Brick Architecture. [Consulta: 01 abril 2024]. Disponible en: <https://brickarchitecture.com/about-brick/why-brick/the-history-of-bricks-brickmaking>.

⁶ BATCHELDER & COLLINS. The history of brick masonry. [sitio Web]. Batchelder & Collins. [Consulta: 02 abril 2024]. Disponible en: <https://757brick.com/blog/history-of-brick-masonry/>.

⁷ NATIONAL BUILDING ARTS CENTER. Hydraulic brick company: The early years. [En línea]. [citado el 28 de marzo de 2024]. Disponible en: <http://web.nationalbuildingarts.org/collections/clay-products/ornamental-brick/hydraulic-brick-company-the-early-years/>.

que revolucionó la industria del ladrillo al introducir prensas hidráulicas en su proceso de fabricación.

No obstante, la implementación inicial de esta tecnología no estuvo exenta de desafíos. Uno de los principales problemas fue la necesidad de ajustar las prensas para manejar diferentes tipos de arcilla y variaciones en la humedad, lo cual afectaba la consistencia del producto final. Adicional, las primeras prensas hidráulicas requerían un mantenimiento constante y ajustes precisos para asegurar su correcto funcionamiento. A pesar de estos obstáculos, las ventajas de las prensas hidráulicas superaron las limitaciones, y con el tiempo, la tecnología se perfeccionó, consolidándose como un estándar en la industria de la manufactura de ladrillos.

5.2 MARCO TEÓRICO

5.2.1 Principios de diseño mecánico aplicables a prensas hidráulicas

El diseño mecánico de prensas hidráulicas se fundamenta en varios principios esenciales que aseguran la seguridad y funcionalidad de la máquina. Estos principios incluyen:

- Relación entre presión, fuerza y área en sistemas hidráulicos. La relación entre presión, fuerza y área es fundamental en el diseño de sistemas hidráulicos. La presión es la fuerza distribuida sobre una superficie y representa un parámetro en la ingeniería en el cual se utilizan fluidos para transmitir fuerza, como las prensas hidráulicas. Esta relación permite calcular la presión necesaria para generar una fuerza determinada sobre un área específica, lo cual es crucial para dimensionar correctamente componentes como el cilindro hidráulico.

$$F = P \times A \quad (1)$$

P = Presión

F = Fuerza aplicada

A = Área sobre la que actúa la fuerza

- Factor de seguridad. El factor de seguridad⁸ es una medida que se utiliza en el diseño de componentes mecánicos para garantizar que puedan soportar cargas mayores a las esperadas durante su operación normal. Introduce un margen adicional para considerar posibles variaciones en las condiciones de operación, incertidumbres en las propiedades del material o errores en la fabricación. Su cálculo asegura que el componente diseñado sea lo suficientemente resistente para evitar fallos bajo circunstancias imprevistas.

⁸ BUDYNAS, RICHARD G. Y NISBETT, J. KEITH. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. 8ª ed. México, D.F.: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V., 2008. 17 p. ISBN: 978-970-10-6404-7.

$$FS = \frac{\text{Resistencia máxima}}{\text{Carga aplicada}} \quad (2)$$

- Cálculo del diámetro del émbolo. El diámetro del émbolo se calcula para asegurar que el sistema hidráulico pueda generar la fuerza necesaria para el proceso de compresión. Este diámetro se determina en función del área requerida, la fuerza aplicada y la presión disponible.

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (3)$$

D= Diámetro del émbolo,
A= Área del émbolo,
 π = Constante matemática

- Cálculo del espesor de la pared del cilindro. Se realiza considerando la presión interna aplicada y el límite elástico del material, asegurando que no se supere su capacidad de deformación elástica.

$$t = \frac{P \times D}{2 \times \sigma_y} \quad (4)$$

t = Espesor de la pared del cilindro
P = Presión interna
D = Diámetro interior del cilindro
 σ_y = Tensión del límite elástico del material

- El área de la raíz de la rosca. Se calcula tomando el diámetro nominal de la rosca y ajustándolo según el paso de la rosca, para determinar el área que realmente soporta la carga.

$$A_r = \frac{\pi \times (D_{\text{nominal}} - 0,9382 \times P)^2}{4} \quad (5)$$

A_r = Área de la raíz de la rosca
 D_{nominal} = Diámetro nominal de la rosca
P = Paso de la rosca

- Esfuerzos normales. Son fuerzas que actúan de manera perpendicular a la superficie de una sección, distribuyendo las tensiones internas de tracción o compresión a lo largo del área de esa sección.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (6)$$

σ = esfuerzo normal
 F = fuerza axial aplicada
 A = área de la sección

- Radio de giro. Valor que dice qué tan distribuida está el área de una sección alrededor de su eje. Este parámetro ayuda a evaluar si un elemento estructural es propenso al pandeo⁹.

$$k = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (7)$$

k = Radio de giro
 I = Momento de inercia respecto al eje neutro
 A = Área de la sección transversal

- Momento de inercia. Es una propiedad geométrica que mide la resistencia de una sección frente a la flexión o el pandeo, dependiendo de cómo se distribuye su área respecto a un eje determinado.
 - Sección circular sólida

$$I = \frac{\pi \times d^4}{64} \quad (8)$$

I = Momento de inercia
 d = Diámetro de la barra.

- Sección cuadrada hueca

$$I = \frac{b \times h^3}{12} - \frac{(b-2t) \times (h-2t)^3}{12} \quad (9)$$

I = Momento de inercia
 b = Ancho externo del perfil
 h = Altura externa del perfil
 t = Espesor del perfil

⁹ HIBBELER, R. C. Ingeniería mecánica: Estática. Traducido por Jesús Elmer Murrieta Murrieta, 12ª ed., Pearson Educación, México, 2010, 513 pp. ISBN 978-607-442-561-1.

- Área de la sección transversal de un círculo. Representa el espacio contenido dentro de su borde. Este concepto es fundamental para calcular fuerzas, esfuerzos y otros factores en elementos circulares.

$$A = \frac{\pi \times d^2}{4} \quad (10)$$

A = Área de la sección transversal
d = Diámetro del círculo

- Razón de esbeltez. Es un parámetro que indica cuán susceptible es un elemento estructural al pandeo. Es una medida de la proporción entre la longitud de un elemento y su rigidez. Elementos con mayor razón de esbeltez son más propensos a fallar por pandeo bajo carga axial.

$$S_r = \frac{l}{k} \quad (11)$$

S_r = Razón de esbeltez
l = Longitud efectiva del elemento
k = Radio de giro

- Carga crítica. Máxima carga axial que una columna puede soportar antes de sufrir pandeo. Este valor depende de las propiedades geométricas y de material del elemento. Es esencial para garantizar que la estructura no falle bajo cargas compresivas.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \times E \times I}{l^2} \quad (12)$$

P_{cr} = Carga crítica
E = Módulo de elasticidad del material
I = Momento de inercia de la sección
l = Longitud efectiva de la columna

- Momento máximo. El momento máximo en una viga es el punto donde se produce la mayor flexión debido a la carga aplicada. En una viga empotrada en ambos extremos con una carga puntual en el centro, el momento máximo ocurre justamente en ese punto central¹⁰.

$$M_{max} = \frac{P \times L}{8} \quad (13)$$

¹⁰ BEER, F. P., JOHNSTON, E. R. JR., MAZUREK, D. F., Y EISENBERG, E. R. Mecánica vectorial para ingenieros: Estática. 9ª ed., McGraw-Hill/Interamericana Editores, México. 2010. 363 pp. ISBN 978-607-15-0277-3.

M_{max} = Momento máximo

P = Carga aplicada en el centro de la viga

L = Longitud de la viga

- Tensión de flexión máxima. Es el esfuerzo máximo que experimenta una viga debido a una carga aplicada, y ocurre en la fibra más alejada del eje neutro. Este concepto es crucial para determinar si el material de la viga puede resistir las fuerzas sin fallar.

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max} \times c}{I_x} \quad (14)$$

σ_{max} = Tensión de flexión máxima

M_{max} = Momento máximo

c = Mitad de la altura de la viga

I_x = Momento de inercia respecto al eje neutro

- Tensión cortante máxima. Es la mayor fuerza interna que actúa de manera paralela a la sección transversal de un elemento estructural, como una viga. Este esfuerzo es importante para evaluar la capacidad del material ante cargas que tienden a deslizar una parte del cuerpo respecto a otra.

$$\tau_{max} = \frac{V \times Q}{I \times t} \quad (15)$$

τ_{max} = Tensión cortante máxima

V = Fuerza cortante

Q = Primer momento de área de la sección respecto al eje neutro

I = Momento de inercia respecto al eje neutro

t = Espesor de la sección en el área donde se analiza el esfuerzo

- Fuerza cortante máxima. Es la fuerza interna que se genera en cada extremo de una viga debido a una carga aplicada. Cuando una carga puntual actúa en el centro de la viga, esta fuerza se distribuye por igual en cada soporte. Este valor es esencial para asegurar que la viga puede soportar la carga sin fallar por corte¹¹.

$$V = \frac{P}{2} \quad (16)$$

V = Fuerza cortante máxima

P = La carga puntual aplicada

¹¹ Ibid., p 364.

- Primer momento de área. Es una medida que indica cómo se distribuye el área de una sección respecto a un eje de referencia, siendo crucial para el cálculo de tensiones cortantes. En una viga, el valor del primer momento de área se relaciona con la capacidad del material para resistir el esfuerzo cortante en una sección específica.

$$Q = A_{\text{alma}} \times y_{\text{centro}} \quad (17)$$

Q = Primer momento de área

A_{alma} = Área del alma

y_{centro} = Distancia del centroide del área al eje neutro

- Área del alma. Es la superficie de la parte central de una viga en perfil, la cual soporta gran parte de las fuerzas cortantes. Esta área es fundamental para calcular esfuerzos y tensiones en la estructura.

$$A_{\text{alma}} = h \times t \quad (18)$$

A_{alma} = Área del alma

h = Altura del alma

t = Espesor del alma

- Esfuerzo de von Mises. Es un criterio utilizado para predecir el fallo de materiales dúctiles bajo carga. Este esfuerzo combina tanto las tensiones normales como las cortantes, proporcionando un valor único que permite comparar con el límite de resistencia del material¹².

$$\sigma_{\text{von Mises}} = \sqrt{\sigma_{\text{max}}^2 + 3 \times \tau_{\text{max}}^2} \quad (19)$$

$\sigma_{\text{von Mises}}$ = Esfuerzo de von Mises

σ_{max} = Tensión normal máxima

τ_{max} = Tensión cortante máxima

- Diseño ergonómico de máquinas. El diseño ergonómico de máquinas integra aspectos de seguridad y salud desde las primeras fases del desarrollo. Este enfoque considera las condiciones del operador para reducir riesgos y mejorar las condiciones de trabajo. Incorporar la ergonomía desde el diseño evita ajustes posteriores, generalmente más costosos y menos efectivos.

¹² BUDYNAS, RICHARD G. Y NISBETT, J. KEITH. Op., Cit., p. 214.

Este tipo de diseño se fundamenta en la adaptación de la máquina a las características físicas y cognitivas del usuario, con el objetivo de evitar posturas perjudiciales y disminuir la necesidad de aplicar fuerzas excesivas¹³.

5.2.2 Introducción a los fundamentos teóricos de la simulación por elementos finitos

La *Simulación por Elementos Finitos* (FEA) es una técnica numérica empleada para obtener soluciones aproximadas a problemas complejos de ingeniería y física. Este método es crucial en el análisis y diseño de estructuras mecánicas debido a su capacidad para manejar geometrías complejas, materiales heterogéneos y condiciones de carga variadas.

- Sistemas discretos y continuos. De acuerdo con Celigüeta¹⁴ las estructuras pueden clasificarse en discretas, como los reticulados compuestos por elementos diferenciados y conectados en puntos específicos, y continuas, como las carrocerías de vehículos y los bastidores de máquinas, que no pueden separarse en elementos distintos.
- Hipótesis de discretización. La hipótesis de discretización es fundamental para el *Método de los Elementos Finitos* (MEF). Celigüeta¹⁵ describe en dividir el continuo en elementos finitos que se conectan en nodos, donde los desplazamientos de estos nodos determinan la configuración deformada de la estructura.
- Funciones de interpolación. Tal como señala Celigüeta¹⁶ para cada elemento, se definen funciones de interpolación que permiten calcular el desplazamiento de cualquier punto dentro del elemento basándose en los desplazamientos nodales. Estas funciones garantizan la compatibilidad de deformaciones necesarias en los contornos de unión entre los elementos.

5.2.3 Herramientas de software para la simulación por elementos finitos

- Autodesk Inventor Nastran. Es una herramienta poderosa y versátil para la *Simulación por Elementos Finitos* (FEA) utilizada ampliamente en la ingeniería mecánica. Ofrece capacidades avanzadas para realizar análisis estructurales, térmicos y dinámicos.
- Análisis estructural. Permite realizar análisis lineales y no lineales, incluyendo plasticidad, grandes desplazamientos y contacto.

¹³ MATA CABRERA, F. Aproximaciones al diseño ergonómico de máquinas. Técnica Industrial. 2006. p 56-58.

¹⁴ CELIGÜETA, L. Método de los Elementos Finitos para Análisis Estructural. 4ª ed. San Sebastián, España: UNICOPIA C.B., 2011. 1 p. ISBN 84-921970-2-1.

¹⁵ Ibid., p. 2.

¹⁶ Ibid., p. 6.

- **Análisis térmico.** Soporta análisis de transferencia de calor en estado estacionario y transitorio, así como análisis térmicos acoplados con análisis estructurales.
- **Análisis dinámico:** Ofrece herramientas para analizar vibraciones y dinámicas de estructuras, incluyendo modos propios, respuesta en frecuencia y análisis de choques.
- **Interfaz de Usuario Intuitiva:** Facilita la creación y modificación de modelos complejos, permitiendo una integración eficiente con otras herramientas CAD.

5.2.3.1 Aplicación de la FEA en el diseño de la prensa hidráulica

- **Condiciones de contorno.** Las condiciones de contorno son cruciales para simular adecuadamente las restricciones y soportes de la prensa hidráulica. Estas incluyen fijar los desplazamientos y rotaciones en puntos clave para representar las condiciones reales de soporte.
- **Cargas aplicadas.** Las cargas que la prensa experimentará durante su operación deben ser aplicadas en el modelo. Estas incluyen fuerzas y presiones en las áreas donde la prensa interactúa con el material a comprimir.
- **Mallado.** El proceso de mallado es esencial para obtener resultados precisos en la *Simulación por Elementos Finitos*. Consiste en dividir el modelo de la prensa hidráulica en una cantidad adecuada de elementos finitos. Los pasos críticos en el mallado incluyen:
 - **Selección del tipo de elemento.** Decidir entre elementos tetraédricos, hexaédricos u otros tipos según la geometría y la complejidad del modelo.
 - **Densidad del mallado.** Determinar la densidad del mallado, balanceando entre la precisión del análisis y el tiempo de computación. Las áreas con cambios bruscos en la geometría o donde se esperan concentraciones de tensiones deben tener un mallado más fino.
 - **Calidad del mallado.** Asegurar que los elementos no sean demasiado distorsionados, ya que esto puede afectar la precisión de los resultados. Herramientas automáticas de refinamiento pueden ser utilizadas para mejorar la calidad del mallado en áreas críticas.
- **Análisis de Convergencia.** El análisis de convergencia es esencial para asegurar que la solución obtenida por el método de elementos finitos se aproxima adecuadamente a la solución exacta del problema. Como indica Okereke y Keates¹⁷ este análisis implica

¹⁷ OKEREKE, MICHAEL Y KEATES, SIMEON. Finite Element Applications: A Practical Guide to the FEM Process. Cham, Suiza: Springer International Publishing AG, 2018. 167 - 169 p. ISBN 978-3-319-67124-6.

refinar la malla y observar cómo cambian los resultados. Si los resultados convergen a un valor constante a medida que se reduce el tamaño de los elementos, se puede tener confianza en la precisión del modelo.

5.2.3.2 Fundamentos teóricos del control en sistemas electrohidráulicos

- Velocidad de salida de un cilindro hidráulico. se refiere a la rapidez con la que el pistón del cilindro se desplaza en una dirección durante su operación. Esta velocidad es fundamental para controlar el tiempo de respuesta del sistema hidráulico y determinar el ciclo de trabajo de la máquina. Para calcular la velocidad, se utiliza la siguiente ecuación básica del movimiento.

$$v = \frac{d}{t} \quad (20)$$

v = Velocidad de salida del cilindro

d = Carrera del cilindro

t = Tiempo que tarda el cilindro en completar su carrera

- Caudal. En un sistema hidráulico es una medida que indica la cantidad de fluido que se desplaza a través del sistema en un periodo de tiempo. Este parámetro está directamente relacionado con la velocidad del pistón y el área de la sección transversal del cilindro. El caudal se puede calcular mediante la siguiente ecuación.

$$Q = v \times A \quad (21)$$

Q = Caudal

v = Velocidad de salida del cilindro

A = Área del pistón

- Peso específico. Se define a partir de la densidad del material y la aceleración debida a la gravedad, representando la fuerza gravitacional que actúa sobre un volumen unitario del material.

$$\gamma = \rho \times g \quad (22)$$

- Pérdidas hidráulicas en el sistema. Se refieren a la pérdida de energía causada por la fricción, cambios de dirección y restricciones en componentes como tuberías, válvulas y salidas de tanques. Estas pérdidas aumentan la presión necesaria para que el fluido circule de manera adecuada¹⁸.

¹⁸ ÇENGEL, Y. A., Y CIMBALA, J. M. Mecánica de Fluidos: Fundamentos y Aplicaciones. McGraw-Hill/Interamericana Editores, México. 2006. 347 pp. ISBN 970-10-5612-4.

$$h_l = h_{TK} + h_{VV} + h_t \quad (23)$$

h_l = Pérdida total en el sistema

h_{TK} = Pérdida a la salida del tanque

h_{VV} = Pérdida en la válvula direccional

h_t = Pérdida en las tuberías

- Pérdida a la salida del tanque. Representa la disminución de energía del fluido al pasar del tanque al sistema de tuberías o distribución. Esta pérdida depende de la velocidad del fluido y la geometría de la salida, y se calcula a través del coeficiente de pérdida k.

$$h_{TK} = K \times \frac{v^2}{2g} \quad (24)$$

h_{TK} = Pérdida a la salida del tanque

K = Coeficiente de pérdida, influenciado por la forma de la salida

v = Velocidad del fluido

g = Aceleración gravitacional

- Pérdidas de energía en una válvula direccional. Se deben a la resistencia que la válvula ofrece al paso del fluido, lo que provoca una caída de presión. Estas pérdidas dependen del diseño de la válvula y del caudal que fluye a través de ella¹⁹.

$$h_{VV} = \frac{\Delta P}{\gamma} \quad (25)$$

h_{VV} = Pérdida en la válvula direccional

ΔP = Caída de presión en la válvula

γ = Peso específico del fluido

- Pérdida de energía en la tubería. Ocurre debido a la fricción interna que genera el fluido al moverse a través de ella.

$$h_t = f \times \frac{L}{d} \times \frac{v^2}{2g} \quad (26)$$

h_t = Pérdida en la tubería

f = Factor de fricción, que depende del tipo de flujo (laminar o turbulento)

L = Longitud de la tubería

d = Diámetro de la tubería

v = Velocidad del fluido en la tubería

¹⁹ CREUS SOLÉ, ANTONIO. Neumática e Hidráulica. Barcelona, España: Marcombo, S.A., 2007. 181 p. ISBN 84-267-1420-X.

g = Aceleración de la gravedad

- Número de Reynolds. Es un valor para determinar si el flujo en un sistema es laminar o turbulento. Se calcula utilizando la siguiente ecuación²⁰.

$$N_R = \frac{v \times d}{\nu} \quad (27)$$

v = Velocidad del fluido.

d = Diámetro de la tubería.

ν = Viscosidad cinemática del fluido.

Un valor de N_R menor a 2000 indica flujo laminar, mientras que un valor mayor a 4000 indica flujo turbulento.

- Factor de fricción. Es una medida de la resistencia al flujo en una tubería debido a la fricción entre el fluido y las paredes de la tubería. Para flujo laminar, se calcula como:

$$f = \frac{64}{N_R} \quad (28)$$

f = Factor de fricción

N_R = Número de Reynolds

- Presión requerida para la bomba. Es el resultado de sumar la presión necesaria para operar el cilindro y las pérdidas de presión que ocurren a lo largo del sistema hidráulico²¹.

$$p_B = p_r + h_l \times \gamma \quad (29)$$

p_B = Presión requerida para la bomba

p_r = Presión necesaria para operar el cilindro

h_l = Pérdida total en el sistema

γ = Peso específico del fluido

- Potencia del motor. En un sistema hidráulico se calcula en función de la presión de trabajo, el caudal del sistema y la eficiencia del mismo. La ecuación que se utiliza es la siguiente.

²⁰ ÇENGEL, Y. A., Y CIMBALA, J. M. Op., Cit., p. 324.

²¹ ÇENGEL, Y. A., Y CIMBALA, J. M. Op., Cit., p. 738.

$$P_m = \frac{p_B \times Q}{\eta} \quad (30)$$

P_m = Potencia del motor

p_B = Presión requerida para la bomba

Q = Caudal del sistema

η = Eficiencia del sistema

5.3 MARCO LEGAL

- Guía Técnica Colombiana – GTC 45:2010, Establece pautas para la identificación y evaluación de peligros en seguridad ocupacional. Su implementación garantiza condiciones laborales seguras, reduciendo riesgos de accidentes y enfermedades mediante un enfoque preventivo²².
- Norma Técnica Colombiana – NTC 296:2000, Especifica las dimensiones de las unidades de mampostería de arcilla cocida, como ladrillos y bloques cerámicos. Facilita la uniformidad en la construcción, asegurando calidad y compatibilidad en los elementos²³.
- Norma Técnica Colombiana – NTC 3829:2004, Detalla los requisitos para adoquines de arcilla, garantizando resistencia y durabilidad para superficies de tránsito peatonal y vehicular ligero, avalando su seguridad y longevidad²⁴.
- Norma Técnica Colombiana – NTC 4205:2000, Define las propiedades físicas y clasificaciones de ladrillos y bloques cerámicos para mampostería. Cumplir con esta norma es esencial para asegurar la calidad en diversas aplicaciones constructivas²⁵.
- ISO 12100:2012, Proporciona los principios generales para el diseño de maquinaria segura, abordando la identificación de peligros y medidas de protección. Su adopción asegura el diseño de equipos que cumplen con altos estándares de seguridad para operadores y el entorno²⁶.

²² INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Guía para la identificación de los peligros y la valoración de los riesgos en seguridad y salud ocupacional. GTC 45. Bogotá D.C.: ICONTEC, 2010.

²³ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Dimensiones modulares de unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos. NTC 296. Bogotá D.C.: ICONTEC, 2000.

²⁴ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Adoquín de arcilla para tránsito peatonal y vehicular liviano. NTC 3829. Bogotá D.C.: ICONTEC, 2004.

²⁵ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos. NTC 4205. Bogotá D.C.: ICONTEC, 2000.

²⁶ ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (AENOR). Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación del riesgo y reducción del riesgo. UNE-EN ISO 12100. Madrid: AENOR, 2012.

5.4 ANTECEDENTES

En los avances recientes en la fabricación de ladrillos, Premkumar, Rama, Naga y Sowmya²⁷ desarrollaron una máquina que integra la tecnología Industrial Internet of Things (IIoT), permitiendo la producción automatizada de diversos tipos de ladrillos. Este equipo resulta particularmente atractivo para pequeñas empresas debido a su costo accesible y su sistema de monitoreo en tiempo real gestionado a través de una aplicación móvil, que facilita el control y ajuste de la producción sin necesidad de intervención directa. Por otro lado, el proyecto de Okereke y Keates²⁸ se centra en una máquina electrohidráulica para la fabricación de ladrillos en Nigeria, diseñada como una alternativa asequible a las máquinas importadas. Esta máquina produce ladrillos de mayor tamaño y superficie, optimizando el uso de materiales y reduciendo la cantidad de ladrillos necesarios en construcción. Su diseño incluye materiales locales, lo que la hace económicamente accesible para la población, contribuyendo así a enfrentar el déficit habitacional en el país.

La investigación de Damania y Soni²⁹ abordan el desarrollo de una máquina hidráulica completamente automática con el fin de reducir el impacto ambiental y mejorar las condiciones laborales en la industria ladrillera. La máquina se caracteriza por un diseño modular que permite adaptarse a diferentes tamaños de ladrillos y por un mecanismo de transferencia que disminuye el consumo energético. Este enfoque promueve la sostenibilidad al prescindir del proceso de cocción, reduciendo así las emisiones de gases contaminantes. Por su parte, la empresa Fujian Lianda Municipal Machinery Manufacturing Co., Ltd³⁰ desarrolló una máquina hidráulica para la fabricación de ladrillos con un sistema de moldes móviles y cabezales de compresión superior e inferior controlados por actuadores hidráulicos y un controlador PLC. Este diseño innovador permite la producción de ladrillos con una capa superficial de más de 20 mm sin necesidad de una segunda etapa de compresión, optimizando costos y mejorando la resistencia del producto al evitar la delaminación entre la capa superficial y el núcleo.

En cuanto a la patente de Zhengzhou Yuandong Brick Making Machinery Co., Ltd.³¹, esta describe una máquina hidráulica automatizada con sistema PLC que controla los movimientos de los moldes y cabezales de compresión, permitiendo compactar y desmoldar en una sola etapa. La máquina ajusta distintos grosores en la capa de compresión, logrando cohesión en el producto final y reduciendo costos al disminuir tiempos de operación y la intervención manual.

²⁷ PREMKUMAR, M., RAMA DEVI, G. NAGA, Y SOWMYA, R. Design and Implementation of Brick Making Machine Integrated with Smart IIoT Application. En: International Journal of Computing and Digital Systems. Mayo 2020. Vol.9, no.3, p. 471-481. ISSN 2210-142X.

²⁸ OKEREKE, MICHAEL Y KEATES, SIMEON. Finite Element Applications: A Practical Guide to the FEM Process. Cham, Suiza: Springer International Publishing AG, 2018. 451 p. ISBN 978-3-319-67124-6.

²⁹ DAMANIA, S. V., Y SONI, S. Development of hydraulically operated energy efficient machines for eco-friendly brick manufacturing. En: International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development, vol. 14, no. 4, 2023, pp. 455-466.

³⁰ WU, T. Nueva máquina hidráulica de ladrillos. CN 214925349 U. Patente de utilidad, solicitada el 16 de abril de 2021, otorgada el 30 de noviembre de 2021, Oficina Estatal de Propiedad Intelectual de la República Popular China.

³¹ WU, G. Máquina automática de prensado de ladrillos. CN 102129684 B. Patente de invención, solicitada el 21 de enero de 2011, otorgada el 27 de marzo de 2013, Oficina Estatal de Propiedad Intelectual de la República Popular China.

6 Q.F.D (QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT)

Para diseñar la prensa hidráulica, es fundamental considerar las necesidades del mercado y los requisitos de diseño. De igual manera, es necesario determinar la relación entre estos y realizar una ponderación para identificar la importancia de cada uno en el diseño final. Este proceso se lleva a cabo mediante un análisis de necesidades utilizando la matriz *Quality Function Deployment (QFD)*³².

6.1 NECESIDADES DEL MERCADO

El mercado presenta ciertos requerimientos mínimos para el desarrollo de esta máquina, con el objetivo de que las necesidades sean satisfechas de la manera más eficaz posible. Estos requisitos se han resumido en los siguientes siete aspectos:

1. Espacio disponible: La máquina debe ajustarse al espacio físico disponible en una planta industrial típica.
2. Seguridad de operación: La máquina debe operar de manera segura para los trabajadores, cumpliendo con las normas de seguridad.
3. Capacidad de producción (Nº Unidades / tiempo): La máquina debe ser capaz de producir una cantidad adecuada de ladrillos en un tiempo determinado.
4. Facilidad de operación: La máquina debe ser sencilla de usar para los operarios, con una interfaz amigable.
5. Calidad del producto: La máquina debe asegurar la calidad requerida por las normas mencionadas para la fabricación de ladrillos de arcilla.
6. Versatilidad en el tipo de ladrillos: La máquina debe ser capaz de manejar diversas geometrías y tamaños de ladrillos.
7. Costo: La máquina debe ser económicamente viable en términos de fabricación y operación.

³² AKAO, Y. Integrating Customer Requirements into Product Design. En: Quality Function Deployment. Nueva York: Productivity Press, 2004. p. 20-38.

6.2 MATRIZ DE PONDERACIÓN

Para establecer la relevancia de cada uno de estos requisitos, se emplea una matriz en la que se comparan los diferentes requerimientos entre sí, *ver tabla 1*.

Tabla 1. Matriz de ponderación de requerimientos

	1	2	3	4	5	6	7	Suma	Proporción	Porcentaje
1	-	0	0	1	0	0	0	1	0,05	5%
2	1	-	1	1	1	1	1	6	0,29	29%
3	1	0	-	1	0	1	1	4	0,19	19%
4	0	0	0	-	0	0	0	0	0,00	0%
5	1	0	1	1	-	1	1	5	0,24	24%
6	1	0	0	1	0	-	1	3	0,14	14%
7	1	0	0	1	0	0	-	2	0,10	10%
Total								21	1	100%

Fuente: elaboración propia.

6.2.1 Interpretación de los valores en la ponderación de las necesidades del mercado

En la matriz de ponderación, se emplean los valores 0 y 1 para expresar la prioridad relativa entre los criterios de diseño al comparar cada necesidad:

- Valor 0: Indica que un criterio es menos prioritario en relación directa con otro.
- Valor 1: Representa que un criterio es más relevante en comparación, debido a su influencia en la seguridad, calidad o productividad del equipo.

Este sistema permite evaluar con claridad la importancia de cada necesidad en el diseño de la prensa.

6.2.2 Explicación del resultado de la tabla de ponderación

6.2.2.1 Prioridades de diseño

- Seguridad de operación (29%): Constituye el criterio más relevante, reflejando la necesidad de asegurar un entorno seguro para los operarios.
- Calidad del producto (24%): Garantiza que los ladrillos cumplan altos estándares, lo que favorece la competitividad y satisfacción del cliente.
- Capacidad de producción (19%): Responde a la necesidad de cumplir con los volúmenes exigidos por el mercado en un tiempo adecuado.

6.2.2.2 Factores secundarios

- Versatilidad en el tipo de ladrillos (14%): Aporta flexibilidad en la producción de ladrillos con diferentes formas y tamaños.
- Costo (10%): Favorece la viabilidad económica sin sacrificar los criterios principales.

6.2.2.3 Consideraciones menores

- Espacio disponible (5%): Aunque relevante, su impacto es menor en el rendimiento global de la máquina.
- Facilidad de operación (0%): No ponderada, pues se considera que los operarios poseen el entrenamiento necesario para su manejo.

La matriz de ponderación permite priorizar los aspectos fundamentales y enfocar el diseño en las necesidades clave del mercado.

6.3 ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

Para llevar a cabo un diseño útil de la prensa hidráulica, se deben considerar las siguientes especificaciones:

- A. Materiales:** Los materiales utilizados en la construcción de la máquina deben ser duraderos y adecuados para soportar las cargas y condiciones de operación.
- B. Elementos de control y medición:** La máquina debe incluir sensores y sistemas de control que permitan monitorear y ajustar los parámetros de operación.

- C. Número de partes móviles:** La cantidad de partes móviles debe ser simplificada para reducir el desgaste y el mantenimiento.
- D. Número de partes estructurales:** La estructura de la máquina debe ser robusta y estable para garantizar la precisión y la seguridad.
- E. Potencia requerida:** La máquina debe tener suficiente potencia para realizar el trabajo sin problemas, pero también debe ser funcional en términos de consumo de energía.
- F. Facilidad de mantenimiento:** La máquina debe ser diseñada de manera que el mantenimiento sea sencillo y rápido, minimizando el tiempo de inactividad.

6.4 MATRIZ DE REQUISITOS Y NECESIDADES

En la *tabla 2* se comparan las necesidades del mercado con las especificaciones de diseño, evaluando el grado de alineación entre ellas.

Tabla 2. Matriz de requisitos y necesidades

Concepto	Peso	A		B		C		D		E		F	
Espacio disponible	0,05	0	0	0	0	9	0,45	9	0,45	0	0	0	0
Seguridad de operación	0,29	3	0,87	9	2,61	3	0,87	9	2,61	3	0,87	9	2,61
Capacidad de producción	0,19	9	1,71	9	1,71	3	0,57	3	0,57	9	1,71	3	0,57
Calidad del producto	0,24	9	2,16	9	2,16	3	0,72	9	2,16	9	2,16	3	0,72
Versatilidad en el tipo de ladrillos	0,14	0	0	0	0	9	1,26	3	0,42	3	0,42	3	0,42
Costo	0,1	9	0,9	9	0,9	3	0,3	9	0,9	9	0,9	3	0,3
TOTAL		5,64		7,38		4,17		7,11		6,06		4,62	

Fuente: elaboración propia.

6.4.1 Interpretación de los valores en la ponderación de la matriz de requisitos y necesidades

En la matriz de requisitos y necesidades, se emplean valores específicos para indicar la relación de cada especificación de diseño con las necesidades del mercado:

- Valor 0: Representa una contribución nula o mínima de la especificación a una necesidad particular en el diseño.
- Valor 3: Indica una contribución moderada, donde la especificación cumple con la necesidad en un grado intermedio.
- Valor 9: Señala una alta contribución de la especificación a la necesidad, mostrando que es fundamental para satisfacer este aspecto del mercado.

Este sistema de valores permite identificar y cuantificar con claridad el impacto de cada especificación en el cumplimiento de los requisitos del mercado.

6.4.2 Explicación del resultado de la tabla de requisitos y necesidades

6.4.2.1 Especificaciones principales

- Elementos de control y medición (7,38): Esta especificación tiene la mayor puntuación, mostrando que el control y el monitoreo continuo son esenciales para cumplir con las necesidades de seguridad y calidad.
- Número de partes estructurales (7,11): La estructura robusta es esencial para mantener la estabilidad y seguridad, respondiendo a la necesidad de una construcción precisa y segura.

6.4.2.2 Especificaciones secundarias

- Potencia requerida (6,06): La potencia asegura el funcionamiento adecuado bajo las cargas, cubriendo las necesidades de producción y versatilidad en los tipos de ladrillos.
- Materiales (5,64): La elección de materiales adecuados es crucial para soportar las condiciones operativas, lo que contribuye a la durabilidad y a la calidad del producto final.

6.4.2.3 Especificaciones menores

- Facilidad de mantenimiento (4,62): Permite realizar el mantenimiento de manera rápida y sencilla, lo que reduce el tiempo de inactividad de la máquina.

- Número de partes móviles (4,17): Aunque su impacto es menor, reducir las partes móviles ayuda a minimizar el desgaste, lo que beneficia la confiabilidad operativa.

Este análisis de la matriz orienta el diseño hacia las especificaciones clave, alineando la prensa hidráulica con las necesidades más valoradas del mercado.

6.5 SOLUCIONES ACTUALES EN EL MERCADO

En la *tabla 3* se presentan diversas prensas hidráulicas disponibles en el mercado, mostrando sus diferentes capacidades:

Tabla 3. Soluciones actuales en el mercado

Modelo	Tipo de Accionamiento	Producción (piezas/min)	Material de Ladrillos	Unidad Hidráulica de Potencia	Garantía	Dimensiones (mm)	Peso (kg)	Fabricación
Difar 150	Manual	2	Arcilla	NE	3 meses	NE	NE	Colombia
Difar 600	Semiautomático	4	Arcilla	6 toneladas	6 meses	NE	NE	Colombia
QMR2-40	Manual	2	Arcilla, suelo	NE	1 año	1300x600x1200	260	China
Eco Brava	Hidráulico	3	Arcilla, cemento, tierra	16 MPa	5 años	1200x800x1750	500	China
SHM2-10	Automático	6	Arcilla roja, polvo piedra	25 MPa	2 años	1700x1400x2300	1400	China
XM2-10	Automático	6	Suelo, arcilla	21 MPa	1 año	2100x1600x2200	1300	China
FL2-10	Automático	7.5	Arcilla roja, polvo piedra	22 MPa	1 año	2200x1050x2000	1500	China
CY2-25	Automático	4	Arcilla, suelo	22 MPa	1 año	1050x800x1200	700	China

Fuente: elaboración propia.

6.6 PRIORIZACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

La priorización de los requerimientos de diseño define los aspectos clave que orientarán el desarrollo de la prensa hidráulica, garantizando que el diseño responda a las expectativas del mercado y a los análisis realizados.

- Seguridad de operación. La seguridad en la operación es el aspecto más relevante en el diseño, orientado a minimizar riesgos para los operarios. Las prensas actuales confirman esta necesidad, incorporando sistemas de seguridad que protegen a los usuarios.
- Calidad del producto. La calidad del ladrillo es crucial para garantizar resistencia y durabilidad, aspectos fundamentales para la aceptación del producto en el mercado. Los modelos comerciales muestran la importancia de mantener altos estándares en este criterio.
- Capacidad de producción. La capacidad de producción es esencial para responder a las demandas de volumen en el mercado. Las prensas automáticas actuales reflejan esta necesidad al ofrecer capacidades elevadas de producción.
- Elementos de control y medición. Los elementos de control y medición permiten mantener precisión en los parámetros operativos, asegurando una operación controlada. Las prensas disponibles en el mercado integran sistemas de control, reafirmando la importancia de este criterio.
- Potencia requerida. La potencia es fundamental para alcanzar la capacidad de producción y manejar distintos tipos de ladrillos. Este requerimiento permite que la máquina cumpla con las condiciones de carga establecidas.
- Versatilidad en el tipo de ladrillos. La posibilidad de producir ladrillos de diferentes formas y tamaños aumenta la adaptabilidad del diseño a distintas aplicaciones en el mercado.
- Facilidad de mantenimiento. La facilidad de mantenimiento reduce el tiempo de inactividad, permitiendo que el diseño incluya acceso sencillo a las áreas de intervención de la máquina.
- Costo. El costo es un factor importante para asegurar que el equipo sea accesible en términos de inversión inicial y gastos de mantenimiento.
- Espacio disponible. Las dimensiones de la máquina deben ajustarse a los espacios industriales estándar, permitiendo su instalación en entornos de producción sin inconvenientes.

7 DISEÑO MECÁNICO

El diseño mecánico es clave en el desarrollo de equipos industriales, ya que afecta la durabilidad y seguridad de las máquinas durante su uso. En el caso de una prensa hidráulica para la fabricación de ladrillos, este aspecto es especialmente importante debido a las altas fuerzas de compresión y la necesidad de producción constante. Este capítulo aborda el diseño de los componentes principales, como el bastidor, el cilindro hidráulico y el molde de formación, asegurando que cumplan con las especificaciones necesarias para soportar las cargas de trabajo previstas.

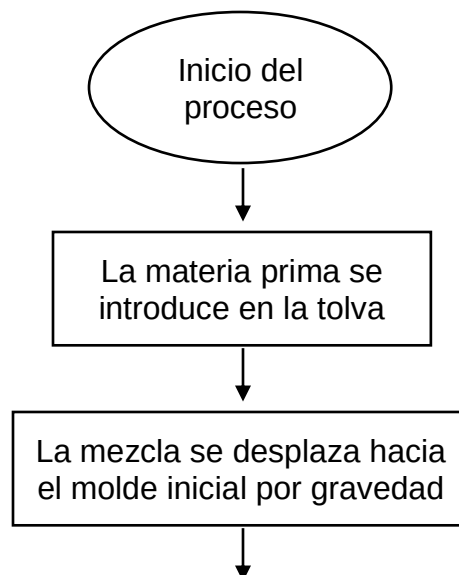
El objetivo es desarrollar un diseño robusto que cumpla con los estándares industriales, equilibrando funcionalidad y costos. La correcta implementación de este diseño garantizará no solo la operatividad de la prensa, sino también una base sólida para futuras simulaciones que mejorarán el proyecto.

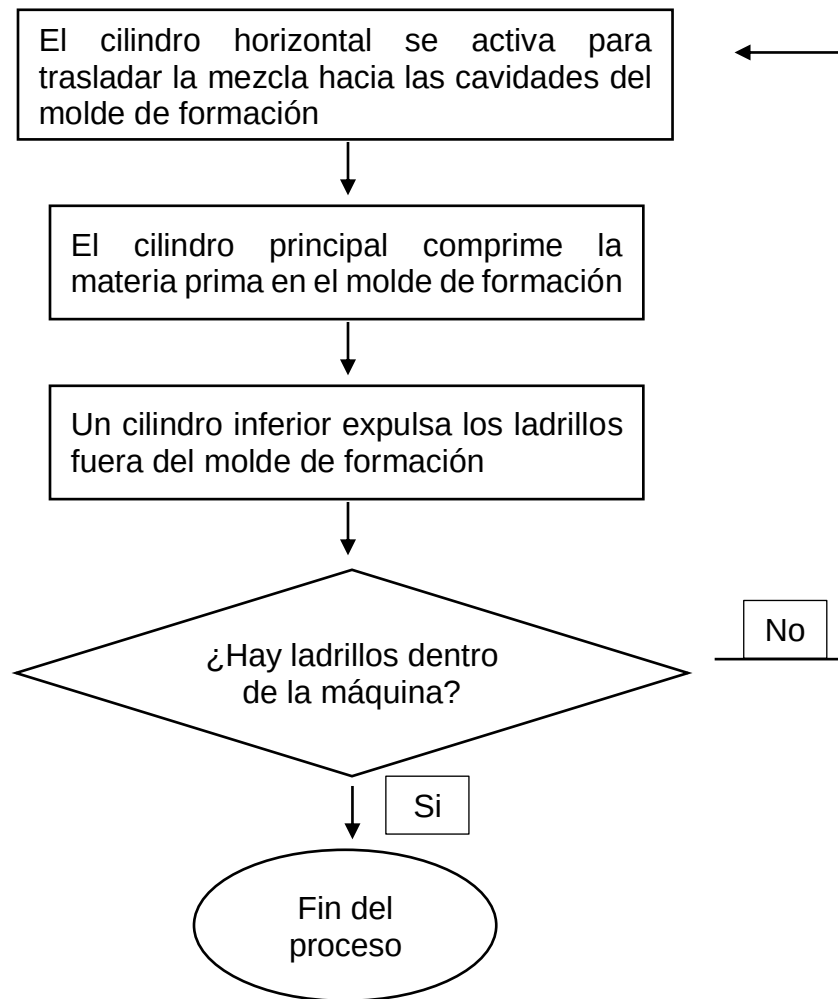
7.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PRENSA HIDRÁULICA

7.1.1 Visión general del funcionamiento

El funcionamiento de la prensa hidráulica diseñada para la fabricación de ladrillos sigue un proceso secuencial que asegura la calidad del producto final. A continuación, se describe cada etapa del proceso:

Figura 2. Funcionamiento de la prensa hidráulica





Fuente: elaboración propia

Cada etapa ha sido diseñada para funcionar en sincronía, garantizando un flujo de trabajo continuo, necesario para las demandas de producción en la fabricación de ladrillos.

7.2 ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

7.2.1 Requisitos funcionales

7.2.1.1 Capacidad de compresión

La capacidad de compresión de la prensa hidráulica se establece en un rango de 4 a 5 MPa, ajustada específicamente para el procesamiento de arcilla, según lo recomendado en el

estudio de Premkumar y Rama³³. Este rango de compresión se selecciona debido a que proporciona una densidad adecuada para los ladrillos de arcilla, asegurando su resistencia y durabilidad sin comprometer la maquinaria. La selección de este rango también se alinea con los valores típicos utilizados en la industria de fabricación de ladrillos, donde se busca un equilibrio entre el consumo de energía y la calidad del producto final.

7.2.1.2 Dimensiones del ladrillo

Las dimensiones del ladrillo a fabricar se definen según la norma colombiana *NTC 296:2000*³⁴, que especifica un largo de 240 mm, un ancho de 120 mm y una altura de 60 mm. Estas dimensiones se seleccionaron para garantizar la compatibilidad con las prácticas de construcción locales y las regulaciones industriales, facilitando la integración de los ladrillos en proyectos de construcción estándar.

7.2.1.3 Capacidad de producción

El diseño de la prensa hidráulica está proyectado para fabricar 4 ladrillos por cada ciclo operativo. Este número se ha definido a partir del análisis de prensas hidráulicas similares. La velocidad del proceso de producción estará influenciada principalmente por los costos asociados al sistema hidráulico. A medida que se gestionen de manera adecuada estos costos, la prensa podrá alcanzar un rendimiento que satisfaga las necesidades del mercado, manteniendo un equilibrio entre la productividad y la calidad del producto final, sin comprometer la viabilidad económica del proyecto. Esto refuerza la importancia de la *capacidad de producción* como uno de los requerimientos priorizados, garantizando que el diseño de la prensa responda tanto a la demanda del mercado como a la sostenibilidad del proyecto.

7.2.1.4 Espacio disponible

El diseño de la prensa se ha conceptualizado para ser compacto, con dimensiones que no superen los 2 metros en ninguna dirección (altura, ancho, profundidad). Esta limitación dimensional facilita el transporte de la prensa y su instalación en zonas industriales donde el espacio puede ser reducido. Mantener las dimensiones dentro de este rango permite que la máquina sea manejable y adaptable en diferentes entornos operativos, lo cual es esencial para garantizar su flexibilidad y utilidad en diversas configuraciones de producción.

El equipo ha sido proyectado para ofrecer una operación accesible y cómoda, permitiendo una interacción sencilla con la máquina y facilitando su manejo y mantenimiento en un entorno de trabajo adecuado para los operarios.

³³ PREMKUMAR, M., RAMA DEVI, G. NAGA, Y SOWMYA, R. Design and Implementation of Brick Making Machine Integrated with Smart IIoT Application. En: International Journal of Computing and Digital Systems. Mayo 2020. Vol.9, no.3, p. 471-481. ISSN 2210-142X.

³⁴ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Ingeniería Civil y Arquitectura. Dimensiones modulares de unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos. NTC 296. Bogotá D.C., Colombia. ICONTEC. 2000. 3 p.

7.2.1.5 Factor de seguridad en el diseño

El factor de seguridad de 1,3 ha sido elegido para garantizar que los componentes de la prensa hidráulica soporten las cargas de operación bajo condiciones controladas. Este valor proporciona un margen adecuado para absorber ligeras variaciones en las propiedades de los materiales y posibles imprecisiones de fabricación, sin sobredimensionar innecesariamente los elementos. Un factor de seguridad mayor incrementaría significativamente el costo del sistema hidráulico, ya que requeriría materiales y componentes de mayor capacidad, elevando considerablemente el presupuesto del proyecto.

7.3 DESARROLLO DEL DISEÑO MECÁNICO

7.3.1 Diseño del cilindro hidráulico principal

El diseño del cilindro hidráulico principal debe garantizar la generación de la fuerza necesaria para compactar la arcilla en el molde. Esta fuerza se calcula considerando la presión requerida para el proceso de compactación y el área proyectada de los ladrillos. La fuerza se determina por medio de la *ecuación 1*.

Donde:

$$P=5 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$A=0,1152 \text{ m}^2$$

$$F=5 \times 10^6 \times 0,1152=576.000 \text{ N} \quad (1)$$

Para garantizar que el sistema funcione correctamente bajo diferentes condiciones de operación y posibles variaciones, se aplica un factor de seguridad de 1,3. La fuerza total requerida, considerando este factor de seguridad, se ajusta utilizando la *ecuación 2*.

$$F_{\text{total}}=576.000 \times 1,3=750.000 \text{ N} \quad (2)$$

La fuerza de 750.000 N es el criterio de diseño que define las dimensiones del cilindro hidráulico. Este valor asegura que el cilindro funcione de manera segura bajo todas las condiciones de operación previstas.

7.3.1.1 Cálculo del diámetro del émbolo

Una vez determinada la fuerza requerida, el siguiente paso en el diseño del cilindro hidráulico principal es calcular el diámetro del émbolo. Este cálculo se basa en la relación entre la fuerza, la presión del sistema hidráulico y el área del émbolo.

Para este diseño, la presión del sistema hidráulico se ha establecido en 18.272,1 KPa por razones comerciales del catálogo SHID³⁵. Con esta presión, se procede a calcular el área del émbolo requerida para generar la fuerza previamente calculada. Esta área se determina despejándola mediante la *ecuación 1*.

$$A = \frac{750,000 \text{ N}}{18.272,114 \text{ Pa}} = 0,04105 \text{ m}^2 \quad (1)$$

Finalmente, el diámetro del émbolo se calcula utilizando la *ecuación 3*.

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0.04105}{\pi}} = 0.22861 \text{ m} \quad (3)$$

El diámetro del émbolo se establece entonces en 228,61 mm, lo que se utilizará para definir las dimensiones y seleccionar el cilindro hidráulico adecuado para este diseño.

7.3.1.2 Selección del material para la pared del cilindro hidráulico

La elección del material se basa en una combinación de factores, incluyendo su resistencia a la presión, su disponibilidad y su costo. A continuación, se presenta la *tabla 4* con la comparativa de materiales en aplicaciones similares:

Tabla 4. Selección del material para la pared del cilindro hidráulico

Material	Límite elástico (MPa)	Costo Relativo	Disponibilidad	Características
Acero A36	250	Bajo	Alta	Buena resistencia, ampliamente disponible y económico.
Acero 1045	415	Medio	Media	Alta resistencia, pero mayor costo y menor disponibilidad que A36.
Acero 4140	586	Alto	Media	Excelente resistencia, pero considerablemente más caro.

Fuente: elaboración propia.

³⁵ SHID. Catálogo. [sitio Web]. SHID S.A.S. [Consulta: 10 mayo 2024]. Disponible en: <https://shidcosas.com/catalogo/>

El acero A36 ha sido seleccionado debido a su equilibrio entre resistencia, costo y disponibilidad. Aunque existen materiales con mayor resistencia, como el acero 4140, estos implican un incremento significativo en el costo sin necesidad real de tal resistencia adicional para esta aplicación. Por lo tanto, el acero A36 ofrece una solución robusta y adecuada para el diseño del cilindro hidráulico.

7.3.1.3 Cálculo del espesor de la pared del cilindro

Con la fuerza requerida y el diámetro del émbolo ya determinados, el siguiente paso es calcular el espesor de la pared del cilindro hidráulico. Este espesor debe ser suficiente para soportar la presión interna generada durante la operación. El material seleccionado para el cilindro fue el acero A36.

El espesor de la pared se determina aplicando la ecuación 4.

$$t = \frac{18,272,114 \times 0,22861}{2 \times 250 \times 10^6} = 8,35 \times 10^{-3} \text{ m} \quad (4)$$

Por lo tanto, el espesor de la pared del cilindro debe ser de 8,35 mm para garantizar su resistencia estructural bajo las condiciones de operación previstas.

7.3.1.4 Selección del material para el vástago

Tabla 5. Selección del material del vástago

Propiedad	Acero A36	Acero 1045	Acero 4140
Límite elástico (MPa)	250	415	586
Resistencia a la Fatiga	Media	Alta	Muy Alta
Resistencia a la Corrosión	Baja	Media	Alta
Costo Relativo	Bajo	Medio	Medio-Alto
Disponibilidad	Alta	Media	Media
Características	Económico, buena disponibilidad	Alta resistencia, adecuada para aplicaciones estructurales	Excelente para aplicaciones que requieren alta resistencia y durabilidad

Fuente: elaboración propia.

Para el diseño del vástago del cilindro hidráulico, se ha seleccionado el *acero 4140* por sus buenas propiedades mecánicas, como su alta resistencia a la tracción, resistencia a la fatiga y durabilidad bajo condiciones de operación exigentes. Este material es adecuado para aplicaciones que requieren alta fiabilidad, especialmente en sistemas hidráulicos que trabajan bajo cargas fuertes.

7.3.1.5 Diámetro y recorrido del vástago

El diámetro del vástago se ha fijado en $88,9\text{ mm}$, conforme a su disponibilidad por el fabricante. Este diámetro es ampliamente utilizado en aplicaciones industriales, asegurando la facilidad de fabricación y adquisición, a su vez proporciona un margen de seguridad adecuado para soportar las exigencias operativas.

Al mismo tiempo el recorrido del vástago se ha determinado en 300 mm , siendo este recorrido adecuado para cumplir con las dimensiones del recorrido que tendrá que realizar en el bastidor principal, garantizando que el vástago pueda completar el ciclo de operación de manera adecuada y sin restricciones.

7.3.1.6 Diseño del extremo del vástago

El diseño del extremo del vástago es un componente esencial para asegurar la adecuada transferencia de fuerza desde el cilindro hidráulico hacia la carga aplicada. En este caso, se ha decidido utilizar un *extremo roscado* debido a su capacidad para ofrecer una conexión robusta y desmontable, cumpliendo con los requisitos de operación y mantenimiento.

7.3.1.7 Diámetro y tipo de rosca

El diámetro y tipo de rosca se han seleccionado basándose en tablas de roscas normalizadas³⁶. Tras evaluar las opciones, se ha determinado que una rosca M80x4 es la elección más apropiada, considerando su capacidad para soportar las cargas exigidas. Este diseño asegura una conexión sólida y confiable, apropiado para aplicaciones hidráulicas con altas cargas axiales.

7.3.1.8 Cálculo del área de la raíz de la rosca

El área de la raíz de la rosca se calcula utilizando la *ecuación 5*.

$$A_r = \frac{\pi \times (0,08 - 0,9382 \times 0,004)^2}{4} = 0,00457\text{ m}^2 \quad (5)$$

³⁶ TORNILLERA ARAGONESA S.A. Tabla de Roscas Normalizadas. Zaragoza, España. 2017. 9 p. Disponible en: http://www.tornillera.com/archivos/info_tecnica/esp/tabla_roscas.pdf.

7.3.1.9 Cálculo de la tensión en la raíz de la rosca

Verificar la resistencia en la raíz de la rosca es crucial, dado que esta es la zona con la menor sección transversal y, por lo tanto, es más vulnerable a las concentraciones de esfuerzo. La tensión en la raíz de la rosca se calcula utilizando la *ecuación 6*.

$$\sigma = \frac{750.000}{0,00457} = 164.260.000 \text{ Pa} = 164 \text{ MPa} \quad (6)$$

7.3.1.10 Comparación con el esfuerzo admisible

El esfuerzo de fluencia para el acero 4140 es $\sigma_y = 586 \text{ MPa}$. Comparando este valor con la tensión calculada en la raíz de la rosca:

$$\sigma = 164,26 \text{ MPa} \text{ es menor que } \sigma_y = 586 \text{ MPa}$$

Dado que la tensión calculada es significativamente inferior al esfuerzo admisible, se concluye que el diseño del extremo roscado es seguro para las condiciones operativas previstas, cumpliendo de esta manera con el factor de seguridad establecido.

7.3.1.11 Análisis de pandeo del vástago del cilindro principal

El análisis de pandeo es esencial para asegurar que el vástago del cilindro principal de la prensa hidráulica soporte las cargas aplicadas sin comprometer su estabilidad estructural. En este análisis, se considera una fuerza aplicada de 750.000 N, un diámetro de 0,0889 m para la sección transversal del vástago y una longitud total de 0,52 m.

- Cálculo del radio de giro. El radio de giro del perfil se calcula usando la *ecuación 7* y se aplica para analizar si el perfil puede soportar el pandeo.

$$k = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (7)$$

- Cálculo del momento de inercia. Para un vástago de sección circular sólida, el momento de inercia se determina mediante la *ecuación 8*.

$$I = \frac{\pi \times (0,0889)^4}{64} = 3,066 \times 10^{-6} \text{ m}^4 \quad (8)$$

- El área de la sección transversal del elemento circular se calcula usando la *ecuación 10*.

$$A = \frac{\pi \times (0,0889)^2}{4} = 0,00621 \text{ m}^2 \quad (10)$$

Sustituyendo en la *ecuación 7*:

$$k = \sqrt{\frac{3,066 \times 10^{-6}}{0,00621}} = 0,0223 \text{ m} \quad (7)$$

- Razón de esbeltez. Es para evaluar el riesgo de pandeo en elementos largos. Este valor se determina usando la *ecuación 11*.

$$S_r = \frac{0,52}{0,0223} = 23,32 \quad (11)$$

Un valor de $S_r > 10$ indica que el vástago es considerado esbelto y, por lo tanto, susceptible al pandeo, lo que justifica la necesidad de calcular la carga crítica.

- Carga crítica. Ayuda a determinar el límite de carga antes del pandeo en la estructura. Este valor se calcula mediante la *ecuación 12*.

Donde E es el módulo de elasticidad del acero SAE-4140, con un valor de $210 \times 10^9 \text{ Pa}$.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \times (210 \times 10^9) \times (3,066 \times 10^{-6})}{0,52^2} = 23.550 \text{ kN} \quad (12)$$

Este resultado demuestra que la carga crítica es significativamente mayor que la fuerza aplicada de 750.000 N, lo que indica que el vástago se encuentra dentro de condiciones seguras de operación y no sufrirá pandeo bajo las cargas de diseño especificadas.

7.3.2 Selección de los cilindros hidráulicos No. 2 y No. 3

En el diseño de la prensa hidráulica, se establece que los *cilindros hidráulicos No. 2 y No. 3* no requieren análisis adicionales, dado que el fabricante SHIDCO³⁷ ofrece estos cilindros con las dimensiones y la capacidad necesarias para su funcionamiento. Cada uno de estos cilindros

³⁷ SHID. Catálogo. [sitio Web]. SHID S.A.S. [Consulta: 10 mayo 2024]. Disponible en: <https://shidcosas.com/catalogo/>

cuenta con un eje de 25,4 mm y dimensiones de camisa de 50,8 mm x 63,5 mm, con carreras de 200 mm y 300 mm, respectivamente.

La capacidad nominal de estos cilindros es de 0.5 toneladas, valor que supera considerablemente la carga máxima de trabajo de 0.08 toneladas requerida en esta aplicación. Este margen proporciona un factor de seguridad adecuado para las condiciones de operación sin comprometer la integridad de la estructura. Por lo tanto, al estar disponibles en el mercado con las especificaciones técnicas necesarias, no se requiere un análisis adicional para validar su desempeño.

7.3.3 Diseño del bastidor principal

7.3.3.1 Proceso de selección del perfil estructural

El bastidor principal de la prensa hidráulica desempeña un papel fundamental en el diseño de la máquina, ya que está encargado de soportar las altas cargas que se generan durante la compresión de los ladrillos de arcilla. La fuerza de operación, calculada en 750.000 N, impone estrictas demandas sobre los componentes estructurales del bastidor, lo que hace que la elección del perfil estructural adecuado sea un paso crítico para garantizar no solo la integridad y estabilidad de la prensa, sino también su durabilidad y seguridad en condiciones de trabajo. Para asegurar la selección del perfil estructural más apropiado, se realizó un análisis de las diferentes opciones disponibles en el mercado. Este análisis incluyó la evaluación de la capacidad de los perfiles para resistir la carga aplicada, así como otros factores relevantes como la facilidad de fabricación, la disponibilidad en el mercado y la relación costo-beneficio.

Entre los perfiles estructurales considerados se encuentran el perfil cuadrado, el perfil IPE (perfil en I europeo) y el perfil HEA (perfil en H europeo). A continuación, se presenta una tabla comparativa que sintetiza las características clave de cada perfil, las cuales fueron determinantes en el proceso de selección.

Tabla 6. Perfiles evaluados para el bastidor

Características	Perfil Cuadrado	Perfil IPE (Perfil en I Europeo)	Perfil HEA (Perfil en H Europeo)
Forma	Cuadrada	I	H
Inercia (I_x/I_y)	Igual en ambas direcciones	Alta en una dirección, baja en la otra	Alta en ambas direcciones
Capacidad de carga	Moderada	Alta en la dirección de la altura	Alta en ambas direcciones

Facilidad de fabricación	Alta	Media	Baja
Disponibilidad comercial	Alta	Alta	Media
Relación peso/resistencia	Media	Alta	Alta

Fuente: elaboración propia.

Los análisis específicos de cada perfil estructural se detallan en la siguiente sección, proporcionando los fundamentos necesarios para la selección final del perfil más adecuado para el bastidor principal de la prensa hidráulica.

7.3.3.2 Selección del tipo de material para el bastidor

Tabla 7. Materiales para perfil cuadrado

Característica	Acero A36	ASTM A-500 Grado C
Resistencia a la Tracción	400 - 550 MPa	415 - 630 MPa
Límite Elástico	250 MPa	345 MPa
Ductilidad	Alta	Media
Disponibilidad Comercial	Alta	Media
Costo	Bajo	Medio
Aplicaciones Comunes	Construcción general	Estructuras críticas

Fuente: elaboración propia basado en G&J.

- Justificación de selección. Se selecciona el Acero A36 para el perfil cuadrado debido a su alta disponibilidad comercial y bajo costo, lo que facilita su adquisición y asegura una ejecución adecuada del proyecto. Aunque el ASTM A-500 Grado C presenta un límite elástico mayor, la ductilidad y las propiedades del Acero A36 son suficientes para las demandas del diseño, garantizando un comportamiento estructural confiable.

Tabla 8. Materiales para los perfiles IPE y HEA

Característica	A-572 Grado 50
Resistencia a la Tracción	485 - 620 MPa
Límite Elástico	345 MPa
Ductilidad	Alta
Disponibilidad Comercial	Alta
Costo	Medio
Aplicaciones Comunes	Estructuras de alta resistencia

Fuente: elaboración propia basado en Fajobe.

- Justificación de selección. El *A-572 Grado 50* se selecciona para los perfiles IPE y HEA debido a su disponibilidad predominante en el mercado para este tipo de aplicación estructural. Adicional este material ofrece las propiedades mecánicas necesarias para asegurar que las vigas cumplan con los requerimientos estructurales, proporcionando un rendimiento seguro en aplicaciones de alta demanda.

7.3.3.3 Análisis de los perfiles de la viga móvil superior

En esta subsección se presenta un análisis de los diferentes perfiles estructurales evaluados para el bastidor principal de la prensa hidráulica. Este análisis se enfoca específicamente en la viga móvil superior conectada al cilindro principal, que es un componente crítico debido a las elevadas cargas que debe soportar durante la operación de la máquina.

- Procedimiento de cálculo para el perfil HEA 100. El perfil HEA 100 fue seleccionado como uno de los principales candidatos para el diseño del bastidor. A continuación, se detalla el procedimiento analítico empleado para evaluar la capacidad de este perfil bajo las condiciones de carga impuestas.
 - Datos iniciales
 - Tipo de viga: Viga HEA 100.
 - Longitud de la viga: $L = 1,015$ m.
 - Carga aplicada: $P = 750.000$ N (carga puntual en el centro).
 - Condiciones de frontera: Viga empotrada en ambos extremos.

- El cálculo del momento máximo en la viga, considerando su condición de empotramiento y carga puntual, se realiza con la *ecuación 13*.

$$M_{max} = \frac{750.000 \times 1,015}{8} = 95.156,25 \text{ N m} \quad (13)$$

- La tensión de flexión máxima se calcula considerando el momento máximo y la distancia de la mitad de la altura de la viga. Este valor se determina mediante la *ecuación 14*.

$$\sigma_{max} = \frac{95.156,25 \times (\frac{0,096}{2})}{6,88 \times 10^{-6}} = 663,88 \text{ MPa} \quad (14)$$

- Tensión cortante máxima se evalúa en la sección bajo análisis, tomando en cuenta la fuerza cortante y las propiedades de la sección. El cálculo se realiza mediante la *ecuación 15*.

$$\tau_{max} = \frac{V \times Q}{I \times t} \quad (15)$$

- Fuerza cortante máxima se determina para garantizar que el perfil soporte las cargas aplicadas, calculada con la *ecuación 16*.

$$V = \frac{750.000}{2} = 375.000 \text{ N} \quad (16)$$

- El primer momento de área se utiliza para calcular la tensión cortante máxima en el alma de la viga. Este valor se obtiene usando la *ecuación 17*.

$$Q = A_{alma} \times y_{centro} \quad (17)$$

- El área del alma se calcula con la *ecuación 18*, para analizar la resistencia al esfuerzo cortante.

$$A_{alma} = 0,085 \times 0,005 = 4,25 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \quad (18)$$

Sustituyendo los valores en la *ecuación 17*.

$$Q = 4,25 \times 10^{-4} \times \frac{0,085}{2} = 1,81 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \quad (17)$$

Para el cálculo de la tensión cortante máxima se sustituyendo los valores en la *ecuación 15*.

$$\tau_{\max} = \frac{375.000 \times 1,81 \times 10^{-5}}{6,88 \times 10^{-6} \times 0,005} = 196,9 \text{ MPa} \quad (15)$$

- Esfuerzo de von Mises. Se calcula para evaluar la resistencia del material frente a la combinación de tensiones. Este valor se determina mediante la *ecuación 19*, mencionada en la *sección 1.1.2.1*.

$$\sigma_{\text{von Mises}} = \sqrt{663,88^2 + 3 \times 196,9^2} = 746,36 \text{ MPa} \quad (19)$$

7.3.3.4 Comparación de resultados para diferentes perfiles de la viga móvil superior

Con el fin de evaluar la viabilidad de los diferentes perfiles estructurales, se llevó a cabo un análisis comparativo entre la viga HEA 100, la viga IPE 100, y el perfil cuadrado de 100 mm x 100 mm con un espesor de 3 mm. La *tabla 9* resume los resultados de estos análisis, destacando las tensiones normales máximas, los esfuerzos cortantes máximos y los esfuerzos de *von Mises* para cada perfil.

Tabla 9. Comparativa de los análisis de esfuerzo máximo de von Mises para diferentes perfiles estructurales de la viga móvil superior

Operación	Momento máximo ($M_{\max}$)	Tensión flexión máxima ($\sigma_{\max}$)	Tensión cortante máximo ($\tau_{\max}$)	Esfuerzo de <i>von Mises</i> ($\sigma_{\text{von Mises}}$)
Viga HEA 100	95.156,25 N m	663,88 MPa	196,9 MPa	746,9 MPa
Viga IPE 100	95.156,25 N m	916,7 MPa	299,2 MPa	1053 MPa
Perfil Cuadrado 100x100x3 mm	95.156,25 N m	1.834,4 MPa	826,2 MPa	2.326,5 MPa

Fuente: elaboración propia.

- Al analizar los resultados obtenidos para los tres perfiles estructurales, se evidencia que, al enfocarse en el esfuerzo máximo de *von Mises*, ninguno de los perfiles evaluados cumple con el límite elástico de los materiales correspondientes. Esto indica que, bajo las condiciones de carga actuales, todos los perfiles superan las capacidades de sus respectivos materiales, lo que podría comprometer la integridad estructural del bastidor principal.

De los perfiles analizados, la *viga HEA 100* presentó un resultado más favorable en comparación con los otros dos perfiles, mostrando un esfuerzo máximo de *von Mises* de 746,9 MPa. Aunque este valor sigue excediendo el límite elástico del material, es el más bajo entre los perfiles considerados, lo que la convierte en la opción más viable para una posible mejora.

Con base en este resultado, se ha decidido que la *viga HEA 100* será objeto de un análisis más detallado mediante simulaciones por Elementos Finitos (*FEA*). Este análisis permitirá ajustar y mejorar la geometría y configuración del perfil HEA 100, con el objetivo de garantizar que el esfuerzo de *von Mises* no supere el límite elástico del material, asegurando así la integridad y seguridad del bastidor principal.

7.3.3.5 Análisis de las columnas del bastidor principal

En esta subsección se aborda el análisis estructural de las columnas del bastidor principal, un componente crucial en el diseño de la prensa hidráulica para la fabricación de ladrillos. Las columnas deben soportar las cargas aplicadas durante la operación, garantizando la estabilidad y seguridad de la estructura. Para ello, se han evaluado varios tipos de perfiles estructurales con el fin de determinar la opción más adecuada para este diseño.

- Desarrollo del análisis para el perfil cuadrado. Para el análisis inicial, se seleccionó un perfil cuadrado de 100x100x3 mm. La carga total aplicada por el sistema hidráulico es de 750.000 N, la cual se distribuye uniformemente entre las cuatro columnas, resultando en una carga de 187.500 N por columna.
 - Cálculo del momento de inercia (I). Para un perfil cuadrado hueco, se calcula utilizando la siguiente ecuación 9.

$$I = \frac{0,1 \times (0,1)^3 - (0,094)(0,094)^3}{12} = 1,827 \times 10^{-6} \text{ m}^4 \quad (9)$$

- Cálculo de la carga crítica de pandeo (P_{cr}). La carga crítica de pandeo se determina utilizando la ecuación 12 de Euler.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \times 200 \times 10^9 \times 1,827 \times 10^{-6}}{(0,5 \times 1,420)^2} = 7.154.043 \text{ N} \quad (12)$$

- Cálculo del Esfuerzo Normal (σ). El esfuerzo normal se determina aplicando la ecuación 6.

Donde $P=187.500 \text{ N}$ es la carga aplicada en cada columna y $A=9,4 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ es el área de la sección transversal del perfil cuadrado.

$$\sigma = \frac{187.500}{9,4 \times 10^{-4}} = 161,08 \text{ MPa} \quad (6)$$

El esfuerzo calculado está dentro de los límites aceptables para el acero A36, que tiene un límite elástico de 250 MPa.

7.3.3.6 Comparativa de los diferentes perfiles analizados para las columnas

Para garantizar la seguridad y adecuación del diseño, se evaluaron otros perfiles estructurales, incluyendo el perfil HEA 100 y el perfil IPE 100. A continuación, se presenta la tabla 10 con los resultados obtenidos para cada perfil:

Tabla 10. Comparativa de los análisis de esfuerzo normal para diferentes perfiles estructurales

Característica	Perfil Cuadrado 100x100x3 mm	HEA 100	IPE 100
Área de la sección transversal (A)	$9,4 \times 10^{-4} \text{ m}^2$	$20,9 \times 10^{-4} \text{ m}^2$	$13,3 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
Momento de inercia (I)	$1,827 \times 10^{-6} \text{ m}^4$	$673 \times 10^{-6} \text{ m}^4$	$444 \times 10^{-6} \text{ m}^4$
Carga crítica de pandeo (P_{cr})	7.154 KN	2.635.288 KN	1.738.585 KN
Esfuerzo Normal (σ)	161,08 MPa	89,71 MPa	140,98 MPa

Fuente: elaboración propia.

- Justificación de la selección del perfil para las columnas. Se ha decidido seleccionar el perfil cuadrado de 100x100x3 mm como la opción más adecuada para el diseño de la prensa hidráulica.
- Razones de la selección:
 - Equilibrio entre resistencia y costo. El perfil cuadrado ofrece un balance óptimo entre resistencia estructural y costos de material. Aunque los perfiles HEA 100 e IPE 100 demostraron una mayor capacidad de carga y menor esfuerzo normal, la diferencia en costos es significativa. En proyectos industriales, donde el presupuesto juega un papel crucial, optar por una solución que cumpla con los requisitos de diseño sin exceder los costos estimados es fundamental.

- Suficiente capacidad de carga. Aunque el perfil cuadrado no tiene la misma capacidad de carga que los perfiles HEA e IPE, los análisis mostraron que el esfuerzo normal en el perfil cuadrado está dentro de los límites aceptables para el material, garantizando un rendimiento adecuado bajo las condiciones de carga esperadas en la operación de la prensa.
- Compatibilidad con el diseño general: La forma simétrica del perfil cuadrado facilita la integración con otros componentes del bastidor, asegurando una distribución uniforme de la carga y una mayor facilidad en el ensamblaje. Esto contribuye a una mayor simplicidad en el proceso de manufactura y a una reducción de posibles errores de instalación.

7.3.4 Uniones en el diseño del bastidor principal

7.3.4.1 Uniones entre vigas y columnas

Las uniones entre vigas y columnas en el bastidor principal se realizarán mediante *soldadura con electrodo revestido* E7018 de 1/8". Este tipo de soldadura es adecuado para los materiales seleccionados, con columnas de acero A36 y vigas HEA de acero A-572 Grado 50. El electrodo E7018 se caracteriza por su excelente resistencia mecánica y ductilidad, proporcionando uniones fuertes y confiables, esenciales para garantizar la integridad estructural bajo las cargas operativas. El revestimiento del electrodo facilita una soldadura de alta calidad, al reducir la porosidad y ofrecer una buena penetración, lo que resulta en una unión segura y resistente.

7.3.4.2 Uniones del bastidor principal con el bastidor secundario

El ensamblaje del bastidor principal con el bastidor secundario se realizará mediante uniones atornilladas. Esta elección permite un desmontaje y mantenimiento sencillo de componentes críticos como la tolva, el molde transportador y la unidad de potencia, asegurando al mismo tiempo una conexión segura.

7.3.4.3 Conexiones de sistemas hidráulicos y de moldes

Las conexiones de los sistemas hidráulicos y de los moldes se implementarán también mediante uniones atornilladas, garantizando la accesibilidad para mantenimiento y ajustes sin comprometer la estructura.

7.3.5 Acabados para la prensa hidráulica

Para proteger la estructura de la prensa hidráulica y garantizar su durabilidad, se ha seleccionado un proceso de acabado que incluye la aplicación de un recubrimiento anticorrosivo seguido de pintura de acabado. Esta combinación proporciona una protección robusta contra la corrosión y el desgaste, extendiendo la vida útil del equipo.

- Protección contra la corrosión. Primero, se aplica un recubrimiento anticorrosivo, que forma una barrera efectiva contra la humedad y agentes corrosivos, siendo adecuado para los materiales de acero A36 y A-572 Grado 50. Esto asegura la longevidad de las superficies expuestas, reduciendo el riesgo de oxidación.
- Durabilidad. Después del anticorrosivo, se aplican dos capas de pintura esmalte sintético, que proporciona alta resistencia al impacto y a la abrasión, garantizando que las superficies tratadas soporten condiciones industriales. Esto minimiza el mantenimiento y prolonga la vida útil de la prensa.
- Aplicación. El proceso recomendado consiste en aplicar primero una imprimación anticorrosiva y luego las capas de pintura, asegurando una cobertura uniforme y una protección duradera contra agentes externos.

7.3.6 Diseño del molde de formación

El molde de formación es un componente esencial en la prensa hidráulica, diseñado para moldear, compactar y expulsar los ladrillos de arcilla. Este molde se compone de tres partes principales: el molde central, que permanece fijo durante el proceso, el molde superior, encargado de realizar la compactación y el molde inferior, que expulsa los ladrillos hacia la parte superior. Cada parte del molde ha sido diseñada para cumplir con los requisitos de precisión, durabilidad y facilidad de mantenimiento, asegurando así la calidad en el proceso de fabricación.

7.3.6.1 Selección de materiales para el molde

Se ha seleccionado Acero A36 con un espesor de 12 mm para la fabricación de las tres partes del molde de formación. Este material ofrece una combinación adecuada de resistencia mecánica y costo, siendo capaz de soportar las altas presiones de compactación sin sufrir deformaciones significativas. De igual forma se realizarán análisis de esfuerzos máximos mediante Análisis por Elementos Finitos (siglas en inglés, FEA) para verificar la integridad estructural del diseño bajo las condiciones operativas previstas.

7.3.6.2 Geometría y dimensiones del molde

El molde ha sido diseñado con las siguientes dimensiones: 240 mm de longitud, 120 mm de ancho, y una altura ajustable de hasta 150 mm. Esta altura ajustable permite adaptarse a diferentes densidades de arcilla, asegurando que el molde pueda recibir la cantidad adecuada de material necesario para una compactación correcta. El molde contará con cuatro cavidades, distribuidas de manera uniforme para aumentar la capacidad de producción y garantizar la uniformidad en la compactación de los ladrillos.

7.3.7 Propuesta de diseños alternativos para la prensa hidráulica

En el desarrollo del proyecto se plantearon dos alternativas adicionales al diseño principal de la prensa hidráulica, considerando diferentes configuraciones estructurales y de funcionamiento. Estas alternativas, que complementan el diseño principal, se encuentran documentadas en el Anexo F, ofreciendo una visión ampliada de las posibles soluciones para el proceso de fabricación de ladrillos.

7.3.8 Diseño CAD en Autodesk Inventor

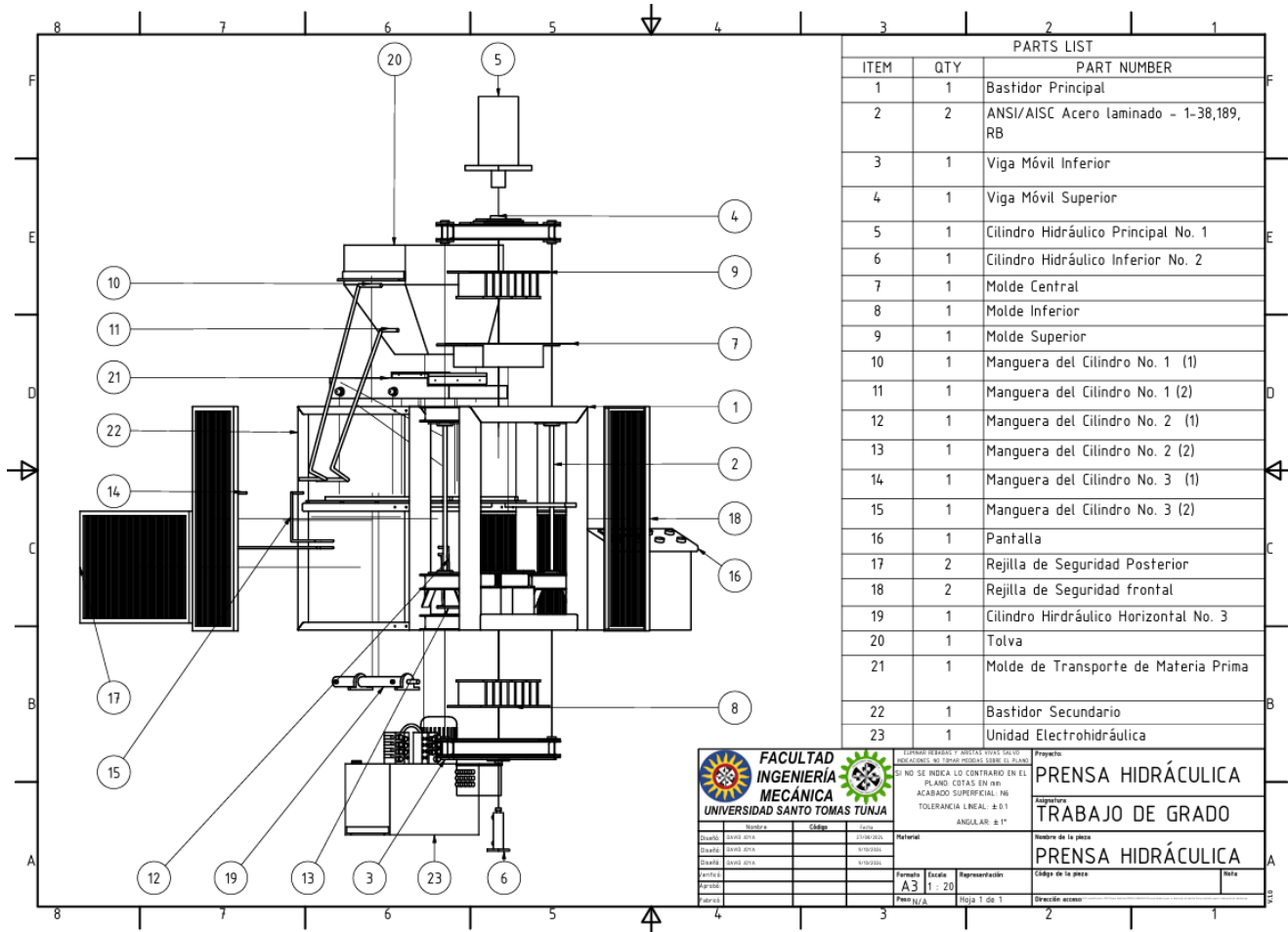
El diseño CAD de la prensa hidráulica se ha realizado utilizando el software *Autodesk Inventor*, permitiendo una representación precisa y detallada como se muestra en la figura 3 y 4 de cada uno de los componentes principales.

Figura 3. Diseño CAD de la prensa hidráulica para fabricación de ladrillos



Fuente: elaboración propia.

Figura 4. Plano de explosionado de la prensa hidráulica para fabricación de ladrillos



Fuente: elaboración propia.

7.4 RESULTADOS DEL DISEÑO MECÁNICO

- Capacidad de compresión: Se definió una presión de 4 a 5 MPa, adecuada para compactar la arcilla y garantizar la resistencia de los ladrillos conforme a los antecedentes mencionados.
- Dimensiones del ladrillo: Las dimensiones se ajustaron según la norma NTC 296, estableciendo un largo de 240 mm, un ancho de 120 mm y una altura de 60 mm, asegurando la compatibilidad con las prácticas de construcción.
- Producción y tamaño: La prensa está diseñada para fabricar *4 ladrillos por ciclo*, manteniendo un diseño compacto que no excede los *2 metros* en altura, ancho o profundidad, lo cual facilita su instalación en áreas industriales con espacio limitado.

- Cilindro hidráulico principal: Los análisis realizados confirman que el diseño propuesto cumple con las especificaciones necesarias para generar una fuerza de 750,000 N. El cilindro incluye un *émbolo de 228.61 mm de diámetro* y un *espesor de pared de 8.35 mm*, lo cual proporciona la resistencia requerida para las operaciones de compactación. Estos resultados se asemejan a los datos del fabricante, lo que ratifica su validez. Debido a que sus dimensiones no se encuentran disponibles comercialmente, este cilindro debe ser fabricado.
- Cilindros hidráulicos No. 2 y No. 3: Cumplen con las especificaciones requeridas gracias a su disponibilidad comercial, proporcionando una capacidad de *0.5 toneladas* frente a la carga máxima de *0.08 toneladas*.
- Selección de materiales: El *acero A36* fue elegido para el bastidor y el molde debido a su disponibilidad, bajo costo y resistencia adecuada. Para el vástago del cilindro hidráulico, se seleccionó el *acero 4140*, reconocido por su durabilidad bajo cargas intensas.
- Bastidor principal: Se evaluaron diferentes perfiles estructurales. El *perfil HEA 100* fue seleccionado para las vigas móviles, mientras que el *perfil cuadrado de 100x100x3 mm* fue escogido para las columnas, ofreciendo un equilibrio entre resistencia y costo, con capacidad suficiente para soportar las cargas operativas.
- Molde de formación: El molde está compuesto por *cuatro cavidades* y fue diseñado con *acero A36 de 12 mm de espesor*, lo que garantiza su resistencia frente a las presiones de compactación requeridas.
- Uniones y acabados: Las uniones entre las vigas y las columnas se realizarán mediante *soldadura con electrodo E7018 de 1/8"*, asegurando una conexión resistente. El acabado de la prensa contará con *anticorrosivo y pintura esmalte sintético* para protegerla de la corrosión y prolongar su vida útil.

8 ANÁLISIS ESTÁTICO POR ELEMENTOS FINITOS

En el diseño de la prensa hidráulica para la fabricación de ladrillos de arcilla, las simulaciones por elementos finitos (siglas en inglés, *FEA*) son fundamentales para garantizar la integridad estructural bajo las condiciones de operación. Este capítulo se enfoca en realizar análisis estáticos mediante *FEA* para identificar y evaluar los puntos críticos del diseño, asegurando que los componentes principales, como las vigas y columnas del bastidor, soporten las cargas sin fallos.

Las simulaciones estáticas permiten analizar la distribución de esfuerzos y deformaciones bajo cargas constantes, lo cual es esencial para verificar la seguridad y confiabilidad del diseño. Este análisis proporcionará los datos necesarios para ajustar el diseño de la prensa, garantizando su funcionalidad y durabilidad.

8.1 SOFTWARE Y HERRAMIENTAS

Para llevar a cabo las simulaciones por elementos finitos en el diseño de la prensa hidráulica, se utilizó *Autodesk Inventor Nastran 2024*. La elección de este software se justifica por su integración completa con *Autodesk Inventor Professional 2024*, lo que permite un flujo de trabajo continuo entre el modelado CAD y el análisis estructural. Esta integración facilita iteraciones rápidas en el diseño, garantizando que las modificaciones realizadas en el modelo CAD se reflejen de inmediato en las simulaciones, mejorando el proceso. Además, *Nastran 2024* ofrece capacidades avanzadas de análisis estructural que no están disponibles en versiones limitadas como las licencias de estudiante de *ANSYS*, lo que lo convierte en la herramienta adecuada para este proyecto, donde se puede realizar análisis complejos sin restricciones fundamentales para garantizar la viabilidad del diseño.

8.2 LIMITACIONES CONOCIDAS DEL FEA

A pesar de las ventajas significativas del FEA, existen ciertas limitaciones técnicas que deben considerarse al interpretar los resultados obtenidos:

- Simplificaciones del modelo. En FEA, a menudo se simplifican tanto la geometría como las condiciones de carga para hacer el problema computacionalmente manejable. Estas simplificaciones pueden excluir detalles finos de la estructura que son críticos para su comportamiento real, lo que podría llevar a resultados que no representen fielmente las condiciones operativas.
- Dependencia del tamaño de la malla: La precisión en los resultados del análisis por elementos finitos depende fuertemente de la calidad y tamaño de la malla utilizada. Una malla inadecuada puede no capturar las concentraciones de esfuerzo, especialmente

en áreas críticas, lo que podría subestimar los riesgos de fallo estructural. Por otro lado, una malla excesivamente fina, aunque más precisa, aumenta el tiempo de cálculo y puede no ser necesaria para todos los análisis.

- Condiciones de contorno idealizadas: Las condiciones de contorno en FEA son generalmente idealizadas y pueden no representar con precisión las condiciones reales en las que la estructura operará. Estas idealizaciones pueden resultar en desviaciones significativas entre los resultados simulados y el comportamiento real de la estructura bajo carga.

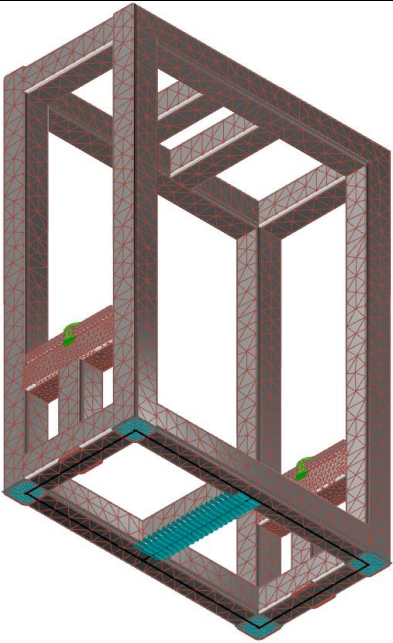
A pesar de estas limitaciones, el análisis por elementos finitos es una tecnología esencial en la ingeniería moderna, ampliamente adoptada en la industria por su capacidad para predecir el comportamiento estructural con precisión, reducir la necesidad de prototipos físicos y disminuir los costos de fabricación, lo que facilita un proceso de diseño y desarrollo más controlado.

8.3 ANÁLISIS DEL BASTIDOR PRINCIPAL

- La *tabla 11* describe el modelo del bastidor principal en la primera iteración del análisis, detallando su geometría, material (acero A36), condiciones de contorno, y configuración del mallado. La figura asociada ilustra en *verde claro* las fuerzas aplicadas, en *color café* el mallado del modelo, y en *verde oscuro* las restricciones de movimiento. Esta información establece las bases del análisis estructural del bastidor.

Tabla 11. Descripción del modelo del bastidor principal – Iteración 1

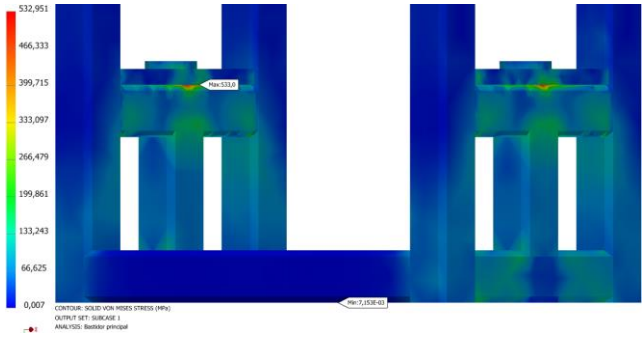
Descripción del Modelo		
Geometría	• Columnas y vigas cuadradas de 100x100x6 mm. • Altura: 1420 mm, Ancho: 1060 mm, Longitud: 550 mm.	FIGURA Mallado y condiciones de borde – bastidor principal iteración 1
Materiales Utilizados	• Acero A36 para todas las columnas y vigas.	
Condiciones de Contorno	• Carga de 750.000 N aplicada en dos soportes laterales. • Restricciones en la base de columnas y viga central.	
Malla del Modelo	• Tipo de malla: Sólido, Parabólico.	
	• Forma del elemento: Tetraédrico.	
	• Tamaño general del elemento: 70 mm	

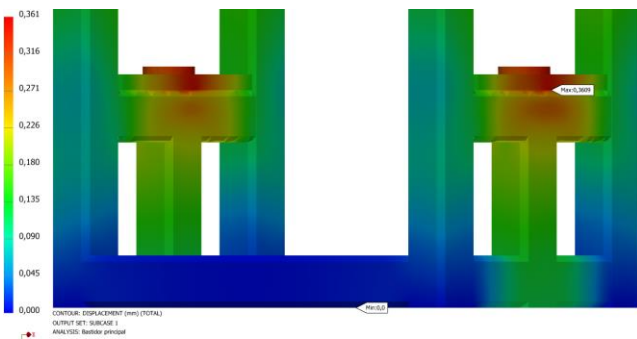
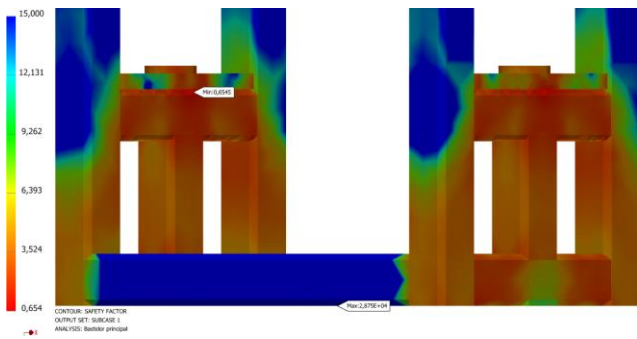
	Refinamiento de malla: 15 mm en soportes laterales.	
Elementos y Nodos	32.850 elementos. 64.280 nodos.	

Fuente: elaboración propia.

- La *tabla 12* resume los resultados de la simulación, incluyendo la distribución de esfuerzos, desplazamientos, y puntos críticos en las vigas laterales, con su correspondiente factor de seguridad. Estos datos destacan las áreas más comprometidas de la estructura.

Tabla 12. Resultados de simulación del bastidor principal – Iteración 1

Resultados de Simulación		
Distribución de Esfuerzos	Máximo esfuerzo de 532,951 MPa en vigas laterales, cara superior.	FIGURA 1
		Esfuerzos máximos – bastidor principal iteración 1 

Desplazamiento y Deformación	Desplazamiento máximo de 0,361 mm en vigas laterales.	FIGURA 2
		Desplazamiento – bastidor principal iteración 1 
Identificación de Puntos Críticos	Vigas laterales con factor de seguridad de 0,645.	FIGURA 3
		Factor de seguridad – bastidor principal iteración 1 

Fuente: elaboración propia.

- La *tabla 13* expone una discusión sobre los resultados de la primera iteración, donde se evalúan los valores de esfuerzo y se comparan con los criterios de diseño, además de incluir propuestas de mejora para la estructura.

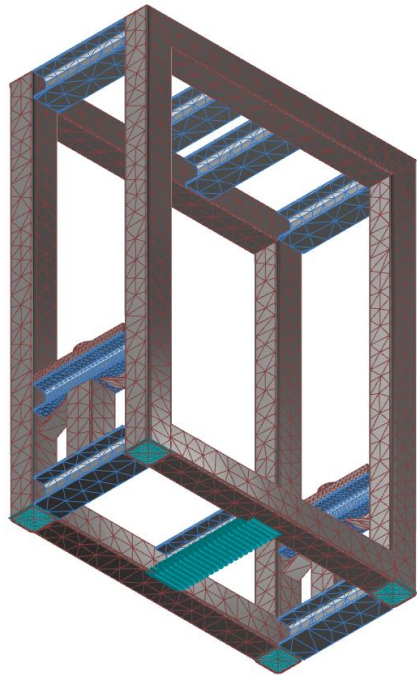
Tabla 13. Discusión de resultados del bastidor principal – Iteración 1

Discusión de Resultados	
Interpretación de Resultados	Esfuerzos exceden el límite elástico del acero A36.
Comparación con Criterios de Diseño	Factor de seguridad inferior al mínimo requerido.
Propuestas de Mejora	Reforzar o cambiar el perfil de vigas laterales.

Fuente: elaboración propia.

- La *tabla 14* describe el modelo del bastidor principal en la segunda iteración del análisis, detallando su geometría, material, condiciones de contorno, y configuración del mallado. La figura asociada ilustra en *verde claro* las fuerzas aplicadas. En *color café* para columnas, color azul para vigas en el mallado del modelo, y en *verde oscuro* las restricciones de movimiento. Esta información establece las bases del análisis estructural del bastidor.

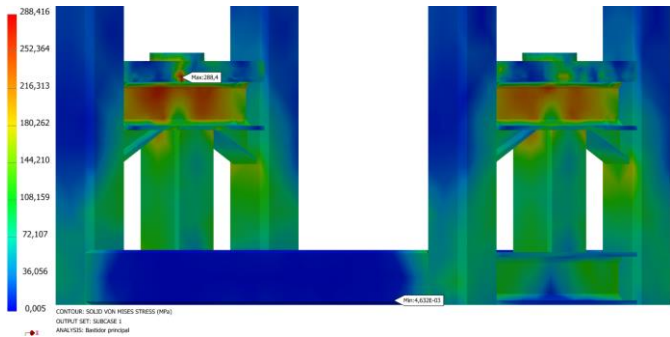
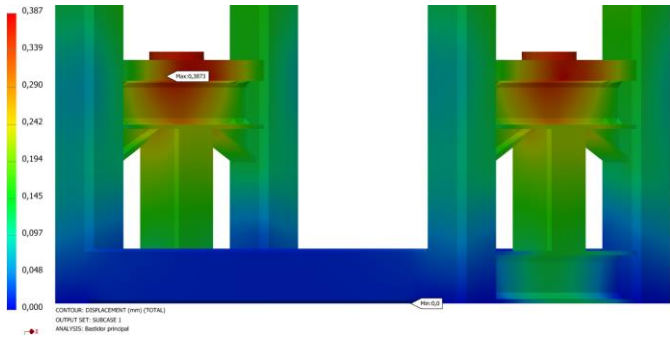
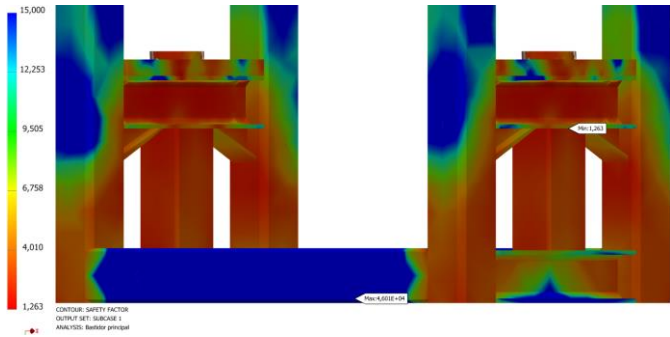
Tabla 14. Descripción del modelo del bastidor principal – Iteración 2

Descripción del Modelo		
Geometría	• Columnas cuadradas de 100x100x6 mm y vigas tipo HEA de referencia 100. • Altura: 1420 mm, Ancho: 1060 mm, Longitud: 550 mm.	FIGURA Mallado y condiciones de borde – bastidor principal iteración 2 
Materiales Utilizados	• Acero A36 para las columnas. • Acero A-572 Grado 50 para las vigas.	
Condiciones de Contorno	• Carga de 750.000 N aplicada en dos soportes laterales. • Restricciones en la base de columnas y viga central.	
Malla del Modelo	• Tipo de malla: Sólido, Parabólico.	
	• Forma del elemento: Tetraédrico.	
	• Tamaño general del elemento: 70 mm	
	• Refinamiento de malla: 15 mm en soportes laterales	
Elementos y Nodos	• 30.377 elementos • 59.836 nodos	

Fuente: elaboración propia.

- La *tabla 15* resume los resultados de la simulación, incluyendo la distribución de esfuerzos, desplazamientos, y puntos críticos en las vigas laterales, con su correspondiente factor de seguridad. Estos datos destacan las áreas más comprometidas de la estructura.

Tabla 15. Resultados de simulación del bastidor principal – Iteración 2

Resultados de Simulación		
Distribución de Esfuerzos	Máximo esfuerzo de 288,416 MPa en vigas laterales, cara superior.	FIGURA 1 Esfuerzos máximos – bastidor principal iteración 2 
Desplazamiento y Deformación	Desplazamiento máximo de 0,387 mm en vigas laterales.	FIGURA 2 Desplazamiento – bastidor principal iteración 2 
Identificación de Puntos Críticos	Vigas laterales con factor de seguridad de 1,263.	FIGURA 3 Factor de seguridad – bastidor principal iteración 2 

Fuente: elaboración propia.

- La *tabla 16* expone una discusión sobre los resultados de la segunda iteración, donde se evalúan los valores de esfuerzo y se comparan con los criterios de diseño, además de incluir propuestas de mejora para la estructura.

Tabla 16. Discusión de resultados del bastidor principal – Iteración 2

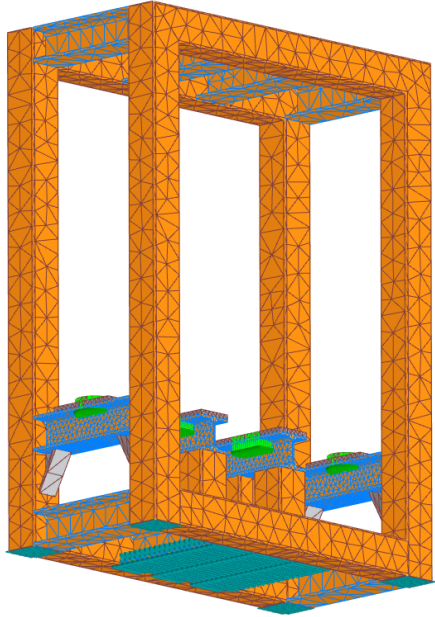
Discusión de Resultados	
Interpretación de Resultados	Esfuerzos dentro del rango elástico, confirmando que esta configuración soporta la carga requerida.
Comparación con Criterios de Diseño	El factor de seguridad cumple, pero sigue siendo bajo.
Propuestas de Mejora	Añadir soportes en el centro del bastidor para mejorar la distribución de la carga y proporcionar mayor soporte a la viga móvil.

Fuente: elaboración propia.

- La *tabla 17* describe el modelo del bastidor principal en la tercera iteración del análisis, detallando su geometría, material, condiciones de contorno, y configuración del mallado. La figura asociada ilustra en *verde claro* las fuerzas aplicadas. En *color café* para columnas, color azul para vigas en el mallado del modelo, y en *verde oscuro* las restricciones de movimiento. Esta información establece las bases del análisis estructural del bastidor.

Tabla 17. Descripción del modelo del bastidor principal – Iteración 3

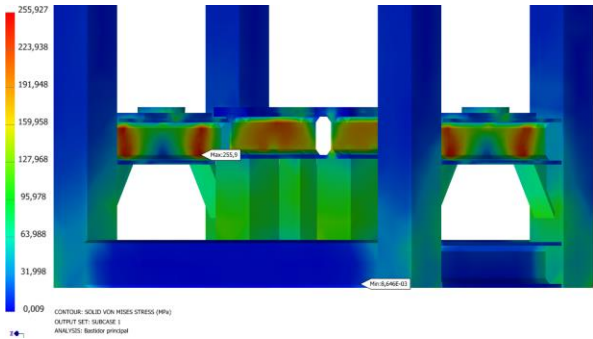
Descripción del Modelo		
Geometría	• Columnas cuadradas de 100x100x6 mm, vigas tipo HEA de referencia 100, y placas de refuerzo de 12 mm. • Altura: 1420 mm, Ancho: 1060 mm, Longitud: 550 mm.	FIGURA Mallado y condiciones de borde – bastidor principal iteración 3
Materiales Utilizados	• Acero A36 para las columnas y placas. • Acero A-572 Grado 50 para las vigas.	
Condiciones de Contorno	• Carga de 750.000 N aplicada en los 4 soportes de las vigas. • Restricciones en la base de columnas y en las vigas centrales.	
Malla del Modelo	• Tipo de malla: Sólido, Parabólico.	

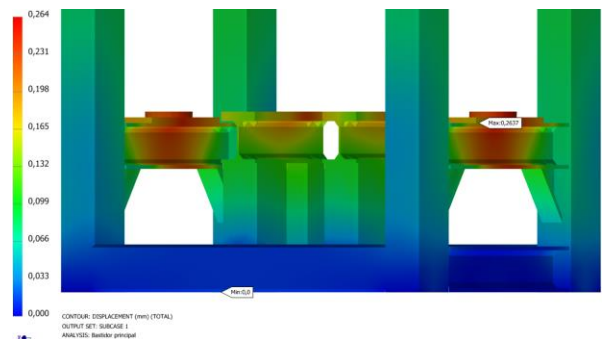
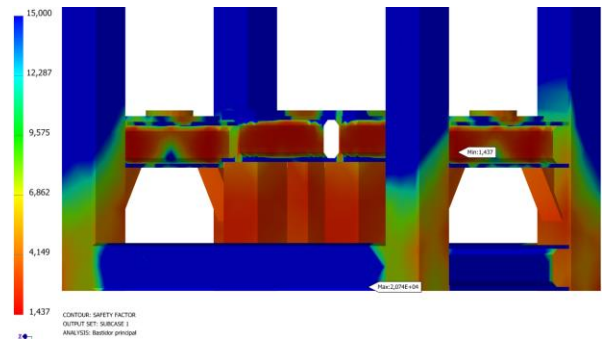
	• Forma del elemento: Tetraédrico.	
	• Tamaño general del elemento: 70 mm	
	• Refinamiento de malla: 15 mm en soportes laterales	
Elementos y Nodos	• 36.075 elementos • 72.359 nodos	

Fuente: elaboración propia.

- La *tabla 18* resume los resultados de la simulación, incluyendo la distribución de esfuerzos, desplazamientos, y puntos críticos en las vigas laterales, con su correspondiente factor de seguridad. Estos datos destacan las áreas más comprometidas de la estructura.

Tabla 18. Resultados de simulación del bastidor principal – Iteración 3

Resultados de Simulación		
Distribución de Esfuerzos		FIGURA 1
		Esfuerzos máximos – bastidor principal iteración 3 

Desplazamiento y Deformación	Desplazamiento máximo de 0,264 mm en vigas laterales.	FIGURA 2	
		Desplazamiento – bastidor principal iteración 3 	
Identificación de Puntos Críticos	Vigas laterales con factor de seguridad de 1,437.	FIGURA 3	
		Factor de seguridad – bastidor principal iteración 3 	

Fuente: elaboración propia.

- La *tabla 19* expone una discusión sobre los resultados de la tercera iteración, donde se evalúan los valores de esfuerzo y se comparan con los criterios de diseño, además de incluir propuestas de mejora para la estructura.

Tabla 19. Discusión de resultados del bastidor principal – Iteración 3

Discusión de Resultados	
Interpretación de Resultados	Esfuerzos dentro del rango elástico, confirmando que esta configuración soporta la carga requerida.
Comparación con Criterios de Diseño	El factor de seguridad cumple con los criterios establecidos.

Propuestas de Mejora	No se requieren más iteraciones, ya que las configuraciones del bastidor principal han concluido.
-----------------------------	---

Fuente: elaboración propia.

8.3.1 Impacto en el Diseño Global

Los resultados obtenidos en las simulaciones por elementos finitos han tenido un impacto decisivo en el diseño global de la prensa hidráulica. El bastidor principal es un componente crítico para la integridad estructural de la máquina, y los análisis realizados garantizan que la configuración final *Iteración 3* cumple con los estándares de seguridad y resistencia necesarios para soportar las cargas aplicadas durante el ciclo de operación.

La selección del bastidor reforzado con vigas HEA y placas de 12 mm asegura la estabilidad de la estructura bajo las condiciones de carga previstas. Este diseño proporciona una base sólida para los componentes móviles de la prensa, garantizando que no se produzcan deformaciones excesivas que comprometan el proceso de fabricación de ladrillos. La mejora en la distribución de esfuerzos permite que el bastidor soporte las cargas de manera uniforme, minimizando el riesgo de fallos estructurales durante la operación continua.

8.4 ANÁLISIS DE LA VIGA MÓVIL SUPERIOR

- La *tabla 20* describe el modelo de la viga móvil superior en la primera iteración del análisis, detallando su geometría, material, condiciones de contorno, y configuración del mallado. La figura asociada ilustra en *verde claro* las fuerzas aplicadas. En *color café* el mallado del modelo, y en *verde oscuro* las restricciones de movimiento. Esta información establece las bases del análisis estructural de la viga móvil superior.

Tabla 20. Descripción del modelo de la viga móvil superior – Iteración 1

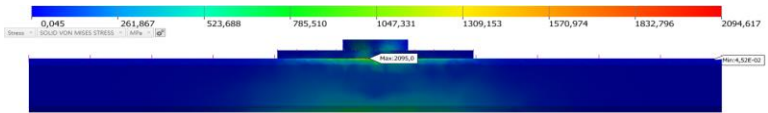
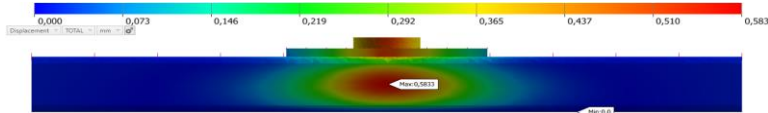
Descripción del Modelo		
Geometría	• Viga cuadrada de 100x100x6 mm con una placa de refuerzo de 300x100x12 mm. • Ancho de la viga: 1015 mm.	FIGURA Mallado y condiciones de borde – viga móvil superior iteración 1
Materiales Utilizados	• Acero A36 para la viga y la placa.	
Condiciones de Contorno	• Carga de 750,000 N distribuida en el centro de la viga sobre un diámetro de 88.9 mm.	

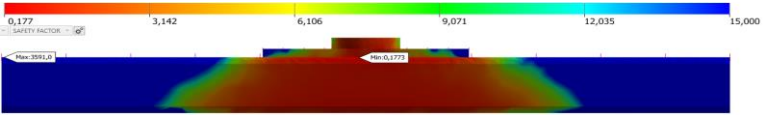
	Restricciones en la cara inferior de la viga en un área de 61.500 mm^2.	
Malla del Modelo	Tipo de malla: Sólido, Parabólico.	
	Forma del elemento: Tetraédrico.	
	Tamaño general del elemento: 40 mm	
	Refinamiento de malla: 5 mm en la cara superior de la viga y placa.	
Elementos y Nodos	23.252 elementos 45.410 nodos	

Fuente: elaboración propia.

- La *tabla 21* resume los resultados de la simulación, incluyendo la distribución de esfuerzos, desplazamientos, y puntos críticos en la cara superior de la viga, con su correspondiente factor de seguridad. Estos datos destacan las áreas más comprometidas de la estructura.

Tabla 21. Resultados de simulación de la viga móvil superior – Iteración 1

Resultados de Simulación		
Distribución de Esfuerzos	Máximo esfuerzo de 2.094,617 MPa en la cara superior de la viga.	FIGURA 1 Esfuerzos máximos – viga móvil superior iteración 1 
Desplazamiento y Deformación	Desplazamiento máximo de 0,583 mm en la cara lateral de la viga.	FIGURA 2 Desplazamiento – viga móvil superior iteración 1 

Identificación de Puntos Críticos	Cara superior de la viga con un factor de seguridad de 0,177.	FIGURA 3
		Factor de seguridad – viga móvil superior iteración 1 

Fuente: elaboración propia.

- La *tabla 22* expone una discusión sobre los resultados de la primera iteración, donde se evalúan los valores de esfuerzo y se comparan con los criterios de diseño, además de incluir propuestas de mejora para la estructura.

Tabla 22. Discusión de resultados de la viga móvil superior – Iteración 1

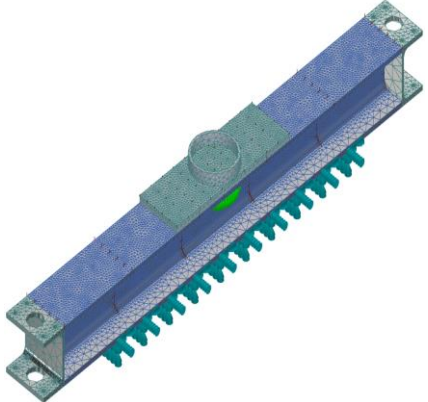
Discusión de Resultados	
Interpretación de Resultados	Los esfuerzos exceden el límite elástico del acero A36, lo que indica que la viga no puede soportar la carga aplicada sin fallar.
Comparación con Criterios de Diseño	El factor de seguridad es significativamente inferior al mínimo requerido, lo que invalida esta configuración de diseño.
Propuestas de Mejora	Se recomienda cambiar el tipo de perfil de la viga para mejorar la distribución de esfuerzos y aumentar el factor de seguridad.

Fuente: elaboración propia.

- La *tabla 23* describe el modelo de la viga móvil superior en la segunda iteración del análisis, detallando su geometría, material, condiciones de contorno, y configuración del mallado. La figura asociada ilustra en *verde claro* las fuerzas aplicadas. En *color azul* el mallado del modelo, y en *verde oscuro* las restricciones de movimiento. Esta información establece las bases del análisis estructural de la viga móvil superior.

Tabla 23. Descripción del modelo de la viga móvil superior – Iteración 2

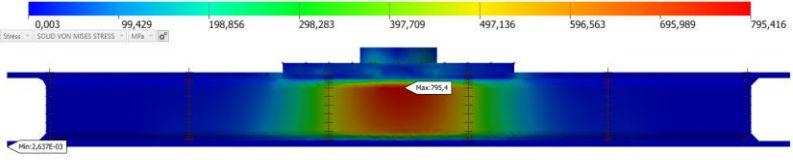
Descripción del Modelo		
Geometría	- Viga HEA de referencia 100 con conexiones laterales con canales y una placa de refuerzo de 300x100x12 mm. - Ancho de la viga: 1015 mm.	FIGURA
		Mallado y condiciones de borde – viga móvil superior iteración 2

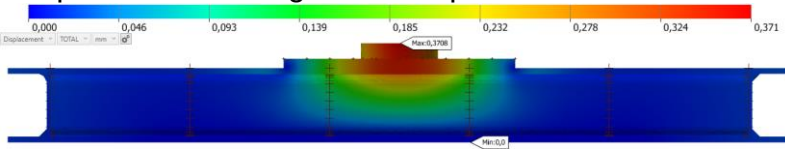
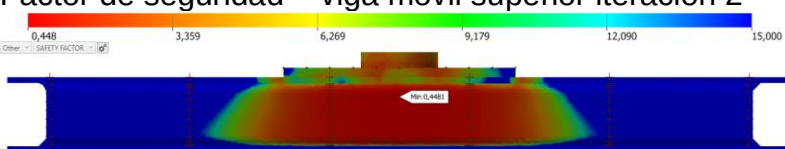
Materiales Utilizados	- Acero A36 para los canales y la placa. - Acero A-572 Grado 50 para viga.	
Condiciones de Contorno	- Carga de 750.000 N distribuida en el centro de la viga sobre un diámetro de 88,9 mm. - Restricciones en la cara inferior de la viga en un área de 61.500 mm².	
Malla del Modelo	Tipo de malla: Sólido, Parabólico.	
	Forma del elemento: Tetraédrico.	
	Tamaño general del elemento: 40 mm	
	Refinamiento de malla: 5 mm en la cara superior, alma de la viga y la placa.	
Elementos y Nodos	60.387 elementos 112.057 nodos	

Fuente: elaboración propia.

- La *tabla 24* resume los resultados de la simulación, incluyendo la distribución de esfuerzos, desplazamientos, y puntos críticos en el alma de la viga, con su correspondiente factor de seguridad. Estos datos destacan las áreas más comprometidas de la estructura.

Tabla 24. Resultados de simulación de la viga móvil superior – Iteración 2

Resultados de Simulación		
Distribución de Esfuerzos	Máximo esfuerzo de 795,416 MPa en el alma de la viga.	FIGURA 1
		Esfuerzos máximos – viga móvil superior iteración 2 

Desplazamiento y Deformación	Desplazamiento máximo de 0,371 mm en la cara de contacto con el vástago.	FIGURA 2
		Desplazamiento – viga móvil superior iteración 2 
Identificación de Puntos Críticos	El alma de la viga presenta un factor de seguridad de 0,448.	FIGURA 3
		Factor de seguridad – viga móvil superior iteración 2 

Fuente: elaboración propia.

- La *tabla 25* expone una discusión sobre los resultados de la segunda iteración, donde se evalúan los valores de esfuerzo y se comparan con los criterios de diseño, además de incluir propuestas de mejora para la estructura.

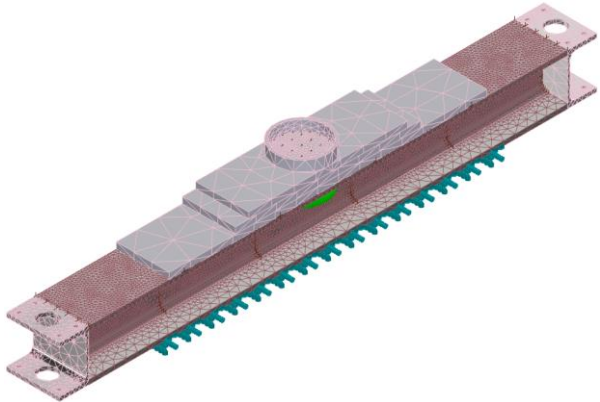
Tabla 25. Discusión de resultados de la viga móvil superior – Iteración 2

Discusión de Resultados	
Interpretación de Resultados	Los esfuerzos exceden el límite elástico del acero A-572 Grado 50, lo que indica que la viga no soporta la carga aplicada.
Comparación con Criterios de Diseño	El factor de seguridad es inferior al mínimo requerido, lo que sugiere que esta configuración no es adecuada.
Propuestas de Mejora	Se recomienda una nueva configuración que permita una mejor distribución de la carga aplicada.

Fuente: elaboración propia.

- La *tabla 26* describe el modelo de la viga móvil superior en la tercera iteración del análisis, detallando su geometría, material, condiciones de contorno, y configuración del mallado. La figura asociada ilustra en *verde claro* las fuerzas aplicadas. En *color café y rosado* el mallado del modelo, y en *verde oscuro* las restricciones de movimiento. Esta información establece las bases del análisis estructural de la viga móvil superior.

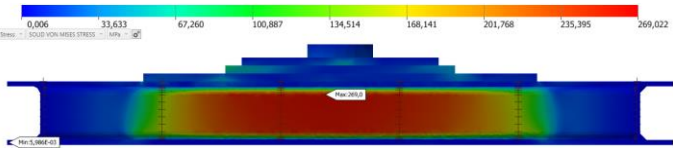
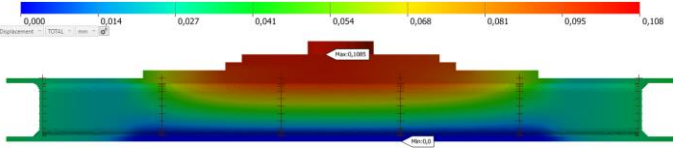
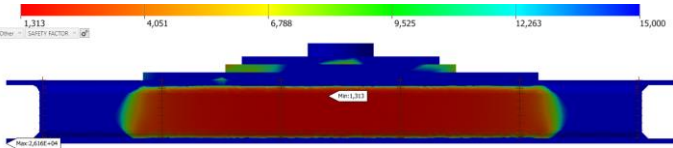
Tabla 26. Descripción del modelo de la viga móvil superior – Iteración 3

Descripción del Modelo		
Geometría	- Viga HEA de referencia 100 con conexiones laterales con canales y tres placas de refuerzo de 300x100x12 mm, 350x100x12 mm, y 600x100x12 mm. - Ancho de la viga: 1015 mm.	FIGURA Mallado y condiciones de borde – viga móvil superior iteración 3 
Materiales Utilizados	- Acero A36 para los canales y las placas. - Acero A-572 Grado 50 para la viga.	
Condiciones de Contorno	- Carga de 750.000 N distribuida en el centro de la viga sobre un diámetro de 88,9 mm. - Restricción sobre cara inferior de la viga en un área de 61.500 mm².	
Malla del Modelo	Tipo de malla: Sólido, Parabólico.	
	Forma del elemento: Tetraédrico.	
	Tamaño general del elemento: 40 mm	
	Refinamiento de malla: 5 mm en la cara superior, alma de la viga y cara de contacto de la fuerza en la placa superior.	
Elementos y Nodos	55.637 elementos 103.517 nodos	

Fuente: elaboración propia.

- La *tabla 27* resume los resultados de la simulación, incluyendo la distribución de esfuerzos, desplazamientos, y puntos críticos en el alma de la viga, con su correspondiente factor de seguridad. Estos datos destacan las áreas más comprometidas de la estructura.

Tabla 27. Resultados de simulación de la viga móvil superior – Iteración 3

Resultados de Simulación		
Distribución de Esfuerzos	Máximo esfuerzo de 269,022 MPa en el alma de la viga.	FIGURA 1 Esfuerzos máximos – viga móvil superior iteración 3 
Desplazamiento y Deformación	Desplazamiento máximo de 0,108 mm en la cara de contacto con el vástago.	FIGURA 2 Desplazamiento – viga móvil superior iteración 3 
Identificación de Puntos Críticos	El alma de la viga con factor de seguridad de 1,313.	FIGURA 3 Factor de seguridad – viga móvil superior iteración 3 

Fuente: elaboración propia.

- La *tabla 28* expone una discusión sobre los resultados de la tercera iteración, donde se evalúan los valores de esfuerzo y se comparan con los criterios de diseño, además de incluir propuestas de mejora para la estructura.

Tabla 28. Discusión de resultados de la viga móvil superior – Iteración 3

Discusión de Resultados	
Interpretación de Resultados	Esfuerzos dentro del rango elástico, confirmando que esta configuración soporta la carga requerida.
Comparación con Criterios de Diseño	El factor de seguridad cumple con los criterios establecidos.
Propuestas de Mejora	No se requieren más iteraciones, ya que las configuraciones de la viga móvil superior han concluido.

Fuente: elaboración propia.

8.4.1 Justificación de selección para la viga móvil superior

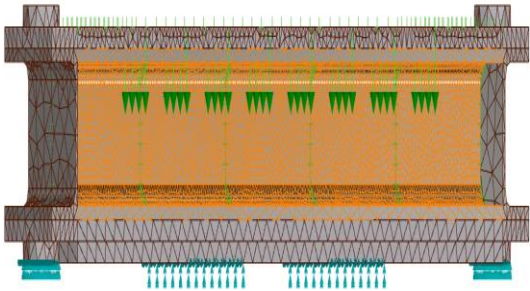
Se seleccionó la Iteración 3 debido a que permitió alcanzar los objetivos establecidos sin la necesidad de utilizar un perfil de mayor tamaño. La incorporación de placas de refuerzo de 12 mm en áreas críticas logró reducir los esfuerzos máximos a 269,022 MPa, lo cual incrementó el factor de seguridad a 1,313, manteniendo la utilización del perfil HEA de referencia 100. Esta configuración mejoró la distribución de las cargas sin aumentar las dimensiones o el peso del perfil, lo que evitó costos adicionales en materiales y mantuvo el diseño compacto, según lo requerido.

8.5 ANÁLISIS DE LA VIGA MÓVIL INFERIOR

- La *tabla 29* describe el modelo de la viga móvil inferior de la iteración del análisis, detallando su geometría, material, condiciones de contorno, y configuración del mallado. La figura asociada ilustra en *verde claro* las fuerzas aplicadas. En *color café* el mallado del modelo, y en *verde oscuro* las restricciones de movimiento. Esta información establece las bases del análisis estructural de la viga móvil inferior.

Tabla 29. Descripción del modelo de la viga móvil Inferior

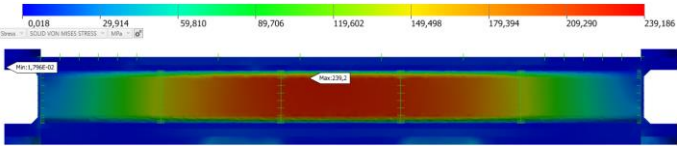
Descripción del Modelo		
Geometría	• Viga HEA de referencia 100 con conexiones laterales con canales y tres placas de refuerzo de 905x100x12 mm, una en la cara superior y dos en la cara inferior. • Ancho de la viga: 1015 mm.	FIGURA
		Mallado y condiciones de borde – viga móvil inferior

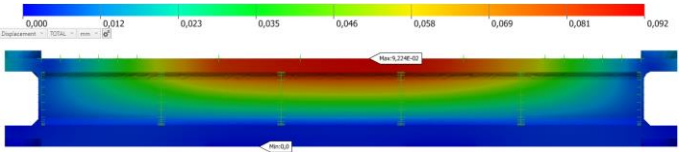
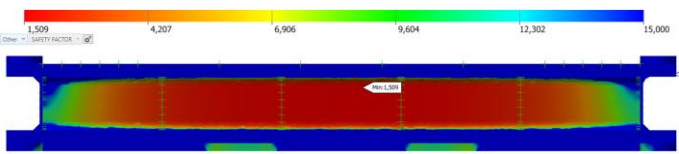
Materiales Utilizados	- Acero A36 para los canales y las placas. - Acero A-572 Grado 50 para la viga.	
Condiciones de Contorno	- Carga de 750.000 N distribuida en el centro de la viga en un área de 61.500 mm². - Restricciones sobre la cara inferior de la viga en cuatro áreas de 10.000 mm².	
Malla del Modelo	Tipo de malla: Sólido, Parabólico.	
	Forma del elemento: Tetraédrico.	
	- Tamaño general del elemento: 20 mm - Refinamiento de malla: 5 mm en la cara superior, alma de la viga y cara de contacto de la fuerza en la placa superior.	
Elementos y Nodos	63.889 elementos 120.501 nodos	

Fuente: elaboración propia.

- La *tabla 30* resume los resultados de la simulación, incluyendo la distribución de esfuerzos, desplazamientos, y puntos críticos en el alma de la viga, con su correspondiente factor de seguridad. Estos datos destacan las áreas más comprometidas de la estructura.

Tabla 30. Resultados de simulación de la viga móvil inferior

Resultados de Simulación		
Distribución de Esfuerzos	Máximo esfuerzo de 239,186 MPa en el alma de la viga.	FIGURA 1
		Esfuerzos máximos – viga móvil inferior 

Desplazamiento y Deformación	Desplazamiento máximo de 0,092 mm en la cara de contacto con el molde.	FIGURA 2
		Desplazamiento – viga móvil inferior 
Identificación de Puntos Críticos	El alma de la viga con factor de seguridad de 1,509.	FIGURA 3
		Factor de seguridad – viga móvil inferior 

Fuente: elaboración propia.

- La *tabla 31* expone una discusión sobre los resultados de la iteración, donde se evalúan los valores de esfuerzo y se comparan con los criterios de diseño, además de incluir propuestas de mejora para la estructura.

Tabla 31. Discusión de resultados de la viga móvil inferior

Discusión de Resultados	
Interpretación de Resultados	Los esfuerzos están dentro del rango elástico, lo que confirma que la configuración soporta la carga requerida.
Comparación con Criterios de Diseño	El factor de seguridad cumple con los criterios establecidos.
Propuestas de Mejora	No se requieren más iteraciones, ya que las configuraciones de la viga móvil inferior han concluido.

Fuente: elaboración propia.

8.5.1 Justificación de selección para la viga móvil inferior

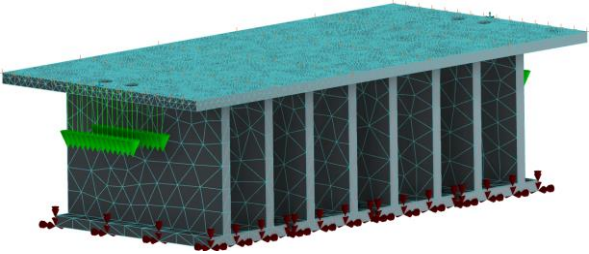
La configuración de la viga móvil inferior fue elegida por su capacidad para cumplir con los requisitos de resistencia y seguridad establecidos, sin necesidad de modificar el perfil original.

Esta solución asegura una adecuada relación entre el diseño estructural y el rendimiento, manteniendo el proceso de manufactura conforme a los criterios establecidos.

8.6 ANÁLISIS DEL MOLDE SUPERIOR

- La *tabla 32* describe el modelo del molde superior de la iteración del análisis, detallando su geometría, material, condiciones de contorno, y configuración del mallado. La figura asociada ilustra en verde claro las fuerzas aplicadas, en color azul el mallado del modelo, y en café las restricciones de movimiento. Esta información establece las bases del análisis estructural del molde superior, cuya función es comprimir la arcilla en el proceso de fabricación. Se analiza por (siglas en inglés, FEA) para asegurar su resistencia y durabilidad bajo las condiciones de carga aplicadas.

Tabla 32. Descripción del modelo del molde superior

Descripción del Modelo		
Geometría	- Placas de 12 mm de espesor. - Dimensiones generales: Altura 174 mm, Ancho 616 mm, Longitud 300 mm.	FIGURA Figura 5. Mallado y condiciones de borde – molde superior 
Materiales Utilizados	Acero A36 para las placas.	
Condiciones de Contorno	- Carga de 750.000 N distribuida en el centro del molde en un área de 61.500 mm². - Restricciones aplicadas en las cuatro placas de compactación.	
Malla del Modelo	Tipo de malla: Sólido, Parabólico.	
	Forma del elemento: Tetraédrico.	
	Tamaño general del elemento: 26,5 mm	
	Refinamiento de malla: 5 mm en la cara superior del molde.	

Elementos y Nodos	• 34.441 elementos • 66.552 nodos	
--------------------------	--	--

Fuente: elaboración propia.

- La *tabla 33* resume los resultados de la simulación, incluyendo la distribución de esfuerzos, desplazamientos, y puntos críticos en la cara superior del molde, con su correspondiente factor de seguridad. Estos datos destacan las áreas más comprometidas de la estructura.

Tabla 33. Resultados de simulación del molde superior

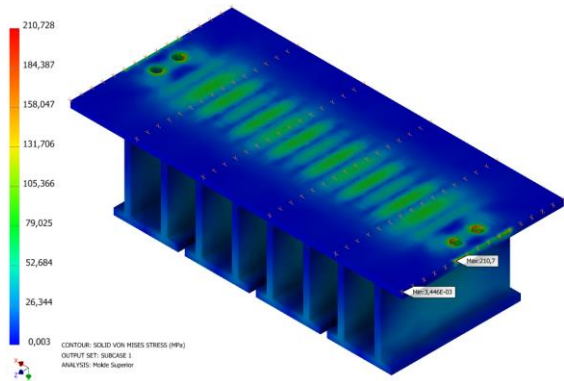
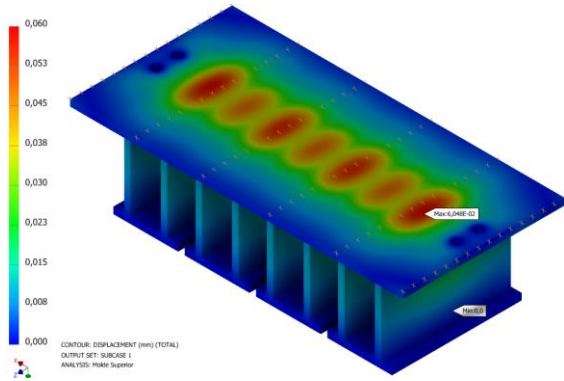
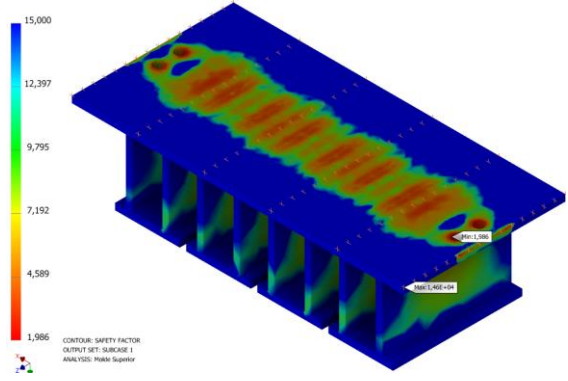
Resultados de Simulación		
Distribución de Esfuerzos	Máximo esfuerzo de 210,728 MPa en la cara superior del molde.	FIGURA 1 Esfuerzos máximos – molde superior 
		FIGURA 2 Desplazamientos – molde superior 
Desplazamiento y Deformación	Desplazamiento máximo de 0,06 mm en la cara superior del molde.	

FIGURA 3		
Identificación de Puntos Críticos	La cara superior del molde presenta un factor de seguridad de 1,986.	Factor de seguridad – molde superior
		

Fuente: elaboración propia.

- La *tabla 34* expone una discusión sobre los resultados de la iteración, donde se evalúan los valores de esfuerzo y se comparan con los criterios de diseño, además de incluir propuestas de mejora para la estructura.

Tabla 34. Discusión de resultados del molde superior

Discusión de Resultados	
Interpretación de Resultados	Los esfuerzos están dentro del rango elástico, lo que confirma que la configuración soporta la carga requerida.
Comparación con Criterios de Diseño	El factor de seguridad cumple con los criterios establecidos.
Propuestas de Mejora	No se requieren más iteraciones, ya que las configuraciones del molde superior han concluido.

Fuente: elaboración propia.

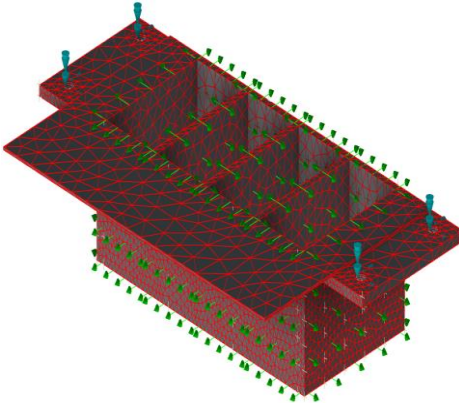
8.6.1 Justificación de selección para el molde superior

La configuración del molde superior cumple con criterios de seguridad y resistencia. Las placas de 12 mm garantizan una distribución uniforme de esfuerzos, manteniendo el molde en el rango elástico y asegurando la resistencia sin modificar su geometría.

8.7 ANÁLISIS DEL MOLDE CENTRAL

- La *tabla 35* describe el modelo del molde central de la iteración del análisis, detallando su geometría, material, condiciones de contorno, y configuración del mallado. La figura asociada ilustra en verde claro las fuerzas aplicadas, en color rojo el mallado del modelo, y en verde oscuro las restricciones de movimiento. Esta información establece las bases del análisis estructural del molde central, cuya función es contener y moldear la arcilla durante la compresión. Se analiza por (siglas en inglés, FEA) para verificar su capacidad de resistir las cargas aplicadas sin deformaciones que comprometan el proceso de moldeo.

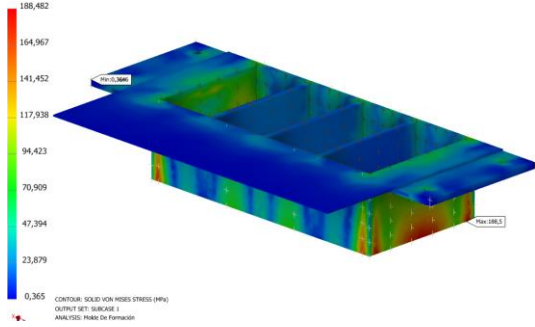
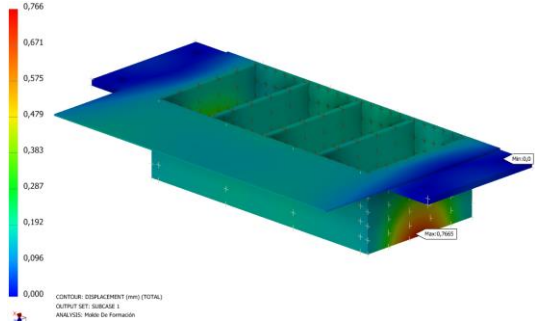
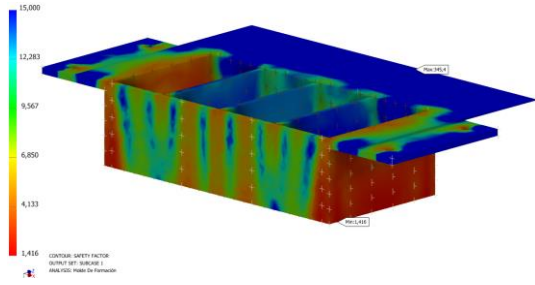
Tabla 35. Descripción del modelo del molde central

Descripción del Modelo		
Geometría	- Placas de 12 mm de espesor. - Dimensiones generales: Altura 150 mm, Ancho 840 mm, Longitud 440 mm.	FIGURA Mallado y condiciones de borde – molde central 
Materiales Utilizados	Acero A36 para las placas.	
Condiciones de Contorno	- Carga de 750.000 N distribuida en las cuatro cavidades del molde. - Restricciones aplicadas en los soportes laterales.	
Malla del Modelo	Tipo de malla: Sólido, Parabólico.	
	Forma del elemento: Tetraédrico.	
	Tamaño general del elemento: 36 mm	
	Refinamiento de malla: 20 mm en las caras de las cavidades y 10 mm en las caras laterales del molde.	
Elementos y Nodos	14.092 elementos 28.693 nodos	

Fuente: elaboración propia.

- La *tabla 36* resume los resultados de la simulación, incluyendo la distribución de esfuerzos, desplazamientos, y puntos críticos en la cara lateral del molde, con su correspondiente factor de seguridad. Estos datos destacan las áreas más comprometidas de la estructura.

Tabla 36. Resultados de simulación del molde central

Resultados de Simulación		
Distribución de Esfuerzos	Máximo esfuerzo de 188,482 MPa en la cara lateral del molde.	FIGURA 1 Esfuerzos máximos – molde central 
Desplazamiento y Deformación	Desplazamiento máximo de 0,766 mm en la cara lateral del molde.	FIGURA 2 Desplazamiento – molde central 
		Fuente: elaboración propia.
Identificación de Puntos Críticos	La cara lateral del molde presenta un factor de seguridad de 1,416.	FIGURA 3 Factor de seguridad – molde central 

Fuente: elaboración propia.

- La *tabla 37* expone una discusión sobre los resultados de la iteración, donde se evalúan los valores de esfuerzo y se comparan con los criterios de diseño, además de incluir propuestas de mejora para la estructura.

Tabla 37. Discusión de resultados del molde central

Discusión de Resultados	
Interpretación de Resultados	Los esfuerzos están dentro del rango elástico, lo que confirma que la configuración soporta la carga requerida.
Comparación con Criterios de Diseño	El factor de seguridad cumple con los criterios establecidos.
Propuestas de Mejora	No se requieren más iteraciones, ya que las configuraciones del molde medio han concluido.

Fuente: elaboración propia.

8.7.1 Justificación de selección para el molde central

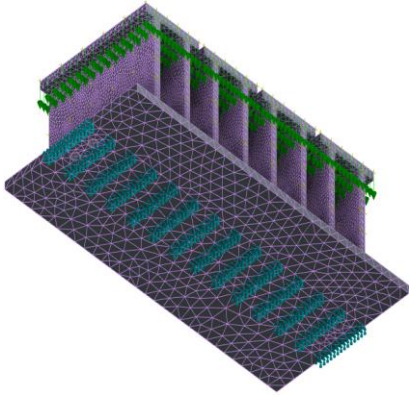
El diseño del molde central cumple con seguridad y resistencia, manteniéndose en el rango elástico. El factor de seguridad de 1.416 asegura su integridad bajo carga, ofreciendo un rendimiento adecuado sin comprometer el diseño original.

8.8 ANÁLISIS DEL MOLDE INFERIOR

La *tabla 38* describe el modelo del molde inferior de la iteración del análisis, detallando su geometría, material, condiciones de contorno, y configuración del mallado. La figura asociada ilustra en verde claro las fuerzas aplicadas, en color morado el mallado del modelo, y en verde oscuro las restricciones de movimiento. Esta información establece las bases del análisis estructural del molde inferior, cuya función es sostener la arcilla durante el compactado y expulsar los ladrillos del molde central. Se analiza por (siglas en inglés, FEA) para asegurar su resistencia y funcionalidad bajo las cargas operativas.

Tabla 38. Descripción del modelo del molde inferior

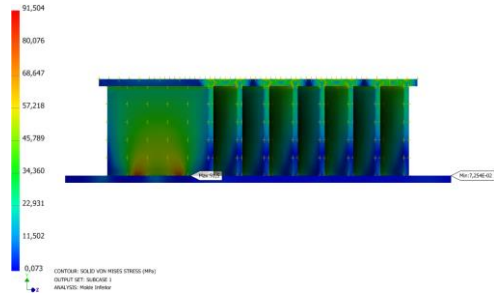
Descripción del Modelo		
Geometría	• Placas de 12 mm de espesor. • Dimensiones generales: Altura 174 mm, Ancho 616 mm, Longitud 300 mm.	FIGURA

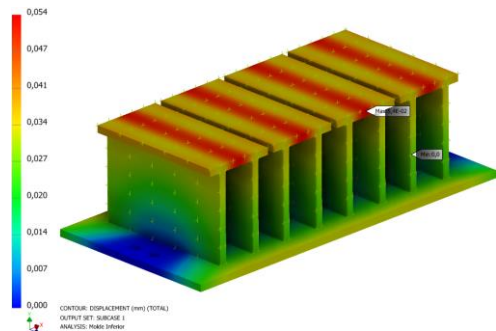
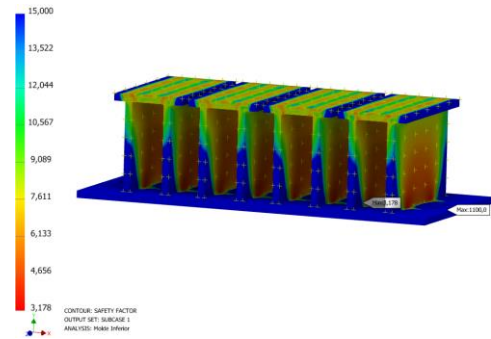
Materiales Utilizados	Acero A36 para las placas.	Mallado y condiciones de borde – molde inferior 
Condiciones de Contorno	- Carga de 750.000 N distribuida en las cuatro placas de compactación. - Restricciones aplicadas en el centro inferior del molde en un área de 61.500 mm².	
Malla del Modelo	Tipo de malla: Sólido, Parabólico.	
	Forma del elemento: Tetraédrico.	
	Tamaño general del elemento: 20 mm	
	Refinamiento de malla: 5 mm en las placas superiores y laterales de compactación.	
Elementos y Nodos	182.358 elementos 308.121 nodos	

Fuente: elaboración propia.

- La *tabla 39* resume los resultados de la simulación, incluyendo la distribución de esfuerzos, desplazamientos, y puntos críticos en la cara lateral del molde, con su correspondiente factor de seguridad. Estos datos destacan las áreas más comprometidas de la estructura.

Tabla 39. Resultados de simulación del molde inferior

Resultados de Simulación		
Distribución de Esfuerzos	Máximo esfuerzo de 91,504 MPa en la cara lateral del molde.	FIGURA 1
		Esfuerzos máximos – molde inferior 

Desplazamiento y Deformación	Desplazamiento máximo de 0,054 mm en la cara superior del molde.	FIGURA 2
		Desplazamientos – molde inferior 
Identificación de Puntos Críticos	La cara lateral del molde presenta un factor de seguridad de 3,178.	FIGURA 3
		Factor de seguridad – molde inferior 

Fuente: elaboración propia.

- La *tabla 40* expone una discusión sobre los resultados de la iteración, donde se evalúan los valores de esfuerzo y se comparan con los criterios de diseño, además de incluir propuestas de mejora para la estructura.

Tabla 40. Discusión de resultados del molde inferior

Discusión de Resultados	
Interpretación de Resultados	Los esfuerzos están dentro del rango elástico, lo que confirma que la configuración soporta la carga requerida.
Comparación con Criterios de Diseño	El factor de seguridad cumple con los criterios establecidos.

Propuestas de Mejora	No se requieren más iteraciones, ya que las configuraciones del molde superior han concluido.
-----------------------------	---

Fuente: elaboración propia.

8.8.1 Justificación de selección para el molde inferior

El diseño cumple con seguridad y resistencia, logrando un factor de seguridad de 3.178. Los esfuerzos están dentro del rango elástico, asegurando que el molde soporte las cargas sin deformarse, sin necesidad de ajustes adicionales.

8.9 RESULTADO DE ANÁLISIS ESTÁTICO POR ELEMENTOS FINITOS

- Bastidor principal: Tras tres iteraciones, la configuración final con perfil cuadrado, vigas HEA y placas de refuerzo de 12 mm alcanzó un factor de seguridad de 1,437, confirmando su capacidad para soportar una carga de 750,000 N.
- Viga móvil superior: En la Iteración 3, se añadieron placas de refuerzo, logrando un factor de seguridad de 1,313 y un esfuerzo máximo de 269.022 MPa, garantizando la resistencia estructural bajo cargas sin comprometer la integridad.
- Viga móvil inferior: La última iteración mostró un factor de seguridad de 1,509 y un desplazamiento de 0,092 mm, confirmando la capacidad de la viga para soportar las cargas operativas adecuadamente.
- Molde superior: Bajo una carga distribuida de 750.000 N, obtuvo un factor de seguridad de 1,986 y un desplazamiento de 0,06 mm, asegurando resistencia frente a las fuerzas de compactación.
- Molde central: El análisis mostró un factor de seguridad de 1,416, lo que asegura que las cuatro cavidades del molde central pueden resistir las condiciones operativas sin sufrir daños.
- Molde inferior: A diferencia de los demás, el molde inferior obtuvo un factor de seguridad de 3,178, con un esfuerzo máximo de 91,504 MPa y un desplazamiento de 0,054 mm, lo que asegura su alta resistencia frente a las cargas operativas.

9 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL ELECTROHIDRÁULICO

El diseño del sistema de control electrohidráulico es esencial para asegurar el correcto funcionamiento de la prensa hidráulica destinada a la fabricación de ladrillos. Este sistema controla los actuadores, válvulas y sensores que regulan la presión y el caudal necesarios para cumplir con los requisitos de compresión y los tiempos de ciclo, garantizando que la operación sea confiable. En este capítulo se desarrollan los cálculos necesarios para determinar los componentes clave y se justifica su selección con base en las exigencias del proceso.

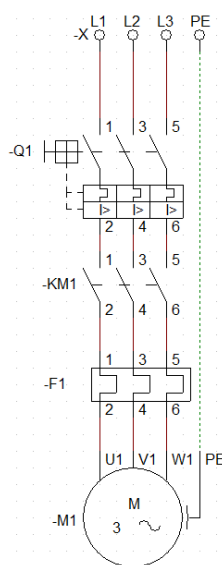
Se analiza también el rendimiento del sistema considerando factores como las pérdidas de energía en las tuberías, válvulas y demás elementos del circuito. Este enfoque permite que el sistema cumpla con los parámetros de diseño, asegurando el buen desempeño y la durabilidad de la prensa.

9.1 DESCRIPCIÓN DEL CIRCUITO ELECTROHIDRÁULICO

9.1.1 Diagrama de potencia para el motor de la bomba hidráulica

La figura 6 ilustra el diagrama del circuito de potencia encargado de suministrar y proteger la alimentación eléctrica del motor de la bomba hidráulica. Su propósito es proporcionar una conexión segura y adecuada para el motor trifásico, permitiendo el control remoto y la protección del sistema contra sobrecargas o cortocircuitos. La selección adecuada de los componentes en este circuito es fundamental para la seguridad y el correcto funcionamiento del sistema hidráulico.

Figura 6. Diagrama de potencia para el motor de la bomba hidráulica



Fuente: elaboración propia.

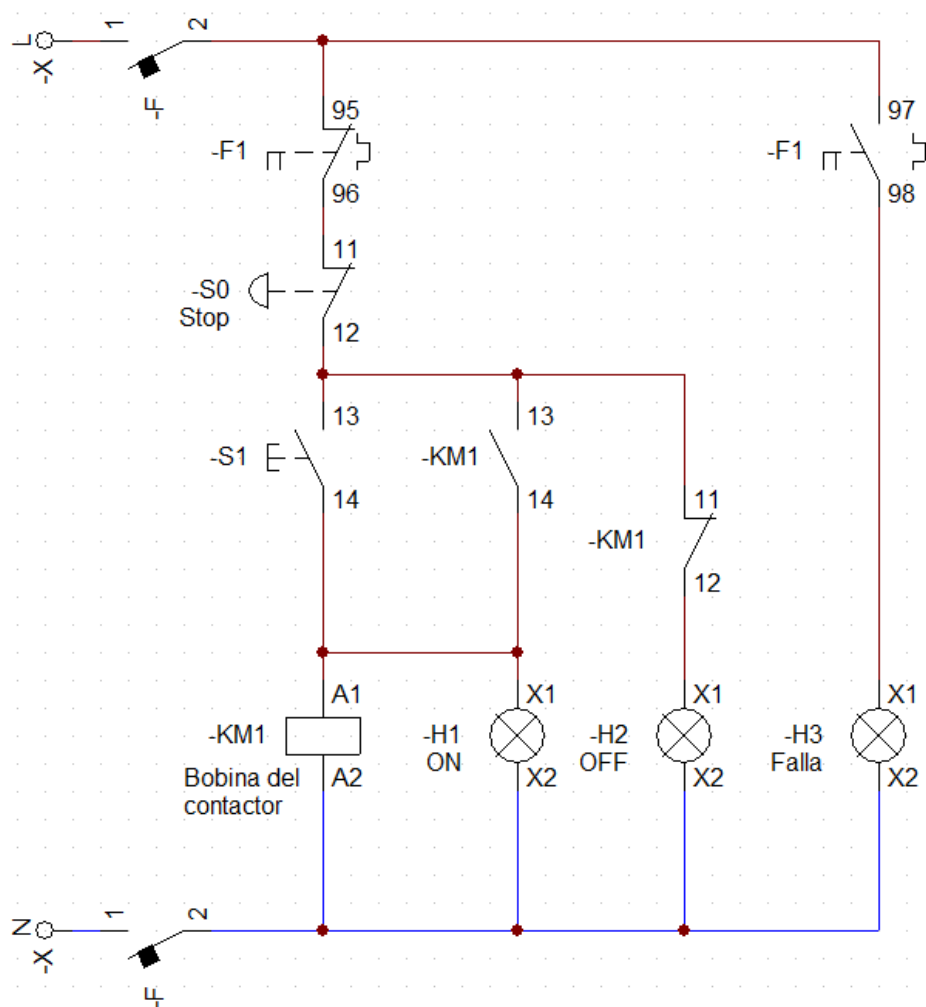
- Componentes necesarios según el plano:

- Interruptor principal (Q1)
- Contactor (KM1)
- Relé de sobrecarga (F1)
- Motor trifásico (M1)

9.1.2 Diagrama de control eléctrico para la bomba hidráulica

La *figura 7* presenta el diagrama del circuito de control eléctrico para el accionamiento de la bomba hidráulica, permitiendo su encendido, apagado y la señalización de posibles fallos en el sistema. A través de este circuito, se controlan los elementos que activan y monitorean la operación de la bomba, proporcionando seguridad y facilidad en la supervisión del sistema.

Figura 7. Diagrama de control eléctrico para la bomba hidráulica



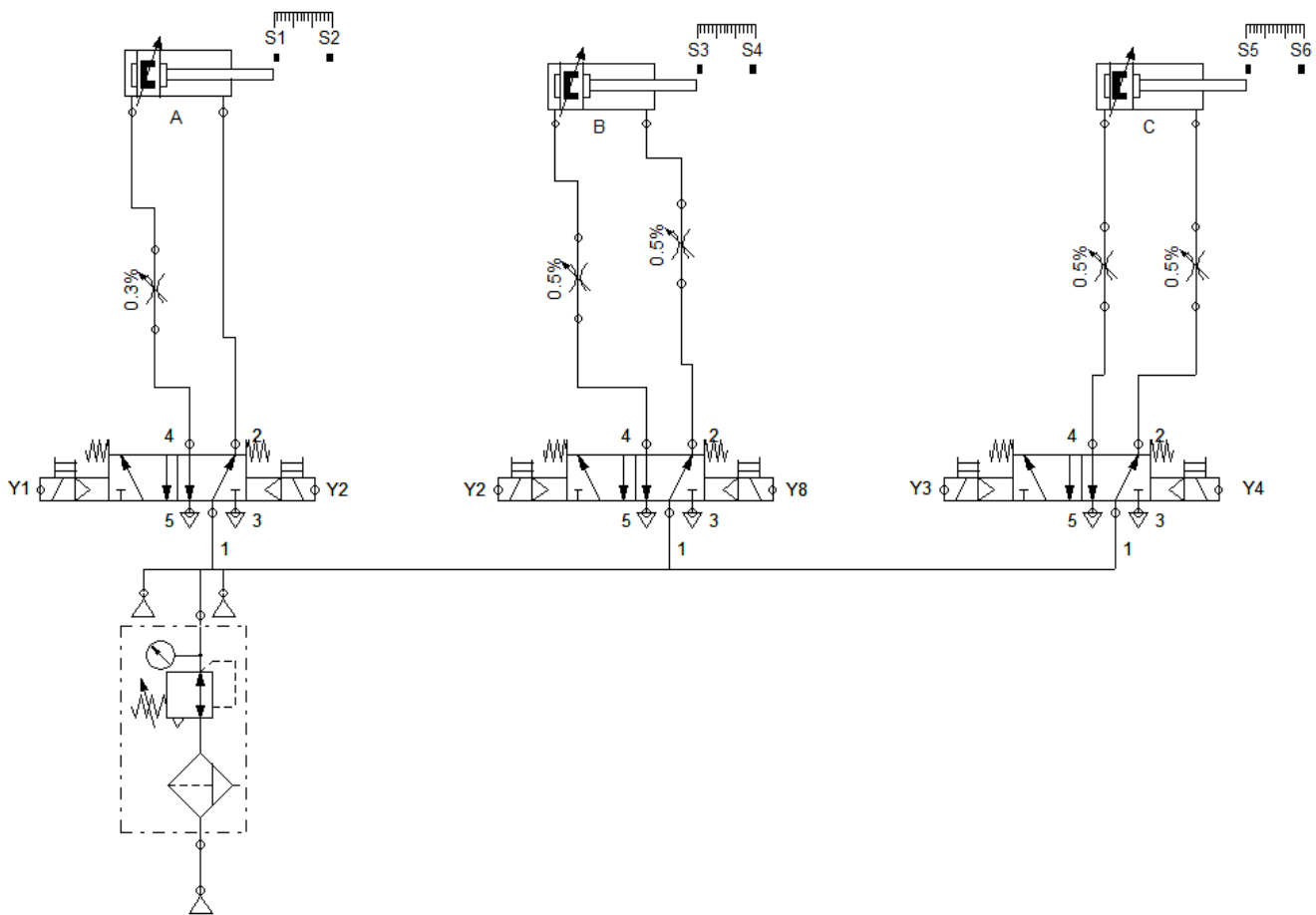
Fuente: elaboración propia.

- Componentes necesarios según el plano:
 - Interruptor de paro (S0)
 - Botón de encendido (S1)
 - Contactor (KM1)
 - Relé de sobrecarga (F1)
 - Indicadores luminosos (H1, H2, H3)

9.1.3 Diagrama de potencia electrohidráulico

La figura 8 representa el diagrama del circuito de potencia hidráulico que controla los actuadores del sistema mediante válvulas de control direccional y componentes de regulación de presión. El objetivo de este circuito es permitir el flujo adecuado de fluido hidráulico hacia los cilindros A, B y C, garantizando el movimiento controlado de cada actuador de acuerdo con los requerimientos del sistema.

Figura 8. Diagrama de potencia electrohidráulico



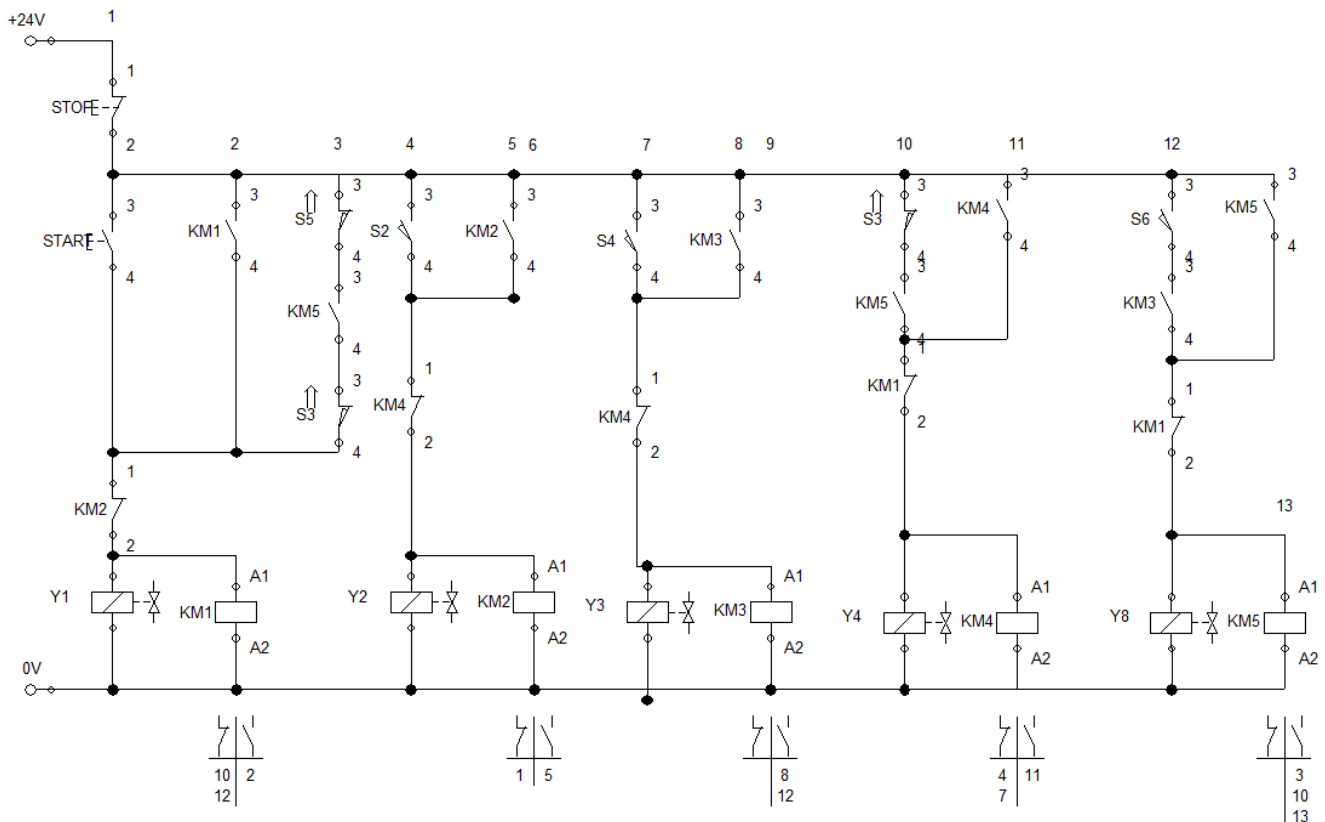
Fuente: elaboración propia.

- Componentes necesarios según el plano:
 - Cilindros hidráulicos (A, B, C)
 - Electroválvulas de control direccional (A, B, C)
 - Unidad de potencia hidráulica
 - Sensores de posición (S1, S2, S3, S4, S5, S6)

9.1.4 Diagrama de control eléctrico para el sistema hidráulico

La *figura 9* muestra el diagrama del sistema de control eléctrico que coordina y asegura el funcionamiento de los distintos componentes del sistema hidráulico. A través de una serie de botones, contactores, sensores de posición y electroválvulas, este circuito regula el flujo y la dirección del fluido hacia los actuadores hidráulicos, permitiendo su operación controlada y segura. Este esquema garantiza que cada paso del proceso hidráulico ocurra en la secuencia correcta y bajo condiciones adecuadas, previniendo errores de operación y protegiendo tanto el sistema como al personal operador.

Figura 9. Diagrama de control eléctrico para el sistema hidráulico



Fuente: elaboración propia.

- Componentes necesarios según el plano:
 - Fuente de alimentación (+24V)
 - Botón de paro (STOP)
 - Botón de arranque (START)
 - Contactores: (KM1, KM2, KM3, KM4, KM5)
 - Sensores de Posición: (S1, S2, S3, S4, S5, S6)
 - Relés: Y1, Y2, Y3, Y4, Y8

9.2 DISEÑO DEL SISTEMA HIDRÁULICO

9.2.1 Cálculo de la fuerza y presión en el sistema hidráulico

El diseño del cilindro hidráulico principal de la prensa está basado en la fuerza necesaria para la compactación de los ladrillos de arcilla, calculada previamente en la *ecuación 3*, con un valor de 750.000 N. Esta fuerza es fundamental para asegurar un proceso de compresión adecuado.

La presión del sistema, determinada por los requisitos de compactación del ladrillo de arcilla y el área de compactado, fue seleccionada en la sección 7.3.1.1, con un valor de 18.272,1 KPa. Con esta presión y el área del pistón calculada en la *ecuación 4*, que dio un valor de 0,04105 m², se estableció un diámetro de émbolo de 228,61 mm, suficiente para soportar las condiciones operativas y asegurar el correcto funcionamiento del sistema.

9.2.2 Velocidad de salida del cilindro

Se calcula utilizando los parámetros específicos del cilindro y aplicando la *ecuación 20*.

Para este caso, la carrera del cilindro es de 0,2 m, y el tiempo estimado para completar esta carrera es de 13 s.

$$v = \frac{0,2}{13} = 0,01538 \text{ m/s} \quad (20)$$

9.2.3 Cálculo del caudal

En el sistema hidráulico de la prensa es esencial calcular el caudal, para garantizar que el cilindro funcione dentro de los parámetros requeridos. El caudal se calcula usando la *ecuación 21*.

$$Q = 0,0154 \times 0,04105 = 6,32 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \quad (21)$$

9.2.4 Selección de la tubería

De acuerdo con el fabricante del cilindro hidráulico utilizado en este proyecto, se especifica el uso de *tubería flexible* con conexiones de entrada y salida de 12,7 mm de diámetro. Esta tubería, fabricada bajo la norma ISO18752, es capaz de soportar una presión constante de 20,6 MPa, lo que asegura que cumple con los requisitos de presión de trabajo del sistema hidráulico.

9.2.5 Cálculo de la velocidad en la tubería

Para calcular la velocidad del fluido en la tubería, se calcula despejando la velocidad en la *ecuación 21*.

$$Q = v \times A \rightarrow v = \frac{Q}{A} \quad (21)$$

$$A = \frac{\pi(0,0127)^2}{4} = 1,27 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \quad (10)$$

$$v = \frac{0,000632}{1,27 \times 10^{-4}} = 4,98 \text{ m/s}$$

9.2.6 Selección del fluido hidráulico

El fluido seleccionado para el sistema es el *Lubral Hidráulico Alto Desempeño ISO VG 46*, diseñado para sistemas hidráulicos de alto rendimiento. Este fluido asegura estabilidad térmica y resistencia a la oxidación, lo que garantiza una operación confiable y prolongada. También proporciona protección contra el desgaste de los componentes hidráulicos, lo cual es crucial para la durabilidad del sistema. Este fluido cumple con normativas internacionales como DIN 51524 e ISO 11158, lo que lo certifica para aplicaciones industriales críticas³⁸.

La densidad del aceite ISO VG 46 es de 875 kg/m³, de esta forma podemos determinar el peso específico aplicando la *ecuación 22*.

$$\gamma = 875 \times 9,81 = 8,58 \text{ KN/m}^3 \quad (22)$$

9.2.7 Pérdidas hidráulicas en el sistema

El cálculo de las pérdidas hidráulicas en el sistema es clave para determinar la presión necesaria. La pérdida total se obtiene mediante la *ecuación 23*.

³⁸ LUBRAL. Lubral Hidráulico Alto Desempeño ISO 46. [sitio Web]. LUBRAL. [Consulta: 14 junio 2024]. Disponible en: <https://tienda.lubral.com/products/aceite-hidraulico-anti-desgaste-iso-vg-46-tambo-200-litros>.

$$h_t = h_{TK} + h_{VV} + h_t \quad (23)$$

9.2.7.1 Pérdida a la salida del tanque

La pérdida a la salida del tanque se lleva a cabo mediante la *ecuación 24*.

En este caso, el coeficiente de pérdida K es 0,5³⁹, ya que se asume una salida con borde afilado.

$$h_{TK} = 0,5 \times \frac{(4,98)^2}{2 \times 9,81} = 0,63 \text{ m} \quad (24)$$

9.2.7.2 Pérdida en la válvula direccional

Se realiza utilizando la caída de presión proporcionada por el fabricante. Se menciona que la válvula tiene una caída de presión de 1,9 bar⁴⁰. Aplicando la *ecuación 25*.

$$h_{VV} = \frac{190.000}{8.583,7} = 22,13 \text{ m} \quad (25)$$

9.2.7.3 Pérdida en la tubería

La pérdida de energía en la tubería se lleva a cabo mediante la *ecuación 26*.

$$h_t = f \times \frac{L}{d} \times \frac{v^2}{2g} \quad (26)$$

Primero, se calcula el número de Reynolds para determinar si el flujo es laminar o turbulento. La viscosidad cinemática del fluido es de (46 cSt o $4,6 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$)⁴¹. Aplicando estos valores en la *ecuación 27*.

$$N_R = \frac{4,98 \times 0,0127}{4,6 \times 10^{-5}} = 1.374,91 \quad (27)$$

Este valor indica un *flujo laminar*, por lo que el factor de fricción (f) se calcula con la *ecuación 28*.

³⁹ MOTT, ROBERT L. Mecánica de fluidos. 6 ed. México: Pearson Educación, 2006. p. 293

⁴⁰ SHID. Catálogo. [sitio Web]. SHID S.A.S. [Consulta: 20 mayo 2024]. Disponible en: <https://shidcosas.com/catalogo/>

⁴¹ LUBRAL. Lubral Hidráulico Alto Desempeño ISO 46. [sitio Web]. LUBRAL. [Consulta: 15 junio 2024]. Disponible en: <https://tienda.lubral.com/products/aceite-hidraulico-anti-desgaste-iso-vg-46-tambo-200-litros>.

$$f = \frac{64}{N_R} = \frac{64}{1374,91} = 0,0465 \quad (28)$$

Sustituyendo en la *ecuación 26*, con una longitud de tubería de 2 m y una aceleración gravitacional de 9.81 m/s²:

$$h_t = 0,0465 \times \frac{1,5}{0,0127} \times \frac{(4,98)^2}{2 \times 9,81} = 6,867 \text{ m}$$

Teniendo todos los valores de la *ecuación 23*, se sustituyen en ella y se calcula la pérdida total en el sistema.

$$h_l = 0,63 + 22,13 + 6,867$$

$$h_l = 29,627 \text{ m}$$

9.2.8 Presión requerida para la bomba

Se obtiene sumando la presión necesaria para operar el cilindro y las pérdidas en el sistema, mediante la *ecuación 29*.

$$p_B = 18.272,1 + (29,627 \times 8,58) = 18.526,3 \text{ KPa} \quad (29)$$

9.2.9 Potencia del motor

El cálculo de la potencia del motor se realiza utilizando la *ecuación 30*.

$$P_m = \frac{18.526.300 \times 0,000632}{0,85} = 8.426,4 \text{ W} = 11,3 \text{ hp} \quad (30)$$

9.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS ELECTROHIDRÁULICOS DEL SISTEMA

- Cilindros hidráulicos
 - Cilindro hidráulico doble efecto No.1
 - Eje de vástago: 3 ½"
 - Camisa: 9" x 10"
 - Carrera: 30 cm
 - Tonelaje: 75 toneladas
 - Montaje: Flanche en cuello
 - Cilindro hidráulico doble efecto No.2

- Eje de vástago: 1"
 - Camisa: 2" x 2 ½"
 - Carrera: 20 cm
- Cilindro hidráulico doble efecto No.3
 - Eje de vástago: 1"
 - Camisa: 2" x 2 ½"
 - Carrera: 30 cm
- Unidad electrohidráulica
 - Motor eléctrico: 12 HP, marca TECHTOP
 - Velocidad: 1700 RPM
 - Voltaje: 220V
 - Manifold CETOP 5 de 4 estaciones
 - Tres electroválvulas 5/2 CETOP 5 (220V)
 - Bomba hidráulica de piñones: 10 GPM
 - Tanque de almacenamiento de aceite: 34 galones
 - Accesorios adicionales: Termonivel, tapa de llenado, filtro de succión, campana, manómetro, acople, unión, racores.
- Intercambiador aire-60 litros ref. AH 0608
- Tubería
 - Tipo: Tubería flexible con conexiones de entrada y salida de ½ pulgada de diámetro
 - Norma: ISO 18752
 - Presión soportada: 206 bar
 - Longitud: 8 m,
 - Conexiones: 12,7 mm, NPT
- Elementos eléctricos
 - Cable
 - Marca: Apex Rc Productos

- Calibre: 10
- Tipo: Súper flexible
- Sensor final de carrera:
 - Modelo: LJ12A3-4-Z/BY
 - Cantidad: 6 unidades
- Pulsador de arranque
- Pulsador de parada
- Parado de emergencia
- Pantalla contadora
- Tres pilotos indicadores
- Contactores

9.4 RESULTADOS DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL ELECTROHIDRÁULICO

El sistema de control electrohidráulico incluye un *motor eléctrico de 12 HP* y una *bomba hidráulica de piñones 10 GPM* que proporcionan el caudal necesario para operar los *tres cilindros hidráulicos de doble efecto*. Las *electroválvulas 5/2 CETOP 5*, controladas por solenoides, gestionan el movimiento de los cilindros. Se utiliza tubería flexible de *12,7 mm* y *fluido hidráulico ISO VG 46*, seleccionados por su capacidad de soportar las condiciones de presión y temperatura del sistema.

10 ESTIMACIÓN DE COSTOS DE MATERIALES Y FABRICACIÓN

El capítulo de costos es clave para garantizar que el diseño y fabricación de la prensa hidráulica sean viables dentro del presupuesto. Se analizarán los costos de materiales y procesos para lograr un equilibrio entre costo, calidad y funcionamiento sin comprometer la accesibilidad económica.

10.1 COSTOS DE MATERIALES

La evaluación de los costos de los materiales es fundamental para garantizar la viabilidad económica del proyecto. En el siguiente análisis, se presentan los materiales que se utilizarán en la fabricación de la prensa hidráulica, justificados a través de cotizaciones obtenidas de distribuidores nacionales. Los precios reflejan el mercado actual de perfiles, láminas y barras de acero, considerando las medidas comerciales disponibles para cada material.

A continuación, se muestra la *tabla 41* de los materiales requeridos, con las dimensiones, la cantidad a comprar (ajustada a las medidas estándar de venta), el costo unitario y el costo total.

Tabla 41. Costos de materiales

Material	Dimensiones (mm)	Cantidad Requerida (m o m ²)	Unidades a Comprar	Precio Unitario (COP)	Costo Total (COP)	Distribuidor
Perfil Cuadrado 100 x 100 mm	100 x 100 x 3	9.844 m	2 perfiles (6 m)	\$334.300	\$668.600	FAJOBE S.A.S.
Perfil Cuadrado 50 x 50 mm	50 x 50 x 3	10.51 m	2 perfiles (6 m)	\$163.100	\$326.200	FAJOBE S.A.S.
Lámina de 12 mm	4 x 8 pies	3.98674 m ²	2 láminas (2.97 m ²)	\$1.313.800	\$2.627.600	FAJOBE S.A.S.
Lámina de 3 mm	4 x 8 pies	3.23976 m ²	2 láminas (2.97 m ²)	\$320.000	\$640.000	FAJOBE S.A.S.
Viga HEA Ref. 100	96 x 100 x 5	6.38 m	1 viga (12 m)	\$1.413.700	\$1.413.700	FAJOBE S.A.S.
Barra Acero 4140	Diámetro 25 mm	1.94 m	1 barra (2 m)	\$161.000	\$161.000	TECTUL

Fuente: elaboración propia.

10.1.1 Selección de materiales

Los materiales fueron seleccionados para cumplir con las exigencias estructurales y operativas de la prensa hidráulica. La compra de algunos materiales se ajusta a las medidas comerciales disponibles, lo que en ciertos casos implicará la adquisición de material adicional.

- **Perfiles cuadrados:** Se adquirirán perfiles de 100 x 100 x 3 mm y 50 x 50 x 3 mm en longitudes de 6 metros, la medida estándar del mercado. Estas dimensiones fueron seleccionadas por su capacidad para soportar fuerzas de compresión y cargas laterales, cruciales para la estabilidad estructural.
- **Láminas de Acero:** Las láminas de 12 mm y 3 mm se adquirirán en medidas comerciales de 4 x 8 pies (1.22 x 2.44 m). Aunque la cantidad necesaria no coincide exactamente con las dimensiones comerciales, se comprarán dos láminas completas para cada espesor.
- **Viga HEA Ref. 100:** Se optará por una viga HEA debido a su capacidad para soportar cargas distribuidas a lo largo de su longitud. Aunque se requieren solo 6.38 metros, la viga se adquirirá en su tamaño estándar de 12 metros.
- **Barra de Acero 4140:** La barra de acero 4140, con un diámetro de 25 mm, será adquirida en una longitud de 2 metros, ya que es la medida estándar de venta, ajustándose a los requerimientos sin necesidad de material adicional.

10.2 COSTOS DE LOS ELEMENTOS ELECTROHIDRÁULICOS

Los costos de los elementos electrohidráulicos son clave para la implementación del sistema de la prensa hidráulica. A continuación, se presentan los principales componentes necesarios para el montaje, junto con sus respectivos costos basados en cotizaciones obtenidas.

Tabla 42. Costos de los elementos electrohidráulicos

Elemento	Especificaciones	Costo (COP)
Cilindro Hidráulico Doble Efecto No.1	Eje: 3 1/2", Camisa: 9" x 10", Carrera: 30 cm, Capacidad: 75 toneladas	\$8.000.000
Cilindro Hidráulico Doble Efecto No.2	Eje: 1", Camisa: 2" x 2 1/2", Carrera: 30 cm	\$1.000.000
Cilindro Hidráulico Doble Efecto No.3	Eje: 1", Camisa: 2" x 2 1/2", Carrera: 20 cm	\$1.000.000
Unidad Electrohidráulica	Motor Eléctrico 12 HP (Marca: TechTop, 220V), Manifold CETOP 5 con electroválvulas, Bomba de piñones 10 GPM, tanque de aceite	\$10.800.000

Intercambiador de Aire	Ref. AH 0608, 60 litros, montado en la unidad hidráulica	\$1.200.000
------------------------	--	-------------

Fuente: elaboración propia.

El costo total de estos componentes es de \$26.180.000 COP, incluyendo IVA, según la cotización del proveedor (Anexo A).

10.3 COSTOS DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS Y CONEXIONES

La *tabla 43* presenta el desglose de los costos asociados a los componentes eléctricos y sus conexiones en la prensa hidráulica. Esta información permite evaluar la inversión necesaria en esta área y su impacto en el presupuesto total del proyecto.

Tabla 43. Costos de los equipos eléctricos y conexiones

Elemento	Costo (COP)
Cable eléctrico calibre 10 AWG	\$112.000
Sensor fin de carrera (x6)	\$102.000
Pulsador de Arranque	\$10.000
Pulsador de Parada	\$10.000
Parada de Emergencia	\$11.000
Pantalla Contador	\$83.000
Piloto Indicador (x3)	\$27.000
Contactores (x6)	\$240.000
Manguera Hidráulica	\$2.100.000
Total	\$2.695.000

Fuente: elaboración propia.

10.3.1 Estimación de costos globales para componentes y materiales de la prensa hidráulica

El análisis de costos del proyecto se divide en tres categorías principales: materiales, sistema hidráulico y equipos eléctricos. A continuación, se muestran los costos totales para cada una de estas categorías.

- Costos de materiales. Esta sección cubre el costo de los perfiles, vigas y láminas de acero necesarios para la construcción de la prensa hidráulica. El costo total estimado para los materiales es \$5.837.100 COP.
- Sistema hidráulico. Incluye los costos de los cilindros hidráulicos, la unidad hidráulica completa, el intercambiador de aire y otros elementos esenciales para el funcionamiento del sistema. El costo total, incluyendo impuestos, es de \$26.180.000 COP.
- Equipos eléctricos y conexiones. Los equipos eléctricos y conexiones, fundamentales para el control y monitoreo del sistema, tienen un costo total de \$2.695.000 COP.

El costo global de los componentes del proyecto asciende a \$34.712.100 COP, cubriendo materiales, sistema hidráulico y equipos eléctricos.

10.4 COSTOS DE FABRICACIÓN

La *tabla 44* presenta la fabricación de la prensa hidráulica incluye varias etapas que requieren tanto mano de obra especializada como maquinaria específica. Las actividades principales comprenden la soldadura, el corte de perfiles y vigas, el tratamiento superficial de las piezas y el ensamblaje final de la máquina.

Tabla 44. Costos de fabricación

Servicio	Descripción	Total (COP)
Armado y soldadura de la prensa hidráulica	Fabricación y ensamblaje de la estructura, incluyendo los trabajos de soldadura.	\$2.500.000
Pintura de la prensa hidráulica	Aplicación anticorrosivo y pintura esmalte sintético.	\$500.000
Materiales consumibles	Soldadura, discos de pulir, gas, oxígeno, anticorrosivo, pintura y otros consumibles necesarios para la fabricación.	\$2.000.000

Fuente: elaboración propia.

El costo total de los procesos de fabricación, que incluyen soldadura, corte, tratamiento superficial y ensamblaje, asciende a \$5.000.000 COP, según la cotización del proveedor (Anexo B).

10.5 COSTOS TOTALES Y MARGEN DE CONTINGENCIA

Se presentan en la *tabla 45* los costos totales del proyecto consideran tanto los materiales como los procesos de fabricación involucrados en la construcción de la prensa hidráulica.

Tabla 45. Costos totales y margen de contingencia

Descripción	Costo Total (COP)
Costos de materiales y componentes	\$ 34.712.100
Costos de fabricación	\$ 5.000.000
Subtotal	\$ 39.712.100
Margen de ganancias (15%)	\$ 5.956.815
Margen de Contingencia (5%)	\$ 1.985.605
Total	\$ 47.654.520

Fuente: elaboración propia

Se aplica un margen de contingencia y ganancias del 20% para cubrir cualquier imprevisto durante la fabricación, como ajustes en los materiales o tiempos adicionales en los procesos. Esto asegura que el proyecto cuente con un presupuesto suficiente para su finalización sin contratiempos.

El costo total estimado con este margen es de *\$47.654.520 COP*, lo que garantiza que el proyecto pueda cubrir cualquier gasto adicional que pueda surgir.

10.6 COMPARACIÓN DE LA VIABILIDAD ENTRE FABRICACIÓN LOCAL Y COMPRA DE PRENSA HIDRÁULICA IMPORTADA

10.6.1 Descripción de la prensa importada desde China

La cotización de la prensa hidráulica modelo *FL2-10* incluye las siguientes especificaciones de acuerdo a la cotización del proveedor *Anexo C*.

- Capacidad de producción: 450 ladrillos por hora
- Presión de trabajo: 22 MPa
- Potencia del motor: 7.5 kW

- Precio CIF Buenaventura: 50,623,080 COP (equivalente a \$12,000 USD)

10.6.2 Comparación directa de costos y capacidad de producción

La siguiente tabla muestra una comparación clara entre los costos y la capacidad de producción de ambas prensas.

Tabla 46. Comparación directa de costos y capacidad de producción

Concepto	Prensa importada (China)	Prensa fabricada (Colombia)
Producción por hora	450 ladrillos	450 ladrillos
Costo de la máquina (CIF)	\$50.623.080 COP	\$47.654.520

Fuente: elaboración propia

10.6.3 Análisis de viabilidad

- Costo total: Fabricar la prensa hidráulica en Colombia es aproximadamente un 6.2% más económico que importarla desde China.
- Producción: Ambas prensas tienen la misma capacidad de producción de 450 ladrillos por hora, por lo que no hay diferencias en cuanto a la eficiencia de producción.
- Mantenimiento y soporte: La fabricación local ofrece la ventaja de un acceso más rápido y económico a piezas de repuesto y servicios técnicos, lo que podría ser una ventaja significativa frente a la opción importada.

10.7 RESULTADOS ESTIMACIÓN DE COSTOS DE MATERIALES Y FABRICACIÓN

- El costo total de los materiales es de \$5.837.100 COP, mientras que los componentes electrohidráulicos y los equipos eléctricos y conexiones suman \$28.875.000 COP.
- El costo total de fabricación asciende a \$5.000.000 COP, lo que incluye ensamblaje, soldadura y pintura.
- Con el margen de contingencia y el margen de ganancias del 20%, el costo total del proyecto es de \$47.654.520 COP.
- La opción de fabricar la prensa localmente resulta un 6.2% *más económica* que la importación de una prensa desde China, manteniendo la misma capacidad de producción.

CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos en el diseño del cilindro hidráulico principal y en la selección de materiales aseguran una alta capacidad de compresión y resistencia estructural, alineándose con los requerimientos de *seguridad de operación* y *calidad del producto*, esenciales para la durabilidad y el funcionamiento de la prensa.
- La configuración compacta de la prensa y su capacidad para producir varios ladrillos por ciclo responden a la *capacidad de producción* y *versatilidad de diseño*, permitiendo una instalación práctica en la empresa requerida y un cumplimiento adecuado con las demandas del mercado en cuanto a volumen y adaptabilidad.
- La máquina presenta un factor de seguridad global de 1,8, obtenido tras diversas iteraciones en el análisis estático por elementos finitos. Este resultado confirma que cada componente principal —*bastidor*, *vigas móviles* y *moldes*— cumple con los requerimientos de seguridad de operación y resistencia estructural bajo la carga máxima de 750,000 N, asegurando la integridad y confiabilidad del diseño durante su funcionamiento.
- La evaluación de los moldes superior, central e inferior confirma que cada componente es capaz de soportar las fuerzas de compactación, destacándose el alto factor de seguridad del molde inferior (3,178), alineado con los requerimientos de *calidad del producto* y *durabilidad*, esenciales para un proceso de fabricación confiable y consistente.
- Los diagramas del sistema de control electrohidráulico ofrecen una representación visual clara del flujo y la secuencia operativa, facilitando el *control preciso* del funcionamiento de los cilindros y garantizando una coordinación adecuada entre los componentes para un desempeño confiable.
- La combinación del motor de 12 HP y la bomba de 10 GPM asegura el caudal y potencia necesarios para la operación continua de los cilindros, alineándose con la *capacidad de producción* y manteniendo un flujo adecuado para cumplir con las demandas del proceso de fabricación.

- La inversión en materiales y fabricación, junto con los márgenes establecidos, asegura que el proyecto se mantenga en un presupuesto controlado, cumpliendo con el *requerimiento de costo* y ofreciendo una opción competitiva para el mercado local.
- La estimación de costos muestra que fabricar la prensa localmente, con un ahorro del 6,2 % frente a la importación, cumple con el *requerimiento de costo* y asegura una opción competitiva sin afectar la capacidad de producción.

RECOMENDACIONES

- Mejora continua en el control del sistema electrohidráulico. Se recomienda integrar un sistema de monitoreo que detecte fallos en los componentes electrohidráulicos. Esto permitiría garantizar una operación más segura y reducir las paradas imprevistas, mejorando la confiabilidad del sistema a largo plazo.
- Análisis dinámico adicional. Aunque el análisis estático ha sido suficiente para verificar la integridad estructural, es recomendable realizar un análisis dinámico que evalúe el comportamiento del bastidor y los cilindros bajo cargas fluctuantes. Esto permitiría ajustar el diseño si las condiciones de operación resultan más exigentes.
- Alternativas para reducir costos en la compra de materiales. Se sugiere evaluar opciones adicionales para adquirir los materiales de construcción, tanto a nivel nacional como internacional. Negociar precios o adquirir materiales en mayor volumen podría reducir los costos totales sin comprometer la calidad del proyecto.
- Capacitación del personal de mantenimiento. Es importante capacitar al personal encargado del mantenimiento de la prensa, especialmente en lo relacionado con los componentes electrohidráulicos y el sistema de control. Esto ayudaría a reducir los tiempos de inactividad por fallos y extendería la vida útil de la máquina.
- Evaluación de la variabilidad del material. Es necesario considerar la variabilidad del material en la fabricación, ya que podría afectar el funcionamiento de la máquina. La fluidez del material que cae desde la tolva al recipiente y su transporte a los moldes depende de factores que no han sido evaluados a fondo, por lo que es recomendable realizar pruebas experimentales para entender su comportamiento en el proceso.
- Se recomienda que, en futuros trabajos, se considere el uso de equipos con mayor capacidad computacional para el análisis de calidad del mallado y el análisis de convergencia. Aunque estos procesos se llevaron a cabo en esta investigación, las limitaciones del equipo utilizado pueden influir en la obtención de resultados más precisos en áreas críticas del modelo. Contar con un equipo más robusto permitiría refinar estos análisis sin afectar la validez general del trabajo realizado.

BIBLIOGRAFÍA

AIR-HYDRAULICS, INC. The history of factory presses: Where it started and where it's going. [En línea]. [citado el 26 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://www.airhydraulics.com/blog/the-history-of-factory-presses-where-it-started-and-where-its-going/>.

AKAO, Y. Integrating Customer Requirements into Product Design. En: Quality Function Deployment. Nueva York: Productivity Press, 2004. p. 20-38.

ALAUDDIN, MD. A Comparative Study on Environmental Impacts of Bricks Prepared by Chimney and Hydraulic Press Processes. Master's thesis, Jahangirnagar University, Department of Environmental Sciences, 2021. 65 p.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (AENOR). Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación del riesgo y reducción del riesgo. UNE-EN ISO 12100. Madrid: AENOR, 2012.

BATCHELDER & COLLINS. The history of brick masonry. [sitio Web]. Batchelder & Collins. [Consulta: 02 abril 2024]. Disponible en: <https://757brick.com/blog/history-of-brick-masonry/>.

BEER, F. P., JOHNSTON, E. R. JR., MAZUREK, D. F., Y EISENBERG, E. R. Mecánica vectorial para ingenieros: Estática. 9ª ed., McGraw-Hill/Interamericana Editores, México. 2010. 363 pp. ISBN 978-607-15-0277-3. 00000Ibid., p 364.

BRICK ARCHITECTURE. The history of bricks and brickmaking. [sitio Web]. Brick Architecture. [Consulta: 01 abril 2024]. Disponible en: <https://brickarchitecture.com/about-brick/why-brick/the-history-of-bricks-brickmaking>.

BUDYNAS, RICHARD G. Y NISBETT, J. KEITH. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. 8ª ed. México, D.F.: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V., 2008. 17 p. ISBN: 978-970-10-6404-7.

-----,----- 8ª ed. México, D.F.: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V., 2008. 214 p. ISBN: 978-970-10-6404-7.

CELIGÜETA, L. Método de los Elementos Finitos para Análisis Estructural. 4ª ed. San Sebastián, España: UNICOPIA C.B., 2011. 1 p. ISBN 84-921970-2-1.

-----,----- 4ª ed. San Sebastián, España: UNICOPIA C.B., 2011. 2 p. ISBN 84-921970-2-1.

-----,----- 4ª ed. San Sebastián, España: UNICOPIA C.B., 2011. 6 p. ISBN 84-921970-2-1.

ÇENGEL, Y. A., Y CIMBALA, J. M. Mecánica de Fluidos: Fundamentos y Aplicaciones. McGraw-Hill/Interamericana Editores, México. 2006. 347 pp. ISBN 970-10-5612-4.

-----,----- McGraw-Hill/Interamericana Editores, México. 2006. 324 pp. ISBN 970-10-5612-4.

-----,----- McGraw-Hill/Interamericana Editores, México. 2006. 738 pp. ISBN 970-10-5612-4.

CREUS SOLÉ, Antonio. Neumática e Hidráulica. Barcelona, España: Marcombo, S.A., 2007. 181 p. ISBN 84-267-1420-X.

DAMANIA, S. V., Y SONI, S. Development of hydraulically operated energy efficient machines for eco-friendly brick manufacturing. En: International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development, vol. 14, no. 4, 2023, pp. 455-466.

HIBBELER, R. C. Ingeniería mecánica: Estática. Traducido por Jesús Elmer Murrieta Murrieta, 12ª ed., Pearson Educación, México, 2010, 513 pp. ISBN 978-607-442-561-1.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Adoquín de arcilla para tránsito peatonal y vehicular liviano. NTC 3829. Bogotá D.C.: ICONTEC, 2004.

-----,----- Guía para la identificación de los peligros y la valoración de los riesgos en seguridad y salud ocupacional. GTC 45. Bogotá D.C.: ICONTEC, 2010.

-----,----- Ingeniería Civil y Arquitectura. Dimensiones modulares de unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos. NTC 296. Bogotá D.C., Colombia. ICONTEC. 2000. 3 p.

------. Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos. NTC 4205. Bogotá D.C.: ICONTEC, 2000.

LUBRAL. Lubral Hidráulico Alto Desempeño ISO 46. [sitio Web]. LUBRAL. [Consulta: 15 junio 2024]. Disponible en: <https://tienda.lubral.com/products/aceite-hidraulico-anti-desgaste-iso-vg-46-tambo-200-litros>.

MATA CABRERA, F. Aproximaciones al diseño ergonómico de máquinas. Técnica Industrial. 2006. p 56-58.

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Portafolio de mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales para el sector alfarero y de producción de ladrillo en Colombia. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021. 15 p. ISBN 978-958-5551-72-5.

MOTT, ROBERT L. Mecánica de fluidos. 6 ed. México: Pearson Educación, 2006. p. 293
National Building Arts Center. Hydraulic brick company: The early years. [En línea]. [citado el 28 de marzo de 2024]. Disponible en: <http://web.nationalbuildingarts.org/collections/clay-products/ornamental-brick/hydraulic-brick-company-the-early-years/>

OKEREKE, MICHAEL Y KEATES, SIMEON. Finite Element Applications: A Practical Guide to the FEM Process. Cham, Suiza: Springer International Publishing AG, 2018. 167 - 169 p. ISBN 978-3-319-67124-6.

-----,----- Cham, Suiza: Springer International Publishing AG, 2018. 451 p. ISBN 978-3-319-67124-6.

PREMKUMAR, M., RAMA DEVI, G. NAGA, Y SOWMYA, R. Design and Implementation of Brick Making Machine Integrated with Smart IIoT Application. En: International Journal of Computing and Digital Systems. Mayo 2020. Vol.9, no.3, p. 471-481. ISSN 2210-142X.

SHANGHAI YINGXIN WORLD MACHINERY CO., LTD. The development history of hydraulic press. [En línea]. [citado el 28 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://www.pressmachine-world.com/the-development-history-of-hydraulic-press>

SHID. Catálogo. [sitio Web]. SHID S.A.S. [Consulta: 10 mayo 2024]. Disponible en: <https://shidcosas.com/catalogo/>

TORNILLERA ARAGONESA S.A. Tabla de Roscas Normalizadas. Zaragoza, España. 2017. 9 p. Disponible en: http://www.tornillera.com/archivos/info_tecnica/esp/tabla_roscas.pdf.

WU, G. Máquina automática de prensado de ladrillos. CN 102129684 B. Patente de invención, solicitada el 21 de enero de 2011, otorgada el 27 de marzo de 2013, Oficina Estatal de Propiedad Intelectual de la República Popular China.

WU, T. Nueva máquina hidráulica de ladrillos. CN 214925349 U. Patente de utilidad, solicitada el 16 de abril de 2021, otorgada el 30 de noviembre de 2021, Oficina Estatal de Propiedad Intelectual de la República Popular China.

ANEXOS

Anexo A. Cotización de costos de los elementos electrohidráulicos

SISTEMAS HIDRAULICOS DE COLOMBIA S.A.S				 Shidco	
Asesoría, Diseño, Fabricación y Ensamble de Sistemas Hidráulicos				COTIZACION No. 6935	
CLIENTE	DAVID SANTIAGO JOYA BELTRAN				
NIT	1057611228 2				
DIRECCION	CIUDAD	TELEFONO			
CR 17 4 A 35 SUR	Sogamoso	3103169925			
FECHA DOCUMENTO	FECHA VENCIMIENTO	VENDEDOR		FORMA DE PAGO	
martes, 23 de julio de 2024	23-jul-24	SIRLEY DAMARIS ARCILA BLANDON		Contado	

Descripción	Cantidad	U Medida	Valor Unitario	IVA	Total
CILINDROS SEGÚN PLANO CILINDRO HIDRAULICO DOBLE EFECTO NO.1 EJE: 3" 1/2 CAMISA: 9" X 10" CARRERA: 30CM TONELAJE: 75 TON CON FLANCHE EN CUELLO	1,00	Und.	8.000.000	19%	8.000.000
CILINDROS SEGÚN PLANO CILINDRO HIDRAULICO DOBLE EFECTO NO.2 EJE: 1" CAMISA: 2" X 2" 1/2 CARRERA: 20 CM	1,00	Und.	1.000.000	19%	1.000.000
CILINDROS SEGÚN PLANO CILINDRO HIDRAULICO DOBLE EFECTO NO.3 EJE: 1" CAMISA: 2" X 2" 1/2 CARRERA: 30 CM	1,00	Und.	1.000.000	19%	1.000.000



Valor en Letras

VEINTIDOS MILLONES DE PESOS M/CTE

- Los Precios son + IVA - No incluye Aceite ni mangueras externas

- Si la mercancía no es recogida después de 90 días se entenderá que la mercancía esta en estado de abandono.

GARANTIA SE PRESTA DENTRO DE LAS INSTALACIONES DE SHIDCO SAS

- Se entrega con Prueba de Presion - 6 Meses en accesorios hidráulicos siempre y cuando el mando no se sobre presionen y la bomba se le mantenga el filtro con cambios de aceite cuando se requieran. 3 meses de garantía en empaques

- Garantía: Un año en el motor siempre y cuando usen guarda motor

SUBTOTAL	22.000.000
DESCUENTO	0
IVA	4.180.000
RETEICA	0
RETEFUENTE	0
RETEIVA	0
TOTAL DOCUMENTO	26.180.000

Condiciones de pago: 50% para iniciar 50% contraentrega.

Firma Responsable _____ Verificado Por _____

UNA VEZ APROBADA LA COTIZACION ENVIAR ORDEN DE COMPRA CON COMPROBANTE DE ANTICIPO

CRA 27 N 7 - 65/ 73 BARRIO RICAURTE BOGOTA/ TEL.8054994 -3144936895 CORREO: SHIDCOSAS@GMAIL.COM - ADMINISTRATIVO@SHIDCOSAS.COM

SISTEMAS HIDRAULICOS DE COLOMBIA S.A.S

Asesoría, Diseño, Fabricación y Ensamble de Sistemas Hidráulicos



Shidco...

CLIENTE	DAVID SANTIAGO JOYA BELTRAN	
NIT	1057611228 2	
DIRECCION	CIUDAD	TELEFONO
CR 17 4 A 35 SUR	Sogamoso	3103169925

COTIZACION No.

6935

FECHA DOCUMENTO	FECHA VENCIMIENTO	VENDEDOR	FORMA DE PAGO
martes, 23 de julio de 2024	23-jul-24	SIRLEY DAMARIS ARCILA BLANDON	Contado

Descripción	Cantidad	U Medida	Valor Unitario	IVA	Total
UNIDAD HIDRAULICA ELECTRICA MOTOR ELECTRICICO 12 HP MARCA: TECHTOP - 1700PRM-220V MANIFOLD CETOP 5 DE 4 ESTACIONES + 1 ELECTROVALVULA 4/2 CETOP 5 -220V + 3 ELECTROVALVULAS CETOP 5 - 220V BOMBA HIDRAULICA DE PIÑONES DE 10 GXM TANQUE PARA ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE 40 X 40 X 80CM +FULL ACCESORIOS TERMONIVEL, TAPA DE LLENADO, FILTRO DE SUCCIÓN, CAMPANA, MANÓMETRO, ACOUPLE, UNION, RACORES. * NO INCLUYE NI ACEITE, NI PARTES ELECTRICAS, NI MANGUERAS EXTERNAS*	1,00	Und.	10.800.000	19%	10.800.000
INTERCAMBIADOR AIRE 60 LITROS REF AH 0608 **MONTAJE EN UNIDAD HIDRAULICA** *TIEMPO DE FABRICACION DEL SISTEMA: 8 DIAS HABILES *ENTREGA EN LAS INSTALACIONES DE SHIDCO *CONDICIONES DE PAGO: 50% PARA INICIAR Y 50% PARA ENTREGA FINAL	1,00	Und.	1.200.000	19%	1.200.000



Valor en Letras

VEINTIDOS MILLONES DE PESOS M/CTE

-Los Precios son + IVA - No incluye Aceite ni mangueras externas

- Si la mercancía no es recogida después de 90 días se entenderá que la mercancía esta en estado de abandono.

GARANTIA SE PRESTA DENTRO DE LAS INSTALACIONES DE SHIDCO SAS

- Se entrega con Prueba de Presion
- 6 Meses en accesorios hidráulicos siempre y cuando el mando no se sobre presionen y la bomba se le mantenga el filtro con cambios de aceite cuando se requieran. 3 meses de garantía en empaques
- Garantía: Un año en el motor siempre y cuando usen guarda motor

SUBTOTAL	22.000.000
DESCUENTO	0
IVA	4.180.000
RETEICA	0
RETEFUENTE	0
RETEIVA	0
TOTAL DOCUMENTO	26.180.000

Condiciones de pago: 50% para iniciar 50% contraentrega.

Firma Responsable _____ Verificado Por _____

UNA VEZ APROBADA LA COTIZACION ENVIAR ORDEN DE COMPRA CON COMPROBANTE DE ANTICIPO

CRA 27 N 7 - 65/ 73 BARRIO RICAURTE BOGOTA/ TEL.8054994 -3144936895 CORREO: SHIDCOSAS@GMAIL.COM - ADMINISTRATIVO@SHIDCOSAS.COM

Anexo B. Cotización de costo de fabricación

COTIZACIÓN N.º 001-2024

Proyecto: Montaje y fabricación de prensa hidráulica para fabricación de ladrillos

Cliente: David Santiago Joya Beltrán

NIT: 1057611228 2

Fecha: 05/09/2024

Ciudad: Sogamoso, Boyacá

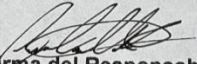
Descripción del servicio:

1. Armado y Soldadura de la Prensa Hidráulica:
 - Fabricación y ensamblaje de la estructura, incluyendo todos los trabajos de soldadura.
 - Valor Mano de Obra: \$2.500.000 COP
2. Pintura de la Prensa Hidráulica:
 - Aplicación de pintura anticorrosiva y pintura de acabado.
 - Valor Mano de Obra: \$500.000 COP
3. Materiales Consumibles:
 - Soldadura, discos de pulir, gas, oxígeno, anticorrosivo, pintura y otros consumibles necesarios para la fabricación.
 - Valor Total: \$2.000.000 COP

Total, cotización: \$5.000.000 COP

Condiciones:

- El valor total de \$5.000.000 COP incluye la mano de obra y los materiales consumibles requeridos para la fabricación y montaje de la prensa hidráulica.
- La cotización no incluye el costo de materiales estructurales adicionales, ni otros servicios no especificados.
- Tiempo estimado de fabricación y montaje: Este será coordinado según disponibilidad.
- El valor de esta cotización está sujeto a cambios en caso de requerirse modificaciones en el alcance del trabajo.


Firma del Responsable
Cristian Camilo Castillo López
CC. 1057574623
CEL. 3118879572

Anexo C. Cotización de prensa hidráulica de China

 富朗机械 FULANG MACHINE		FULANG MACHINE Address: No.175,Yihe Road,Linyi City,ShanDong Province, China Tel:0086 539 2579699 Fax:0086 539 2579698					
To: Date: Validity period: 40days Price Model: FOB Qingdao Quotation From: Kevin							
							
FL2-10 Interlocking Brick Machine Quotation							
NO.	Device Name	Specification	Pic	Unit	Quantity	Unit price (USD)	Total price (USD)
1	Brick machine (Inc:PLC control system)	Model: FL2-10 Motor Power: 7.5Kw Pressure:22MPa		set	1	7900	7900
2	Spare parts and tools			set	1	free	free
3	Shipping cost	Shipping from Qingdao China to Buenaventura, Colombia					4100
Total CIF Buenaventura Port price							12000

Payment and installation terms:

1. All the price is CIF Buenaventura price .
2. Payment terms: 40% deposit by T/T ,60% by T/T or L/C ,according contract.
3. Product price validity 40 day.
4. Shipping cost validity 30 days.
5. Delivery: 25 days upon receipt of deposit

1	Dimension of host machine	2200*1050*2000mm		4	Voltage	adjustable
2	Shaping cycle	32s		5	Host machine power	11KW
3	Hydraulic system pressure	22MPa		6	Weight of the machine	1500KG

Theoretical production capacity

No	Size (mm)	Reference pic	Pcs/Mould	Pcs/Hour	Pcs/Shift(8h)
2	300x150x100mm		2	450	3600
3	300x150x100mm		2	450	3600
4	300x150x100mm		2	450	3600
5	300x150x100mm		2	450	3600

ARCIPRESS



Manual de operación y mantenimiento

Serie AP75 de 75 toneladas

Prensa hidráulica para la fabricación de ladrillos

Número de documento: AP75

Revisión del documento: A

Fecha de publicación: 25-OCT-2024

Idioma: español ES



Es fundamental que el usuario lea y comprenda este documento antes de utilizar el equipo, a fin de minimizar el riesgo de lesiones

CONTENIDO

1	PROPÓSITO Y APLICACIÓN	3
2	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FUNCIONAMIENTO	3
3	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	3
4	COMPONENTES DEL EQUIPO	4
5	Operación de la Prensa Hidráulica	5
5.1	Preparación del equipo	5
5.2	Operación automática del ciclo de producción	5
5.3	Monitoreo y control del ciclo automático.....	5
5.4	Apagado y mantenimiento post-operativo	5
5.5	Advertencias de seguridad durante la operación.....	6
6	Seguridad en el Mantenimiento	6
6.1	Precauciones generales.....	6
6.2	Procedimientos de seguridad en mantenimiento hidráulico.....	6
6.3	Consideraciones eléctricas	7
6.4	Advertencias de riesgo.....	7
6.5	Capacitación y procedimientos.....	7
7	Plan de Mantenimiento Preventivo y Correctivo	8
7.1	Mantenimiento preventivo	8
7.2	Mantenimiento Correctivo	8
8	Procedimientos Detallados	9
8.1	Cambio de fluido hidráulico	9
8.2	Reemplazo del filtro hidráulico	9
8.3	Inspección y limpieza del intercambiador de Calor	10
8.4	Lubricación de partes móviles	10
8.5	Inspección del sistema eléctrico.....	10
9	Repuestos y Herramientas Necesarias.....	11
9.1	Repuestos comunes	11
9.2	Herramientas necesarias	11

1 PROPÓSITO Y APLICACIÓN

La *Prensa Hidráulica APT75* se ha diseñado para fabricar ladrillos de arcilla mediante compresión. Su estructura sólida y los componentes hidráulicos garantizan una producción constante de ladrillos, cumpliendo con los requerimientos producción.

2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FUNCIONAMIENTO

1. El material llega a la tolva, donde se almacena temporalmente.
2. La materia prima cae por gravedad hacia el *molde transportador de materia prima*.
3. Este molde transportador traslada la mezcla hasta el *molde central*.
4. Una vez que la materia prima está en el molde central, se activa el *cilindro principal No. 1*, que baja el *molde superior* para iniciar la compresión.
5. Al completar el proceso de compresión, el molde superior se eleva y el *molde inferior No. 2* sube para expulsar los ladrillos formados.
6. Finalmente, el *cilindro horizontal No. 3* actúa, desplazando los ladrillos fuera

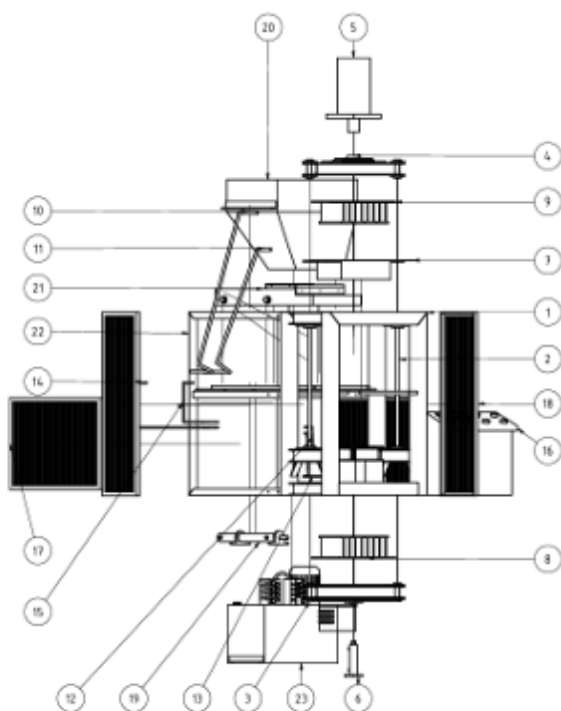
del molde y dejando la nueva materia prima en el molde central para reiniciar el ciclo.

Este ciclo se repite, permitiendo la producción continua de ladrillos.

3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Especificación	Detalle
Dimensiones (mm)	Largo: 1735 / Ancho: 1600 / Alto: 1890
Capacidad de Producción	4 ladrillos/ciclo, 112 ciclos/hora (450 ladrillos/hora)
Potencia del Motor	12 hp
Capacidad del Tanque Hidráulico	40 x 40 x 80 cm (33.8 galones)
Tiempo por Ciclo	32 segundos
Requerimientos de Energía	220 V, 60 Hz, Trifásico
Fuerza Máxima	750 kN
Presión de Operación	182.7 bar

4 COMPONENTES DEL EQUIPO



PARTS LIST		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	Bastidor Principal
2	2	ANSI/ASCE Acero laminado - 1-36/189, RB
3	1	Viga Móvil Inferior
4	1	Viga Móvil Superior
5	1	Cilindro Hidráulico Principal No. 1
6	1	Cilindro Hidráulico Inferior No. 2
7	1	Molde Central
8	1	Molde Inferior
9	1	Molde Superior
10	1	Manguera del Cilindro No. 1 10
11	1	Manguera del Cilindro No. 1 12
12	1	Manguera del Cilindro No. 2 10
13	1	Manguera del Cilindro No. 2 12
14	1	Manguera del Cilindro No. 3 10
15	1	Manguera del Cilindro No. 3 12
16	1	Pantalla
17	2	Rejilla de Seguridad Posterior
18	2	Rejilla de Seguridad Frontal
19	1	Cilindro Hidráulico Horizontal No. 3
20	1	Volva
21	1	Molde de Transporte de Materia Prima
22	1	Bastidor Secundario
23	1	Unidad Electrohidráulica

5 OPERACIÓN DE LA PRENSA HIDRÁULICA

5.1 Preparación del equipo

ATENCIÓN

- Verificación del fluido hidráulico: Asegúrese de que el nivel del fluido esté en el rango recomendado, usando fluido *ISO VG 46* si es necesario.
- Inspección visual: Realice una revisión rápida de los componentes, verificando que no haya fugas, cables sueltos o piezas desgastadas.
- Encendido del sistema: Conecte la prensa a la fuente de energía y encienda el sistema, verificando que los indicadores de control estén en condiciones normales.

5.2 Operación automática del ciclo de producción

- Cargar la materia prima: Coloque la arcilla en la tolva de alimentación. Una vez iniciada la operación, el ciclo se ejecutará de forma automática.
- Proceso de transporte y compresión: La lógica cableada activa los cilindros y el sistema de transporte sincronizadamente:
 - La arcilla se desplaza hacia el molde

transportador por gravedad.

- El cilindro No3. lleva la materia prima al molde central.
- El cilindro principal comprime la materia prima en el molde para formar los ladrillos.

- Expulsión de los ladrillos: Al finalizar la compresión, la lógica cableada activa el cilindro de expulsión para liberar los ladrillos del molde.

5.3 Monitoreo y control del ciclo automático

ATENCIÓN

- Vigilancia del sistema de presión: Monitoree los indicadores de presión para mantenerlos dentro de los límites operativos, con un máximo de 182.7 bar.
- Control de producción: Cada ciclo produce 4 ladrillos y dura aproximadamente 32 segundos.
- Indicadores de estado: Los indicadores luminosos mostrarán el estado del ciclo y alertarán sobre cualquier interrupción o error.

5.4 Apagado y mantenimiento post-operativo

- Apagar el sistema automático: Una vez terminada la

operación, apague el sistema controlado por la lógica cableada.

- Desconectar el equipo: Desconecte la prensa de la fuente de energía.
- Limpieza y mantenimiento diario: Limpie los residuos de arcilla y realice una inspección básica para asegurar condiciones óptimas para la próxima operación.

5.5 Advertencias de seguridad durante la operación

ADVERTENCIA

- Evitar el contacto directo con partes en movimiento: Mantenga distancia de las áreas de compresión y expulsión.
- Monitoreo de presión: Verifique regularmente los manómetros para evitar sobrecargas en el sistema.
- Uso de protección personal (EPP): Asegúrese de que el personal utilice guantes, gafas de protección y equipo adecuado durante la operación.

6 SEGURIDAD EN EL MANTENIMIENTO

El mantenimiento de la *Prensa Hidráulica APT75* debe realizarse siguiendo estrictamente las normas de seguridad para proteger al personal y

asegurar el correcto funcionamiento del equipo. A continuación, se presentan las recomendaciones de seguridad para los operadores y el personal de mantenimiento.

6.1 Precauciones generales

PRECAUCIÓN

- Desconexión del equipo: Antes de comenzar cualquier tarea de mantenimiento, asegúrese de que el equipo esté completamente apagado y desconectado de la fuente de energía.
- Despresurización del sistema hidráulico: Libere cualquier presión acumulada en el sistema hidráulico para evitar fugas o accidentes por el escape de fluidos a alta presión.
- Equipo de protección personal (EPP): Use siempre guantes resistentes a cortes, gafas de protección, casco y botas de seguridad.
- Área de trabajo segura: Mantenga el área libre de obstáculos y líquidos derramados. Coloque señalización de advertencia en la zona de mantenimiento para evitar el ingreso de personas no autorizadas.

6.2 Procedimientos de seguridad en mantenimiento hidráulico

- Revisión de conexiones y mangueras: Inspeccione todas

las mangueras y conexiones para asegurar que no haya fugas o desgaste. Reemplace cualquier componente defectuoso antes de poner el equipo en funcionamiento.

- Manipulación de fluidos hidráulicos: Evite el contacto directo con el fluido hidráulico. En caso de derrames, limpie de inmediato el área y utilice recipientes adecuados para desechar el fluido según las normativas ambientales locales.
- Intercambiador de calor: Revise regularmente el estado del intercambiador para garantizar que no haya obstrucciones, evitando así sobrecalentamientos en el sistema.

6.3 Consideraciones eléctricas

- Desconexión de energía eléctrica: Asegúrese de desconectar el suministro eléctrico antes de abrir o manipular el sistema eléctrico de la prensa.
- Mantenimiento de componentes eléctricos: Inspeccione cables y conexiones regularmente para identificar desgaste o daño. Utilice herramientas aisladas y evite el contacto directo con piezas energizadas.
- Condiciones de tierra y aislamiento: Verifique que el equipo esté bien aterrizado y

que las protecciones contra sobrecargas eléctricas funcionen correctamente.

6.4 Advertencias de riesgo

ADVERTENCIA

- Riesgo de compresión: Mantenga las manos y otras partes del cuerpo alejadas de las áreas de compresión y movimiento de la prensa.
- Evitar ajustes bajo carga: No realice ajustes o reparaciones mientras el equipo esté en carga o en operación.
- Evitar modificaciones no autorizadas: No modifique el equipo o sus componentes sin la aprobación del fabricante o un técnico autorizado, ya que esto podría comprometer la seguridad y el rendimiento del equipo.

6.5 Capacitación y procedimientos

- Capacitación obligatoria: Todo el personal de mantenimiento debe recibir capacitación específica sobre el uso seguro de la prensa y sus componentes.
- Procedimientos de emergencia: Familiarice al personal con los procedimientos de emergencia, incluidos el apagado de emergencia y el manejo de fugas de fluido hidráulico.

7 PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO

7.1 Mantenimiento preventivo

Diario

- Inspección visual general: Verificar la ausencia de fugas de fluido hidráulico, cables sueltos o signos de desgaste en mangueras y conexiones.
- Limpieza de la superficie externa: Retirar polvo o residuos de arcilla de las superficies y componentes visibles para prevenir acumulación y desgaste.
- Revisión del nivel de fluido hidráulico: Comprobar que el nivel del fluido esté dentro de los límites recomendados y agregar si es necesario.

Semanal

- Lubricación de puntos críticos: Aplicar lubricante en las partes móviles.
- Verificación de ajustes: Comprobar que los pernos y conexiones principales estén firmes, en especial en las vigas móviles y el bastidor.

Mensual

- Inspección de fugas en el sistema hidráulico: Revisar mangueras, juntas y conexiones en busca de posibles fugas; reemplazar componentes dañados.

- Limpieza del filtro de succión: Limpiar el filtro en la unidad hidráulica y verificar su estado para asegurar un flujo continuo de fluido.

Cada 3.000 Horas de uso o seis meses

- Cambio de fluido hidráulico: Reemplazar el fluido hidráulico *ISO VG 46* para reducir el desgaste de los componentes internos.
- Reemplazo del filtro hidráulico: Sustituir el filtro hidráulico para garantizar la pureza del fluido y prevenir obstrucciones en el sistema.
- Revisión completa del sistema Electrohidráulico: Realizar una inspección exhaustiva de componentes de control, sensores y actuadores.
- Inspección y ajuste de válvulas: Verificar y ajustar válvulas hidráulicas y de control de presión para asegurar el funcionamiento adecuado.

7.2 Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo se realizará ante fallas imprevistas:

- Cambio de componentes defectuosos: Sustituir piezas dañadas, como mangueras o cilindros, en caso de fugas o defectos operativos
- Reparación del sistema eléctrico: Revisar y reemplazar cables, fusibles o conexiones en caso de fallas eléctricas.

- Revisión de fugas hidráulicas: Detectar y reparar de inmediato cualquier fuga.
- Diagnóstico y ajuste de presión: Ajustar válvulas y el motor en caso de problemas de presión.

8 PROCEDIMIENTOS DETALLADOS

8.1 Cambio de fluido hidráulico

- Apagar y desconectar el equipo: Asegúrese de que la prensa esté completamente apagada y desconectada de la fuente de energía.
- Despresurizar el sistema: Libere cualquier presión residual del sistema hidráulico.
- Drenado del fluido antiguo:
 - Ubique el tapón de drenaje del tanque hidráulico.
 - Coloque un recipiente adecuado debajo del tapón y retire el tapón para permitir que el fluido se drene por completo.
- Limpieza del tanque:
 - Limpie el interior del tanque con un paño sin pelusa.
 - Verifique que no haya residuos de metal o

contaminantes en el tanque.

- Llenado con fluido nuevo (ISO VG 46):
 - Coloque nuevamente el tapón de drenaje y ajuste bien.
 - Llene el tanque con el fluido nuevo hasta alcanzar el nivel recomendado.
- Revisión final:
 - Verifique el nivel de fluido y asegúrese de que esté dentro de los límites recomendados.
 - Conecte y encienda el equipo para realizar una prueba de funcionamiento.

8.2 Reemplazo del filtro hidráulico

- Desconectar la energía: Asegúrese de que la prensa esté apagada y sin energía.
- Ubicar el filtro: Encuentre el filtro en el sistema hidráulico, generalmente en el tanque o línea de retorno.
- Retirar el filtro antiguo:
 - Utilice una llave adecuada para desenroscar el filtro antiguo.
 - Tenga cuidado de no dañar las conexiones.
- Instalar el filtro nuevo:

- Coloque el nuevo filtro y ajuste firmemente.
 - Verifique que las juntas de sellado estén en buen estado.
- Revisión de Fugas:
 - Vuelva a encender el equipo y verifique que no haya fugas alrededor del filtro.

8.3 Inspección y limpieza del intercambiador de Calor

- Apagar el equipo: Asegúrese de que la prensa esté apagada y desconectada de la fuente de energía.
- Desmontar el intercambiador de calor: Retire con cuidado el intercambiador de calor de su soporte.
- Limpieza:
 - Use aire comprimido para limpiar el polvo y residuos de las aletas.
 - Si es necesario, limpie con un cepillo suave y verifique que las aletas no estén obstruidas.
 -
- Reensamblar y probar: Vuelva a colocar el intercambiador en su sitio y encienda el equipo para verificar su correcto funcionamiento.

8.4 Lubricación de partes móviles

- Apagar el equipo: Asegúrese de que la prensa esté desconectada y segura para el mantenimiento.
- Aplicación del lubricante:
 - Use el lubricante recomendado para las vigas móviles y otros puntos de fricción.
 - Aplique una cantidad moderada de lubricante en cada punto, evitando el exceso.
- Verificación final: Asegúrese de que todas las áreas lubricadas estén libres de residuos y que el equipo esté listo para ser usado.

8.5 Inspección del sistema eléctrico

- Apagar y asegurar la prensa: Asegúrese de que la prensa esté desconectada de la electricidad.
- Revisión de cables y conexiones:
 - Verifique que los cables no tengan desgastes o daños visibles.
 - Revise los terminales y conexiones para asegurarse de que estén bien ajustados.
- Pruebas de funcionamiento: Una vez revisados, vuelva a conectar el equipo y realice una

prueba para asegurar que el sistema eléctrico funcione correctamente.

9 REPUESTOS Y HERRAMIENTAS NECESARIAS

9.1 Repuestos comunes

- Filtro hidráulico
 - Descripción: Filtro de línea de retorno compatible con el sistema hidráulico.
- Aceite hidráulico ISO VG 46
 - Descripción: Fluido hidráulico específico para prensas, tipo ISO VG 46.
- Juntas de sellado para cilindros hidráulicos
 - Descripción: Juntas para los cilindros de doble efecto.
- Conexiones y mangueras hidráulicas
 - Descripción: Mangueras de alta presión y conectores para reemplazo en caso de desgaste o fugas.
- Elementos de sujeción (pernos, tornillos)
 - Descripción: Pernos y tornillos de las uniones principales de la estructura.

- Componentes del sistema eléctrico
 - Descripción: Fusibles, conectores y cables de repuesto para el sistema eléctrico.

9.2 Herramientas necesarias

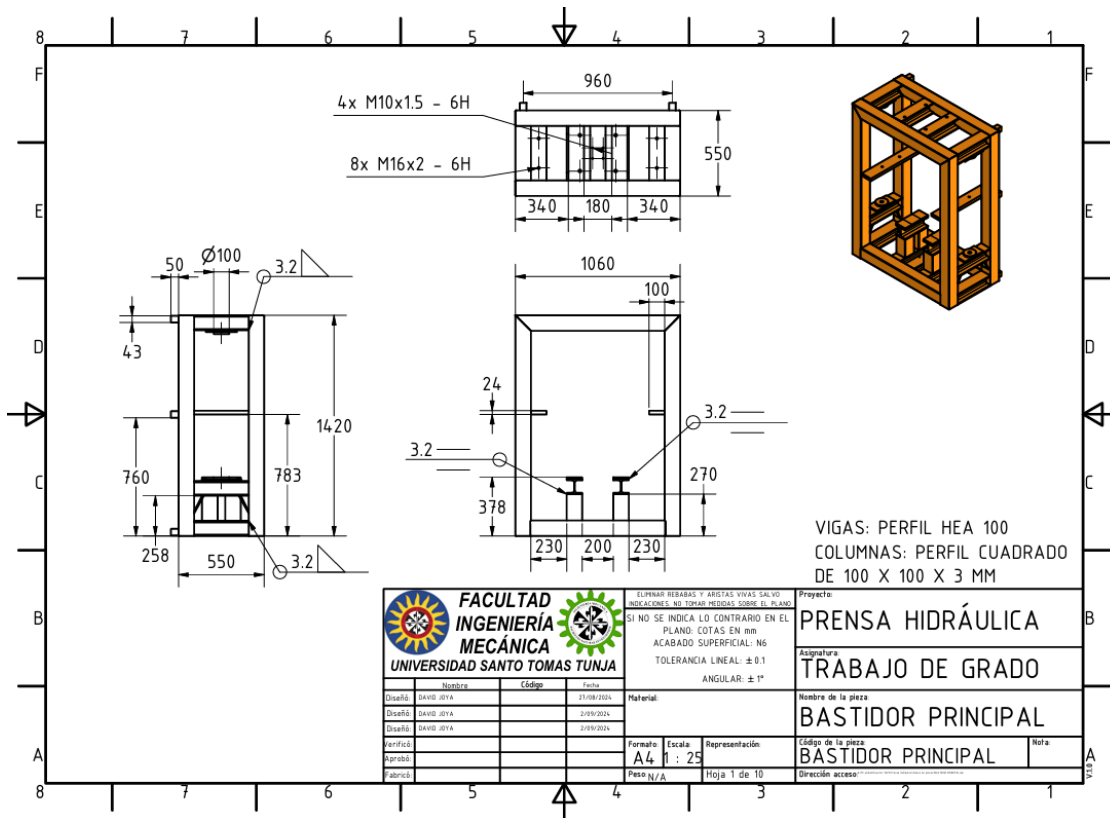
- Juego de llaves ajustables y llaves allen.
 - Uso: Ajuste de pernos y componentes de diferentes tamaños en el bastidor y los cilindros.
- Destornilladores de precisión y estándar
 - Uso: Manipulación de componentes eléctricos y ajustes en conexiones.
- Llave para filtros
 - Uso: Instalación y reemplazo de filtros hidráulicos sin dañar las conexiones.
- Bomba de transferencia de fluido
 - Uso: Cambio y llenado de fluido hidráulico de manera segura.
- Limpiador de aire comprimido
 - Uso: Limpieza de componentes como el intercambiador de calor y zonas de difícil acceso.

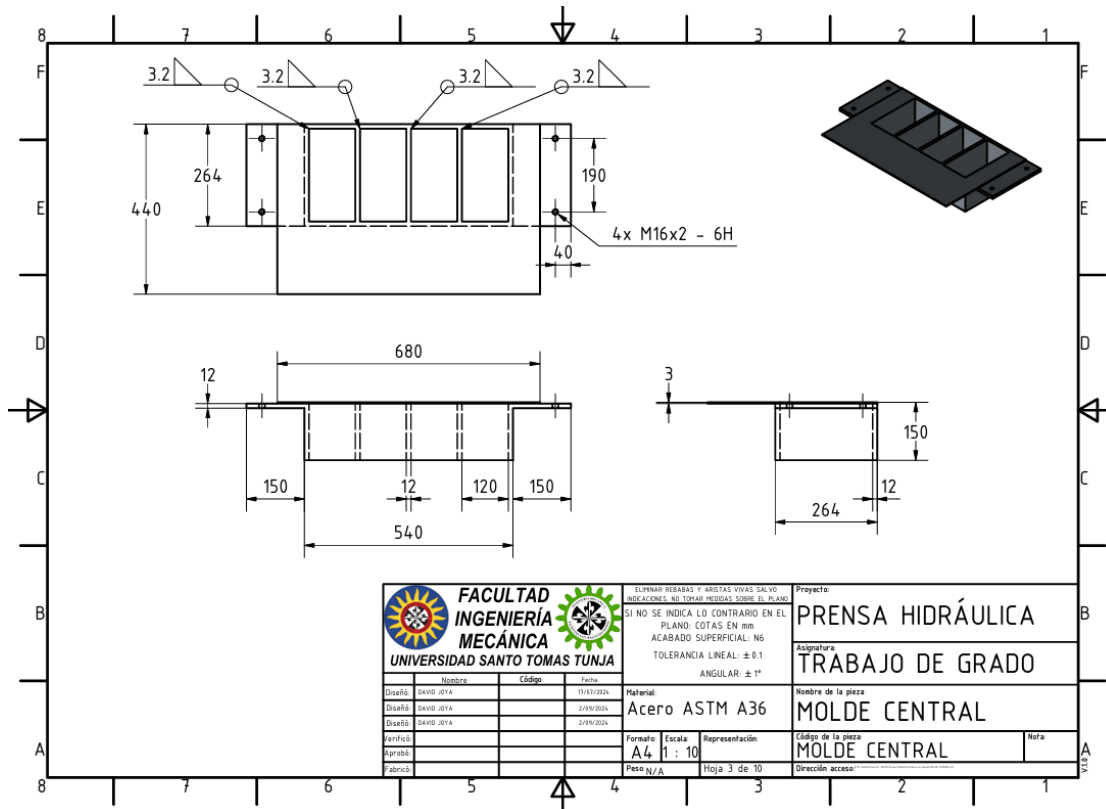
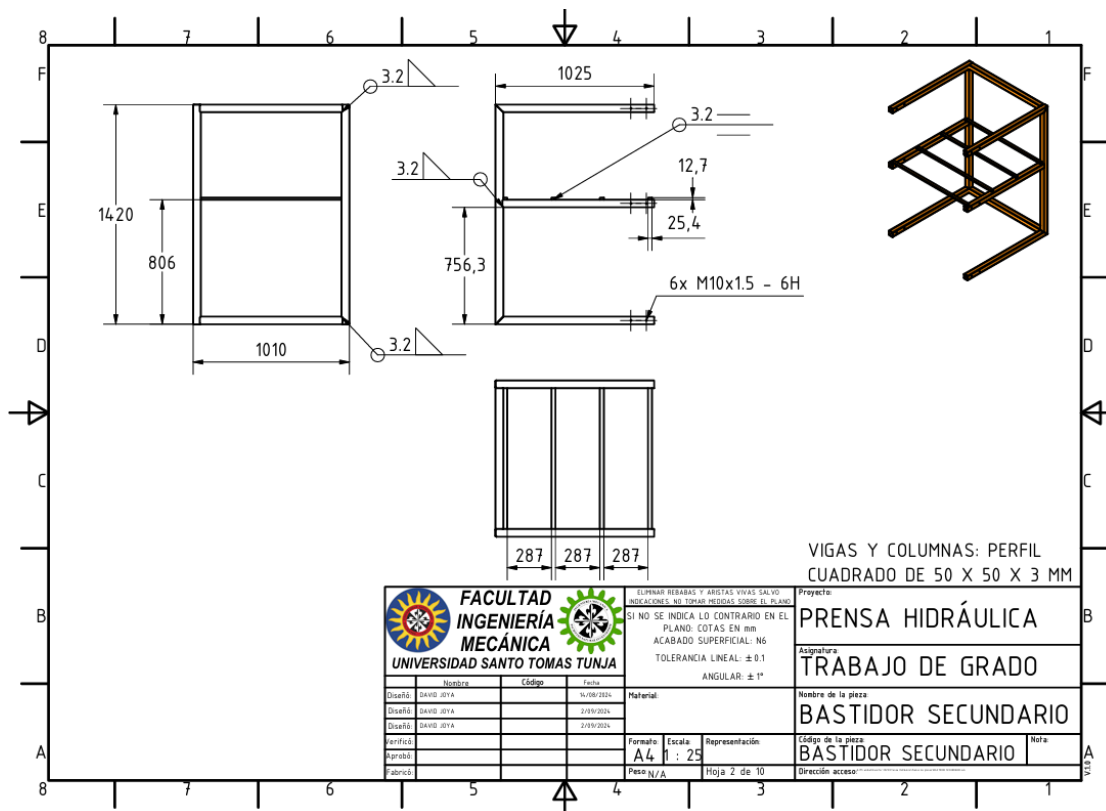
- Equipo de protección personal (EPP)
 - Descripción: Incluye guantes resistentes, gafas de seguridad, casco y botas de protección.
 - Uso: Protección del operador en todas las tareas de mantenimiento.
- Multímetro
 - Uso: Diagnóstico del sistema eléctrico, comprobación de conexiones y pruebas de voltaje.
- Lubricador manual
 - Uso: Aplicación de lubricante en puntos móviles de la prensa.

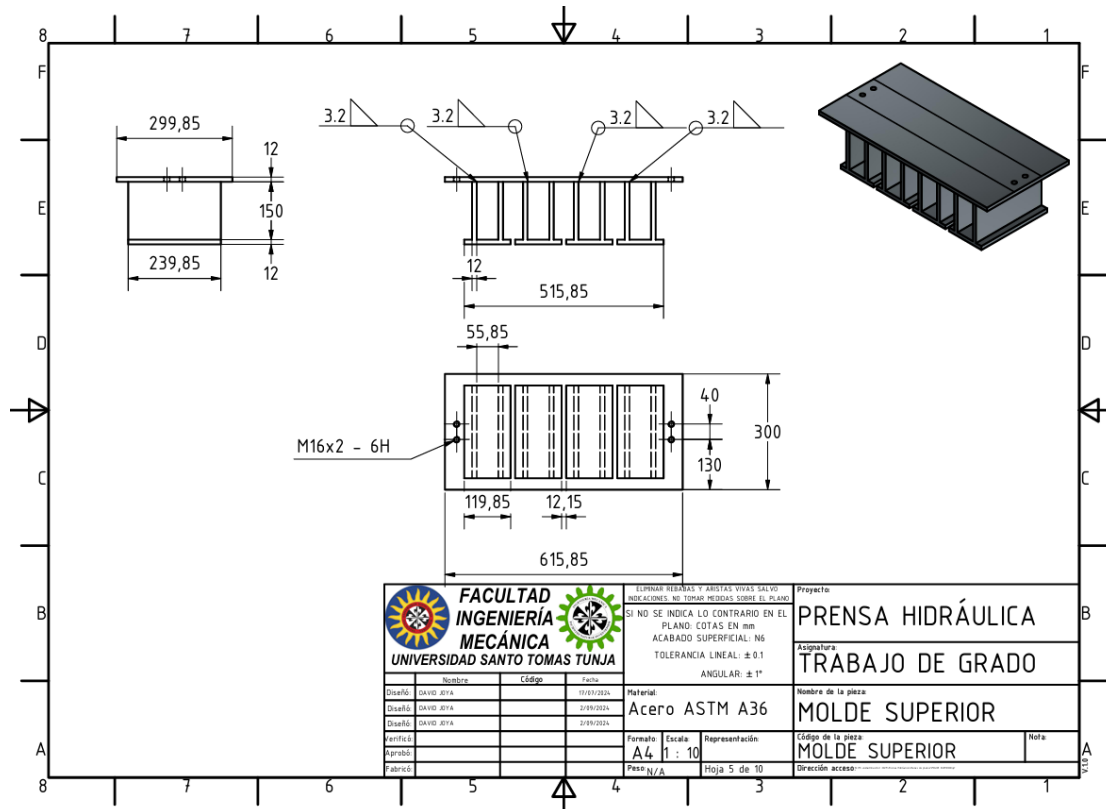
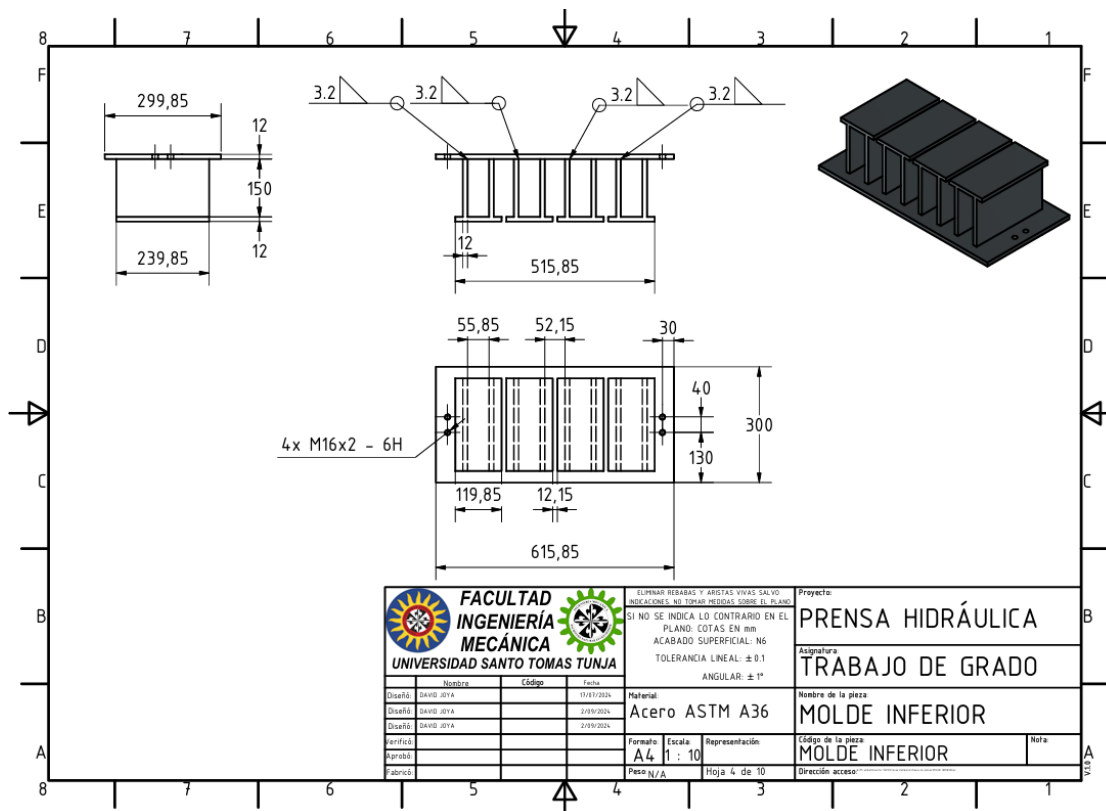
This image shows a single sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

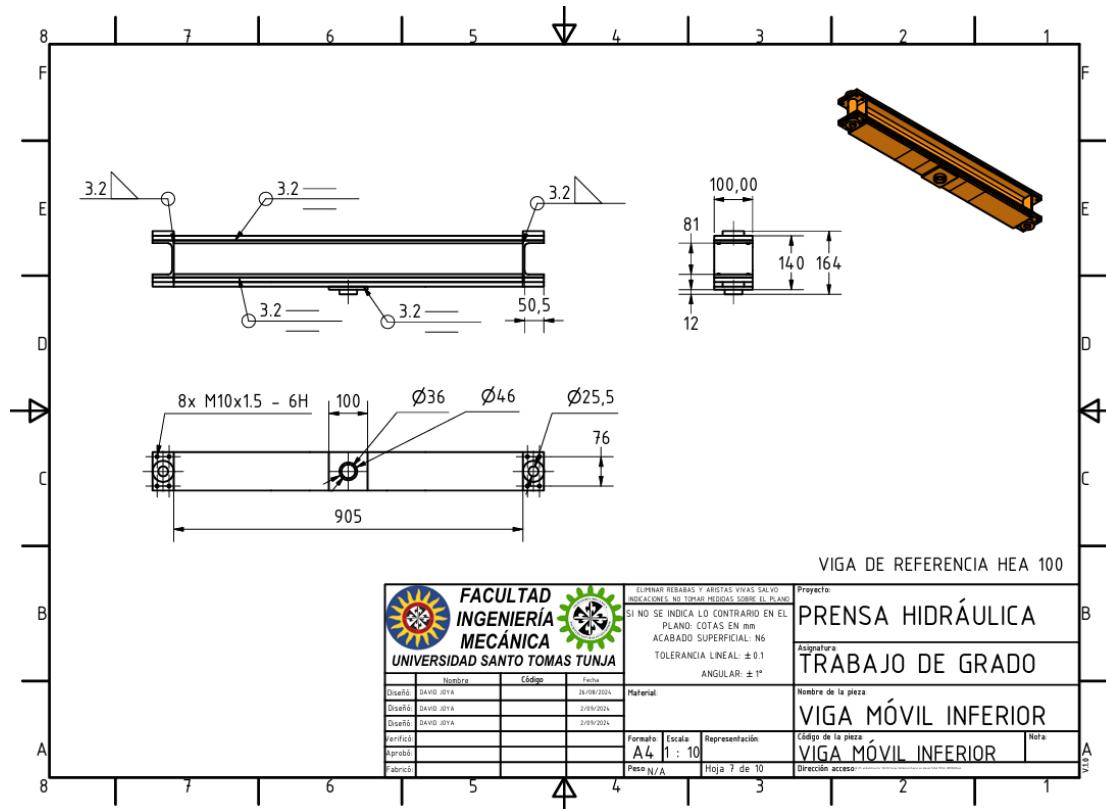
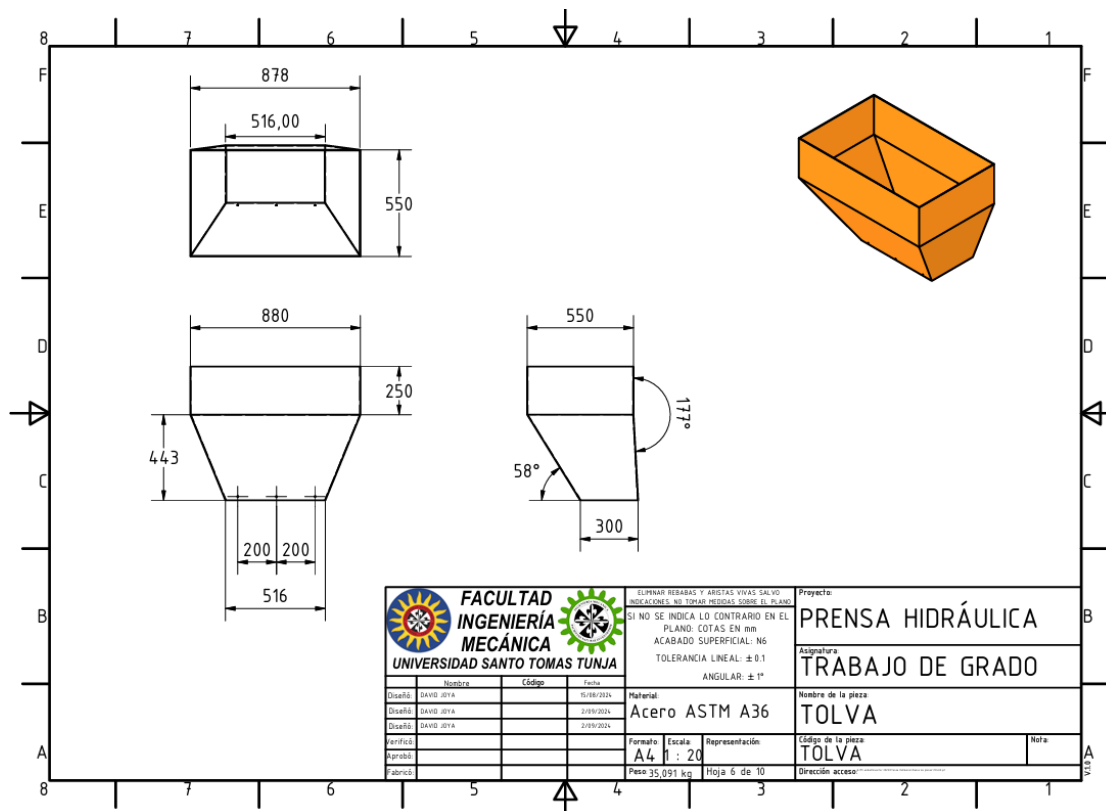
ARCIPRESS 

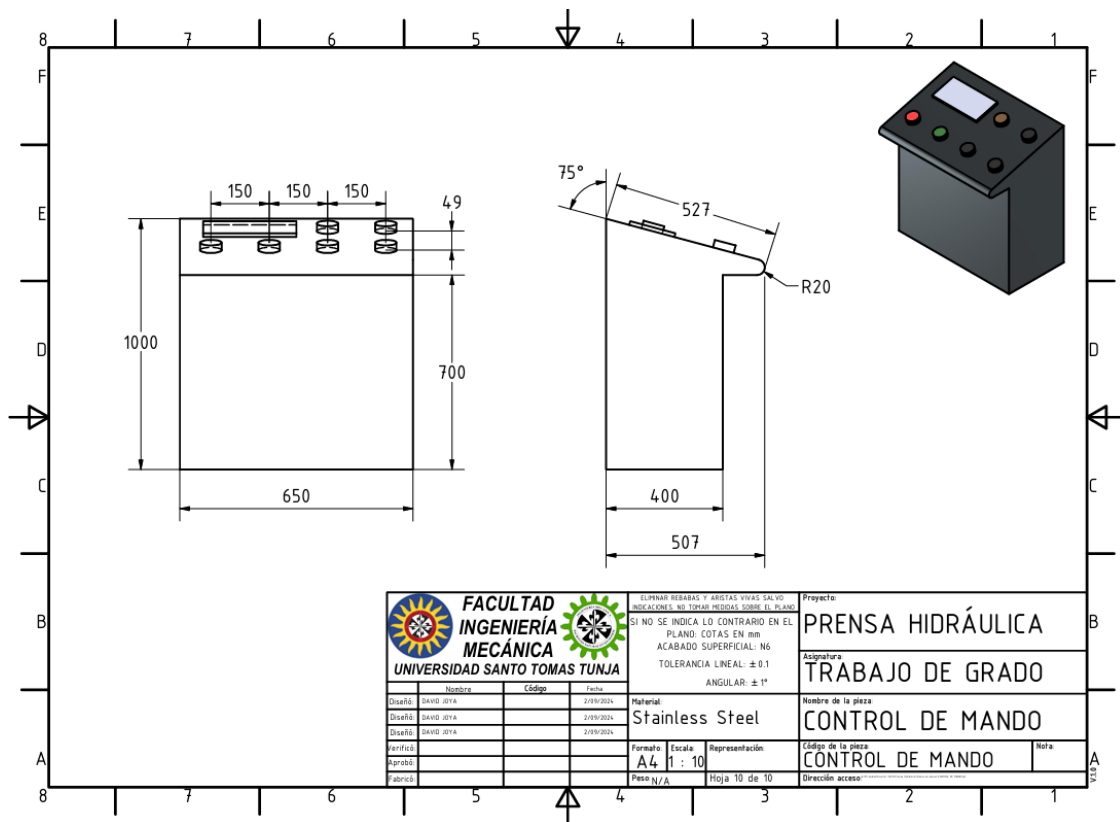
Anexo E Planos de fabricación











Anexo F Alternativas de diseño

