

**Diseño de una extrusora de arcilla para la producción eficiente de ladrillos en Málaga,
Santander**

Jhon Jairo Sepúlveda Camacho y Erika Tatiana Santos Toloza

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero mecánico

Director

Ricardo Alfonso Jaimes Rolón

Ingeniero mecánico M. Sc

Universidad industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería mecánica

Bucaramanga

2025

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
Introducción.....	14
1. Planteamiento del problema.....	15
2. Justificación.....	15
3. Objetivos.....	16
4. Marco teórico.....	17
4.1 Referentes.....	18
4.2 Extrusión de ladrillos	19
4.3 Principio de funcionamiento de las máquinas extrusoras de ladrillos	19
4.4 Tipos de máquinas extrusoras de ladrillos	20
4.5 Componentes principales de una extrusora de ladrillos	21
4.6 Factores que influyen en la calidad de la extrusión	22
5. Diseño metodológico.....	23
5.1 Diagnóstico de la situación actual	23
5.1.1 Materiales utilizados	23
5.1.2 Proceso de producción	24
5.1.3 Tecnologías empleadas	25
5.1.4 Producción de ladrillos en Santander.....	25
5.1.5 Producción de ladrillos en el municipio de Málaga.....	26
5.1.5.1 Características de la producción.....	26
5.1.6 Análisis de los problemas existentes.....	27
5.2 Evaluación de alternativas.....	28
5.3 Tipos de extrusoras de arcilla.....	30
5.3.1 Alternativa 1: Cilindro hidráulico.....	31
5.3.2 Alternativa 2: Tornillo de potencia.....	32
5.3.3 Alternativa 3: Sistema simple de llenado de gavera	33
5.3.4 Alternativa 4: Tornillo sin fin.....	34
5.4 Selección de alternativa para el diseño y construcción del prototipo.....	35

5.4.1	Tablas de selección	37
6.	Diseño en detalle del sistema de extrusión por tornillo sin fin	38
6.1.1	Parámetros de diseño del tornillo	39
6.1.2	Velocidad de giro del tornillo	39
6.1.3	Tipos de materiales a transportar por un tornillo sin fin	41
6.1.4	Transporte de material.....	41
6.1.5	Flujo volumétrico.....	42
6.1.6	Densidad de la mezcla y flujo másico	43
6.1.7	Diseño de geometría del tornillo.....	44
6.1.8	Cálculo de longitud del tornillo extrusor	47
6.1.9	Cálculo del paso del tornillo	47
6.1.10	Ancho del filete y número de filetes	48
6.2	Longitud de la zona de extrusión.....	49
6.3	Flujo en el extrusor de un tornillo sin fin y ancho de la hélice	49
6.4	Ecuaciones para el eje	50
6.5	Geometría de la hélice.....	51
7.	Potencia para el proceso de extrusión	52
7.1	Cálculo preliminares	52
7.2	Cálculo de velocidad	53
7.3	Cálculos de la presión	54
7.4	Potencia para la compresión y velocidad de avance	54
7.5	Cálculo de potencias	55
8.	Selección de transmisión cálculos de selección de componentes	59
8.1	Cálculos del motor	61
8.2	Cálculos del reductor	63
9.	Diseño del cilindro	64
9.1	Cálculo del espesor y del radio exterior del cilindro extrusor.....	65
10.	Diseño del eje.....	66
10.1	Diseño estático por esfuerzos.....	66
11.	Cálculo de eje.....	67
11.1.	Diagrama de fuerzas sobre el eje.....	67

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

__11.2	Momento de inercia para un eje circular macizo.....	69
11.3	Teorema de distorsión de Von Misses	69
_11.4	Cálculo de factor de seguridad estático	70
__11.5	Deflexión máxima y momento de inercia	73
_11.6	Cálculo de eje por fatiga	73
12.	Cálculo de boquilla.....	76
12.1	Cálculo de tornillos en la brida de la boquilla.....	78
13.	Selección de rodamientos	79
13.1	Cálculo de rodamiento en el punto C	80
13.2	Selección del rodamiento en el punto B soporte de rodamiento de bolas de una hilera.....	82
13.3	Cálculo del rodamiento en el punto B	83
13.4	Selección de soporte de rodamiento	84
__13.4.1	Soporte para rodamiento en punto B.	84
__13.4.2	Soporte para rodamiento en punto C.	85
14.	Selección de acople.....	87
14.1	Diseño de chaveta.....	89
15.	Diseño de tolva.....	91
15.1	Dimensionamiento de la tolva.....	92
15.2	Ángulo necesario para que la arcilla resbale sobre las paredes de la tolva.....	93
16.	Cálculo de principales uniones soldadas	95
16.1.	Cálculo de esfuerzo cortante debido a la fuerza axial.....	99
16.2	Cálculo del esfuerzo cortante debido al par torsor	97
16.3	Esfuerzo cortante total	97
17.	Sistema de corte	97
17.1	Bastidor	98
17.2	Palanca de corte.....	99
18.	Diseño del prototipo	100
18.1	Escalado lineal (factor 1:3)	101
18.2	Escalado de áreas (factor 1:9).....	102
18.3	Escalado de volumen, flujo volumétrico y potencia (factor 1:27)	103

19. Análisis de costos	104
20. Pruebas y resultados	107
20.1 Análisis comparativo	111
21. Manual de uso	112
22. Conclusiones	113
Referencias Bibliográficas.....	113

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Ponderación de alternativas	30
Tabla 2. Velocidad de giro según el tipo de material.....	40
Tabla 3. Volumen de ladrillo y volumen de extrusión.....	42
Tabla 4. Densidad de la mezcla y flujo másico	44
Tabla 5. Rendimiento (l/min) para diferentes diámetros y revoluciones del sin fin.....	45
Tabla 6. Velocidad máxima en rpm según el tipo de material.	46
Tabla 7. Longitud del tornillo	47
Tabla 8. Cálculo del paso del tornillo	48
Tabla 9. Ancho del filete y número de filetes.....	48
Tabla 10. Ángulo exterior de hélice y ancho de la hélice	49
Tabla 11. Parámetros para inicio del cálculo.....	50
Tabla 12. Valores de la geometría de la hélice	51
Tabla 13. Datos requeridos para cálculo de potencia.....	52
Tabla 14. Área de la boquilla, área del canal del tornillo y relación de compresión.....	53
Tabla 15. Cálculos de velocidad	53
Tabla 16. Potencia para la compresión.....	55
Tabla 17. Potencia para mover el transportador	55
Tabla 18. Factor de diámetro	56
Tabla 19. Potencia para mover el material	57
Tabla 20. Factor helicoidal	58
Tabla 21. Factor de eficiencia.....	59

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

Tabla 22. Cálculos del cilindro	65
Tabla 23. Fuerzas que actúan sobre el eje	66
Tabla 24. Esfuerzo máximo y momento de inercia	69
Tabla 25. Características del factor de seguridad	71
Tabla 26. Deflexión máxima y momento de inercia	73
Tabla 27. Limite de resistencia a la fátiga en la ubicación critica	74
Tabla 28. Cálculo de esfuerzos	74
Tabla 29. Factor de seguridad.....	76
Tabla 30. Tipo de rodamiento según su carga.	80
Tabla 31. Carga dinámica del rodamiento.....	81
Tabla 32. Tipo de rodamiento según su carga	83
Tabla 33. Presión en las paredes de la tolva	94
Tabla 34. Área efectiva de la soldadura	96
Tabla 35. Esfuerzo cortante debido a la fuerza axial	96
Tabla 36. Esfuerzo cortante debido al par torsor	97
Tabla 37. Resultados del escalado lineal (Factor 1:3)	101
Tabla 38. Costo de materiales necesarios.....	104
Tabla 39. Costos de fabricación de la máquina	105
Tabla 40. Comparación con otros sistemas de extrusión	107
Tabla 41. Pruebas realizadas	111

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Producción artesanal de ladrillos en el municipio de Málaga.	28
Figura 2. Boceto alternativa 1.....	32
Figura 3. Boceto alternativa 2.....	33
Figura 4. Boceto de sistema de llenado por gavera	34
Figura 5. Boceto alternativa 4.....	35
Figura 6. Máquina extrusora de tornillo sin fin	37
Figura 7. Tornillo sin fin.	47
Figura 8. Geometría la hélice.....	51
Figura 9. Motor eléctrico trifásico y sus generalidades	60
Figura 10. Reductor de velocidad	61
Figura 11. Reacciones y cargas sobre el tornillo	66
Figura 12. Diagrama de carga.....	68
Figura 13. Momento flector diagrama	68
Figura 14. Eje de transmisión	72
Figura 15. Perfil de velocidad debido al flujo de presión	77
Figura 16. Soporte de rodamiento tipo pie punto B.....	85
Figura 17. Soporte de rodamiento tipo pie punto c.....	86
Figura 18. Acople A100-20	89
Figura 19 Dimensiones de chaveta	89
Figura. 20 tipos de tolvas	92
Figura 21 Diagrama de flujo másico de tolva en forma de cuña	93

Figura 22 Tipos de uniones soldadas	95
Figura 23. Soldadura tipo T	96
Figura 24. Polea de corredera con soporte para atornillar	98
Figura 25. Bastidor.....	99
Figura 26 sistema de corte por hilo de acero	99
Figura 27. Sistema de corte ensamblado	100
Figura 28. Máquina extrusora GrupoMorbeck	106
Figura 29. Prototipo escala	108
Figura 30.Montaje para funcionamiento	108
Figura 31. Funcionamiento de la máquina extrusora.....	109
Figura 32. Pruebas de humedad.....	110
Figura 33. Manual de uso de la máquina extrusora	112

APÉNDICES

Apéndice 1. Selección de sistema

Apéndice 2. Características alternativa 1

Apéndice 3. Características alternativa 2

Apéndice 4. Características alternativa 3

Apéndice 5. Características alternativa 4

Apéndice 6. Evaluación alternativa extrusora de pistón hidráulico

Apéndice 7. Evaluación de alternativa extrusora de tornillo de potencia

Apéndice 8. Evaluación de alternativa sistema de llenado de gavera

Apéndice 9. Evaluación de alternativa Extrusora con tornillo sin fin

Apéndice 10. Diseño en detalle del sistema de extrusión por tornillo sin fin

Apéndice 11. Tipos y partes del tornillo sin fin

Apéndice 12. Parámetros de diseño del tornillo

Apéndice 13. Tipos de materiales a transportar por un tornillo sin fin

Apéndice 14. Cálculo del flujo volumétrico

Apéndice 15. Ecuaciones para el eje

Apéndice 16. Geometría de la hélice

Apéndice 17. Cálculos de la presión

Apéndice 18. Factor de material

Apéndice 19. Factor de sobrecarga

Apéndice 20. Fuerzas que actúan sobre el eje

Apéndice 21. Cálculo de reacciones

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

Apéndice 22. Cálculo del límite de resistencia a la fatiga

Apéndice 23. Cálculo de longitud de la boquilla

Apéndice 24. Cálculos de tornillo en la brida de la boquilla

Apéndice 25. Factor de carga axial del rodamiento

Apéndice 26. Vida nominal dinámica

Apéndice 27. Rodamiento seleccionado en punto C

Apéndice 28. Selección del rodamiento en punto

Apéndice 29. Rodamiento en punto B

Apéndice 30. Selección de acople

Apéndice 31. Tabla 1 de la norma ASME B17.1-1967

Apéndice 32. Cálculos de la longitud de las chavetas y las ranuras de chaveta.

Apéndice 33. Cálculos para el diseño de la tolva

Apéndice 34. Manual de uso

Apéndice 35. Planos

Resumen

Título: Diseño de una extrusora de arcilla para la producción eficiente de ladrillos en Málaga, Santander. *

Autores: Jhon Jairo Sepúlveda Camacho y Erika Tatiana Santos Toloza. **

Palabras clave: construcción sostenible, desarrollo económico, eficiencia, ladrillos, extrusora, sostenibilidad.

Descripción:

El presente proyecto tiene como objetivo diseñar una extrusora de ladrillos para mejorar el proceso de fabricación en el municipio de Málaga, Santander, Colombia. Actualmente, la producción de ladrillos en la región se realiza de forma manual, lo que limita la eficiencia y calidad de los productos, además de implicar una carga física considerable para los trabajadores, lo que retrasa la producción.

El diseño de una extrusora permitirá mejorar el proceso de fabricación, reduciendo la intervención manual, mejorando la calidad y aumentando la eficiencia en la producción. Esta máquina estará diseñada para minimizar el impacto ambiental, reduciendo la deforestación y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con los métodos tradicionales. Al mejorar la producción, se disminuirán los costos operativos y se incrementará la rentabilidad para los productores locales.

Además, el proyecto contribuirá al desarrollo económico local, al facilitar la producción de ladrillos de alta calidad, lo que a su vez impulsará la construcción de viviendas más seguras y sostenibles. Con ello, se promoverán prácticas de construcción responsable, mejorando la calidad de vida de la población y fomentando el desarrollo social en la región de Santander.

Este proyecto, por lo tanto, no solo busca mejorar la producción de ladrillos, sino también contribuir al desarrollo sostenible en la región, fortaleciendo la industria local y promoviendo un modelo de construcción más eficiente y respetuoso con el medio ambiente.

* Trabajo de grado.

** Facultad de Ciencias Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. M. Sc Ricardo Jaimes.

Abstract

Title: Design of a clay extruder for the efficient production of bricks in Málaga, Santander. *

Authors: Jhon Jairo Sepúlveda Camacho y Erika Tatiana Santos Toloza . **

Keywords: bricks, economic development, efficiency, extrusion, sustainable construction, sustainability.

Description:

This project aims to design a clay extruder to improve the brick manufacturing process in Málaga, Santander, Colombia. Currently, brick production in the region is done manually, limiting efficiency and product quality, and imposing a significant physical burden on workers. The manual process also depends on weather conditions for drying, which delays production and affects the consistency of the final product.

The design of an automated extrusion will optimize the manufacturing process, reducing manual labor, improving quality, and increasing production efficiency. This machine will be designed to minimize environmental impact by reducing deforestation and greenhouse gas emissions associated with traditional methods. Automating production will lower operational costs and increase profitability for local producers.

Furthermore, the project will contribute to local economic development by facilitating the production of high-quality bricks, which will promote the construction of safer and more sustainable housing. It will also encourage responsible construction practices, improving the quality of life for the population and fostering social development in the Santander region.

Thus, this project not only seeks to improve brick production but also contributes to sustainable development in the region, strengthening the local industry and promoting a more efficient and environmentally responsible construction model.

* Degree Work.

** Physical- Mechanical Sciences Faculty, Mechanical Engineering. Eng. **M. Sc** Ricardo Jaimes.

Introducción

En el municipio de Málaga, Santander, la fabricación de ladrillos es un oficio artesanal que se ha mantenido con el paso del tiempo. Este proceso inicia con la extracción de arcilla de la cantera, que luego se mezcla con agua en un pozo hasta obtener una consistencia similar a la plastilina. Posteriormente, la mezcla se transporta en baldes y se moldea manualmente en moldes de madera con capacidad para cinco ladrillos, lo que implica un esfuerzo físico considerable por parte de los trabajadores. A diario, un trabajador puede producir cerca de 1.000 unidades bajo estas condiciones. Tras el moldeo, los ladrillos deben secarse varios días antes de ser cocidos en hornos, un proceso que toma aproximadamente 15 días.

Esta información fue recolectada directamente en el municipio mediante visitas a diferentes ladrilleras, donde se identificaron prácticas manuales que incrementan la carga laboral y, en consecuencia, limitan la eficiencia del proceso. Aunque no existen estudios oficiales que documenten esta problemática a nivel local, la evidencia recopilada en campo permite establecer una base para proponer soluciones técnicas viables.

A pesar de la tradición y experiencia acumuladas, la carga laboral sigue siendo alta y la eficiencia de producción podría mejorar con la incorporación de tecnología. Por ello, este proyecto busca explorar alternativas para mejorar parcialmente el proceso, evaluando diferentes sistemas de extrusión como los manuales, hidráulicos y de tornillo sin fin. El objetivo es encontrar la opción más adecuada para optimizar la fabricación sin alterar drásticamente la esencia del trabajo, reduciendo el esfuerzo físico y mejorando la calidad del producto.

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

Entre las posibles soluciones, se plantea implementar un sistema de tornillo sin fin en la etapa de moldeo, mejorando esta fase sin afectar la producción diaria. Así, se espera que la modernización beneficie a los trabajadores y aumente la eficiencia regional.

1. Planteamiento del problema

El uso del ladrillo tiene una larga tradición que se remonta a más de 9.000 años, con evidencia de su fabricación en Palestina, donde se han encontrado restos de ladrillos de adobe secados al sol. En las civilizaciones mesopotámicas, como la sumeria y la babilónica, los ladrillos cocidos fueron empleados en la construcción de templos y palacios, destacándose por su facilidad de obtención y moldeo, en contraste con las rocas, que eran más difíciles de trabajar. En China, la Gran Muralla, una de las siete maravillas del mundo, fue construida utilizando ladrillos, y en la antigua Roma, los acueductos también fueron erigidos con ladrillos cocidos de arcilla.

Durante la Edad Media, el uso del ladrillo se expandió por el norte de Italia, el norte de Europa y los Países Bajos, donde se construyeron castillos y palacios. En Mesoamérica, algunas civilizaciones empleaban ladrillos de adobe recubiertos de piedra, mientras que en España, la influencia de la cultura musulmana en regiones como Castilla, Aragón y Andalucía promovió su uso (López Arce, 2012).

Barranzuela (2014) destaca que la importancia del ladrillo a lo largo de la historia lo ha consolidado como un pilar fundamental en la industria de la construcción global. En muchas

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

regiones, el ladrillo, fabricado principalmente con arcilla, es la base de las construcciones de albañilería.

En el municipio de Málaga, la fabricación de ladrillos sigue siendo una actividad predominante y generadora de empleo, especialmente en sectores socioeconómicos bajos. No obstante, el proceso manual presenta limitaciones como baja eficiencia e inconsistencia en la calidad del producto. La mezcla de tierra, agua y cemento carece de maquinaria adecuada para el moldeo, lo que limita la eficiencia y calidad.

Por tanto, se plantea desarrollar una máquina extrusora que facilite el moldeo, aumente la eficiencia y mejore la calidad del producto final.

2. Justificación

Este proyecto busca impulsar el desarrollo productivo en Santander, Colombia, con un enfoque en la fabricación de ladrillos. Actualmente, la producción en la región se realiza de forma manual, lo que genera varias dificultades: el proceso es lento, los costos de producción son altos y la calidad del producto varía considerablemente. Esto afecta tanto a los productores como a quienes utilizan los ladrillos como materiales de construcción.

Con el fin de brindar una solución a esta problemática, se propone la implementación de una extrusora de ladrillos que permitirá mejorar la producción, desde la uniformidad del producto hasta

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

la reducción de costos. Esta innovación permitirá a los fabricantes ser más competitivos, acceder a mejores oportunidades de mercado, generar empleo y fortalecer la economía local.

En el municipio de Málaga, la fabricación de ladrillos es una fuente de trabajo fundamental, especialmente para familias de bajos recursos. Sin embargo, se realiza manualmente debido a la falta de herramientas adecuadas, lo que limita su crecimiento, dificulta la consolidación de los productores y afecta su capacidad de respuesta ante la demanda. La introducción de esta tecnología busca modernizar el proceso, hacer la producción más eficiente y garantizar un producto de mejor calidad que beneficie tanto a fabricantes como a usuarios del ladrillo en la construcción.

En definitiva, consideramos que este proyecto representa un avance para el sector ladrillero y una oportunidad para fortalecer la economía y mejorar la calidad de vida en la región.

3. Objetivos

Objetivo general

Diseñar una máquina extrusora de arcilla adaptada a las necesidades específicas de la población de Málaga, Santander, con el fin de fomentar una producción eficiente y sostenible de ladrillos, contribuyendo al desarrollo local y promoviendo la construcción sostenible en la región.

Objetivos específicos

1. Realizar un diagnóstico de la situación actual de la producción de ladrillos extruidos,

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

incluyendo un análisis de los problemas existentes y las oportunidades de mejora en los procesos de fabricación.

2. Diseñar una máquina extrusora de arcilla que cuente con una capacidad de producción de 1.200 ladrillos diarios, tipo M (unidad de mampostería maciza), que integre un sistema de extrusión eficiente, así como un sistema de calibración que garantice la calidad y uniformidad de los ladrillos fabricados.
3. Desarrollar un prototipo a escala 1:3 para la realización de pruebas de laboratorio y obtención de datos, con el fin de validar y mejorar el diseño de la extrusora de arcilla.
4. Realizar un análisis de costos para verificar la viabilidad del proyecto.
5. Elaborar un manual de uso de la máquina con el fin de garantizar su funcionamiento confiable y constante, minimizando la necesidad de reparaciones y asegurando un rendimiento óptimo y una vida útil prolongada del equipo.

4. Marco teórico

4.1 Referentes

En esta sección se presentan algunos referentes conceptuales sobre extrusoras de ladrillos esenciales para plantear una solución viable al problema de investigación. Se explicará cómo funciona el proceso de extrusión, los principios de funcionamiento de las máquinas extrusoras, sus tipos, componentes principales y los factores que influyen en la calidad del producto final.

4.2 Extrusión de ladrillos

La extrusión es un proceso ampliamente utilizado en la industria cerámica para la fabricación de productos con forma definida y uniforme. Básicamente, consiste en aplicar presión a una mezcla de arcilla que es forzada a pasar a través de una boquilla o matriz, obteniendo así una forma definida. Luego, el material extruido se corta en piezas del tamaño requerido y se somete a un proceso de secado y cocción.

Este sistema ofrece ventajas significativas frente a otros métodos como el moldeo manual o el prensado. Entre ellas, destaca la mayor homogeneidad en la estructura del material, la reducción en los tiempos de producción y el aprovechamiento óptimo de la materia prima, lo que disminuye los desperdicios.

Además, muchas extrusoras modernas incluyen sistemas de vacío que eliminan el aire dentro del material antes de la extrusión. Esto reduce defectos estructurales como grietas y porosidades, aumentando la resistencia mecánica del producto final.

4.3 Principio de funcionamiento de las máquinas extrusoras de ladrillos

El proceso de extrusión en la fabricación de ladrillos se desarrolla en varias etapas clave:

- a) **Amasado y mezcla:** La arcilla se homogeniza en un molino amasador con palas giratorias que giran en direcciones opuestas. Esto asegura una distribución uniforme de la humedad y otros aditivos.

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

- b) **Transporte del material:** Un tornillo sin fin, conocido como tornillo de Arquímedes, impulsa la mezcla a través de una placa perforada para compactarla y eliminar partículas gruesas no deseadas.
- c) **Extrusión y compactación:** La arcilla pasa por una cámara de compactación que reduce la porosidad y mejora la cohesión antes de atravesar la boquilla de conformado.
- d) **Corte y acabado:** Un sistema de corte ajustable divide la columna de arcilla en piezas individuales con las dimensiones establecidas. En algunos casos, se utilizan dispositivos de estampado o texturización para mejorar la adherencia de los ladrillos en las construcciones.

El control preciso de cada una de estas etapas es esencial para garantizar la calidad del producto final y minimizar defectos como grietas, deformaciones o variabilidad en las dimensiones.

4.4 Tipos de máquinas extrusoras de ladrillos

Las extrusoras de ladrillos pueden clasificarse en función de su diseño y mecanismo de operación. Algunas de las más utilizadas en la industria son:

- a) **Extrusoras sin cilindros alimentadores:** Presentan una baja eficiencia en la alimentación continua del material, por lo que su uso es limitado en la industria.
- b) **Extrusoras de hélice (tornillo sin fin):** Son las más utilizadas debido a su capacidad para mantener un flujo continuo y homogéneo del material. Su diseño permite ajustar la velocidad de extrusión y la presión de compactación según las características de la arcilla utilizada.

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

- c) **Extrusoras de vacío:** Incorporan una cámara de desaireación que elimina el aire atrapado en la mezcla antes de la extrusión. Esto mejora la densidad y la resistencia mecánica de los ladrillos, reduciendo defectos como grietas y deformaciones.
- d) **Extrusoras por pistón:** Funcionan con ciclos de presión intermitente, logrando una compactación uniforme del material. Sin embargo, su capacidad de producción es menor en comparación con las extrusoras de tornillo.

La elección del tipo de extrusora depende de varios factores, como la capacidad de producción requerida, las características de la materia prima y las condiciones de operación en la planta de fabricación.

4.5 Componentes principales de una extrusora de ladrillos

Las máquinas extrusoras cuentan con varios elementos esenciales para su funcionamiento eficiente:

- a) **Tolva de alimentación:** Recibe la materia prima y la dirige al sistema de amasado y extrusión.
- b) **Tornillo extrusor:** Transporta y compacta el material, impulsándolo hacia la boquilla de conformado.
- c) **Boquilla de extrusión:** Define la forma y dimensiones del ladrillo extruido, asegurando que cumpla con los estándares de calidad y normativas vigentes.
- d) **Sistema de corte:** Divide la columna de material extruido en piezas individuales con dimensiones exactas.

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

- e) **Estructura de soporte y transmisión:** Contiene los mecanismos de accionamiento y proporciona estabilidad a la máquina durante el proceso de extrusión.

Cada uno de estos componentes desempeña un papel clave en la eficiencia y calidad del proceso de extrusión, por lo que su correcto diseño y el mantenimiento son esenciales para el óptimo rendimiento de la máquina.

4.6 Factores que influyen en la calidad de la extrusión

El proceso de extrusión está influenciado por múltiples variables que afectan directamente la calidad del producto final:

- a) **Composición de la arcilla:** La proporción de arcilla y agua debe ser equilibrada para evitar defectos estructurales.
- b) **Presión de extrusión:** Un nivel de presión adecuado garantiza una compactación uniforme sin generar sobreesfuerzos en la maquinaria.
- c) **Velocidad de extrusión:** Un flujo constante y controlado evita variaciones en la densidad del material y defectos en la estructura de los ladrillos.
- d) **Humedad de la mezcla:** Una humedad incorrecta puede provocar grietas, deformaciones o fallos en el secado del ladrillo.

Monitorear y controlar estos factores es esencial para asegurar la eficiencia del proceso y la calidad del producto final.

5. Diseño metodológico

5.1 Diagnóstico de la situación actual

La producción de ladrillos es una actividad industrial significativa en Colombia, especialmente en el departamento de Santander y el municipio de Málaga. Este estudio aborda el proceso de producción, los materiales utilizados, las técnicas y tecnologías empleadas, y el impacto económico y social de esta industria en la región.

La teoría de la producción industrial y la cadena de suministro proporciona el marco conceptual para analizar la producción de ladrillos prensados. La teoría económica del desarrollo regional también se utilizará para evaluar el impacto socioeconómico en Santander y Málaga. Según Porter (1990), la competitividad regional en industrias específicas puede ser un motor clave del desarrollo económico local. Además, la teoría de la producción sostenible ofrece una perspectiva para analizar cómo las prácticas ambientales pueden integrarse en la producción de ladrillos para minimizar el impacto negativo en el medio ambiente.

5.1.1 Materiales utilizados

- a) **Arcilla:** Principal materia prima, extraída de yacimientos locales. La calidad de la arcilla es crucial para la producción de ladrillos de alta resistencia. Según García y Martínez (2020), la composición mineralógica de la arcilla, como el contenido de sílice y alúmina, afecta directamente las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos.
- b) **Agua:** Necesaria para mezclar y moldear la arcilla. La cantidad y calidad del agua influyen directamente en la consistencia y manejabilidad de la mezcla. Un control adecuado del

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

contenido de agua es esencial para evitar defectos como grietas y deformaciones durante el secado y la cocción.

- c) **Aditivos:** Se añaden para mejorar las propiedades del ladrillo, tales como resistencia, durabilidad y color. Los aditivos comunes incluyen arena, aserrín y productos químicos específicos. Según Sánchez (2019), el uso de aditivos puede optimizar el proceso de producción y mejorar la calidad del producto final, reduciendo también los costos de producción.

5.1.2 Proceso de producción

- a) **Extracción de arcilla:** La arcilla se extrae de canteras cercanas y se transporta a las fábricas. Este proceso debe ser sostenible para minimizar el impacto ambiental. Se recomienda la restauración de canteras y el manejo adecuado de residuos (Asocaña, 2022).
- b) **Preparación de la mezcla:** La arcilla se mezcla con agua y aditivos en proporciones precisas para garantizar la calidad del producto final. Este proceso puede ser manual o mecanizado, dependiendo de la escala de producción. El control de la granulometría de la arcilla es crucial para asegurar una mezcla homogénea y facilitar el moldeo (Departamento Nacional de Planeación, 2021).
- c) **Moldeo:** La mezcla se moldea en prensas mecánicas, manuales o automáticas. La presión aplicada influye en la densidad y resistencia del ladrillo. La precisión en el moldeo es vital para lograr dimensiones uniformes y reducir la variabilidad de las propiedades mecánicas (Organización Internacional del Trabajo, 2023).
- d) **Secado:** Los ladrillos moldeados se secan para eliminar el exceso de agua. Puede hacerse al aire libre o en secaderos controlados. Un secado lento y controlado es preferible para

evitar grietas y deformaciones (García & Martínez, 2020).

- e) **Cocción:** Los ladrillos secos se cuecen entre 800 °C y 1000 °C. La cocción proporciona resistencia y durabilidad. El tipo de horno, el control de temperatura y el tiempo son factores esenciales para una cocción uniforme y eficiente (Sánchez, 2019).

5.1.3 Tecnologías empleadas

- a) **Prensas mecánicas:** Utilizadas para dar forma a los ladrillos. Las prensas modernas permiten una producción más rápida y homogénea, mejorando la calidad del producto final. La tecnología de prensado ha avanzado con la introducción de sistemas automatizados que aumentan la precisión y reducen el desperdicio (Asocaña, 2022).
- b) **Hornos de cocción:** Hornos de túnel o intermitentes para la cocción. Los hornos de túnel son más eficientes y permiten una producción continua, mientras que los hornos intermitentes son más flexibles para producciones a menor escala. La eficiencia energética y la reducción de emisiones son consideraciones clave en la selección y operación de los hornos (Departamento Nacional de Planeación, 2021).

5.1.4 Producción de ladrillos en Santander

La producción de ladrillos es una actividad industrial significativa en Colombia, especialmente en el departamento de Santander y el municipio de Málaga. Este estudio aborda el proceso de producción, los materiales utilizados, las técnicas y tecnologías empleadas, y el impacto económico y social de esta industria en la región.

Según el Departamento Nacional de Planeación (2021), Santander es uno de los principales productores de ladrillos en Colombia, contribuyendo significativamente al mercado nacional y

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

regional. La producción en la región está bien desarrollada, con una infraestructura de apoyo que incluye transporte, suministros de materias primas y servicios técnicos.

La industria de ladrillos es una fuente significativa de empleo en la región. Proporciona trabajos directos en las fábricas y canteras, así como empleos indirectos en el transporte y distribución. La capacitación y el desarrollo de habilidades son aspectos importantes para mejorar la productividad y la calidad del trabajo en la industria (Organización Internacional del Trabajo, 2023).

La producción de ladrillos contribuye a la economía local a través de la generación de ingresos y el desarrollo de infraestructura. Además, impulsa otros sectores como la construcción y el comercio de materiales de construcción. Las inversiones en tecnología y capacitación pueden aumentar la competitividad y sostenibilidad de la industria en la región (García & Martínez, 2020).

5.1.5 Producción de ladrillos en el municipio de Málaga

5.1.5.1 Características de la producción. Málaga cuenta con varias pequeñas y medianas empresas dedicadas a la producción de ladrillos. Estas empresas varían en tamaño y capacidad, desde talleres artesanales hasta fábricas más industrializadas. La diversidad de métodos de producción refleja las características locales y las demandas del mercado (Sánchez, 2019).

Las técnicas de producción en Málaga incluyen tanto métodos tradicionales, que dependen del trabajo manual y habilidades artesanales, como procesos más industrializados que utilizan maquinaria moderna para mejorar la eficiencia y calidad del producto final. La innovación en métodos de producción puede aumentar la sostenibilidad y reducir los costos operativos (García & Martínez, 2020).

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

La industria de ladrillos en Santander y Málaga contribuye significativamente al PIB local. Según el Departamento Nacional de Planeación (2021), la producción de ladrillos representa una porción importante del sector manufacturero de la región. La industria no solo genera ingresos directos, sino que también impulsa el crecimiento de otros sectores económicos a través de efectos multiplicadores. Genera empleo directo e indirecto, proporcionando ingresos estables a numerosas familias y contribuyendo al desarrollo económico local. Además, impulsa otros sectores económicos como el transporte y la construcción. La estabilidad en el empleo y los ingresos es crucial para el desarrollo económico y la reducción de la pobreza en la región (Organización Internacional del Trabajo, 2023).

La producción de ladrillos mejora la calidad de vida de los trabajadores al proporcionar empleo y estabilidad económica. Las empresas en la región también participan en proyectos comunitarios y de infraestructura, beneficiando a las comunidades locales. El desarrollo de habilidades y la capacitación son importantes para mejorar las oportunidades de empleo y el bienestar de los trabajadores (García & Martínez, 2020).

La producción de ladrillos prensados en Málaga Santander es una industria clave con un impacto significativo en la economía y la sociedad local. Sin embargo, enfrenta desafíos que requieren la adopción de nuevas tecnologías y estrategias de mercado para mejorar su competitividad y sostenibilidad. La modernización de las técnicas de producción y la expansión de mercados son esenciales para asegurar el futuro de esta industria en la región. Además, la colaboración entre el sector privado, las instituciones educativas y el gobierno puede facilitar la innovación y el desarrollo sostenible.

5.1.6 Análisis de los problemas existentes

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

En el municipio, la producción de ladrillo es de forma artesanal y manual lo que genera problemas en todo el proceso de fabricación de ladrillos, el proceso actual puede llevar inconsistencias en la calidad de los ladrillos y baja eficiencia. Lo cual genera un impacto en la variabilidad de las dimensiones y resistencia de los ladrillos, baja productividad y mayor tiempo de producción. El proceso tiene la utilización de bueyes para mezclar la arcilla lo cual es un método arcaico y de baja eficiencia y no garantiza una mezcla homogénea, lo que afecta la calidad del producto final. Posterior a esto, el proceso de secado al aire libre y la utilización de ceniza dependen de las condiciones climáticas lo que genera un retraso en la producción debido al mal clima y riesgo de que los ladrillos se agrieten o deformen.

El corte manual de los ladrillos es ineficiente y depende de la habilidad del trabajador. Lo cual lleva a una baja productividad y variabilidad en las dimensiones de los ladrillos. Después de todo este proceso los ladrillos pasan al proceso de cocción donde se utiliza un horno antiguo. Además, el tiempo de cocción es de un mes y medio, esto conlleva un consumo elevado de carbón mineral, lo que a su vez genera una mayor emisión de contaminantes.

Estas circunstancias, entre otras que influyen en el resultado final, permiten que sea viable el desarrollo de nuevas técnicas que mejoren el trabajo con el objetivo de lograr una mayor eficiencia y productividad.

Figura 1.

Producción artesanal de ladrillos en el municipio de Málaga.

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA



5.2 Evaluación de alternativas

Para evaluar los diferentes tipos de máquinas extrusoras, y realizar la selección del sistema más adecuado, podemos organizarlas en una tabla comparativa algunos los factores clave: eficiencia, costos, contaminación, y la reducción de carga física sobre los trabajadores. (Ver APÉNDICE 1)

A partir de esta evaluación exhaustiva, se concluye que los sistemas manuales son una opción económica y flexible, aunque presentan limitaciones en términos de eficiencia y carga física, lo que puede afectar su viabilidad a largo plazo. En contraste, los sistemas hidráulicos,

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

aunque incrementan significativamente la capacidad de producción y reducen la carga física sobre los operarios, requieren una inversión inicial considerable y costos de mantenimiento elevados.

Por su parte, los sistemas con tornillos de potencia emergen como una alternativa más equilibrada, combinando eficiencia, disminución del esfuerzo físico y sostenibilidad a largo plazo. Aunque los costos iniciales y de mantenimiento puedan ser más altos que los de los sistemas manuales, las mejoras en la producción y la optimización del trabajo físico justifican su implementación en el marco del proyecto. Si bien su diseño es más complejo, su manejo resulta accesible y, además, proporciona la flexibilidad necesaria para adaptarse a las necesidades específicas de la fábrica, mejorando uno de los procesos más lentos y costosos.

Tabla 1.

Ponderación de alternativas

Factor	Sistemas manuales	Sistemas hidráulicos	Tornillos de potencia
Eficiencia	3	7	9
Costos	9	4	7
Contaminación	8	5	9
Carga física	2	6	9
Mantenimiento	8	4	7
Durabilidad	8	7	8
Flexibilidad de uso	9	4	7
Capacidad de producción	3	6	9

En conclusión, los sistemas con tornillos de potencia destacan como la opción más favorable, obteniendo la calificación más alta y el mejor promedio ponderado. Este sistema

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

sobresale principalmente por su alta eficiencia, reducción significativa de la carga física, bajo impacto en la contaminación y excelente capacidad de producción.

Aunque su costo inicial es superior al de los sistemas manuales y su diseño es más complejo, su capacidad para equilibrar sostenibilidad y rendimiento lo convierte en una opción adecuada para mejorar el proceso de fabricación de ladrillos en Málaga. En comparación con los sistemas manuales e hidráulicos, los tornillos de potencia ofrecen una solución integral que no solo mejora la eficiencia del proceso, sino que también proporciona una mayor durabilidad y flexibilidad a largo plazo.

5.3 Tipos de extrusoras de arcilla

5.3.1 Alternativa 1: Cilindro hidráulico

- a) Disposición del montaje de alternativa 1 de manera horizontal
- b) Sistema de extrusión: de pistón hidráulico
- c) Sistema de potencia: por bombeo manual
- d) Sistema de alimentación: tapa bisagra

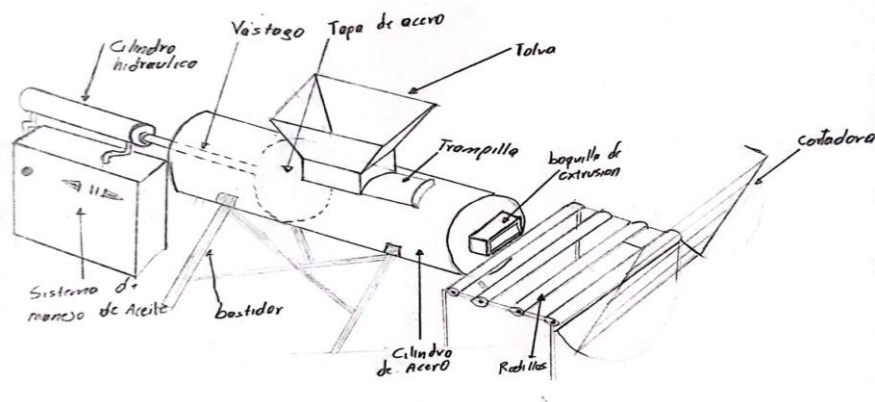
Esta alternativa presenta dos limitaciones principales: el tamaño y la velocidad. En primer lugar, para alcanzar una capacidad de producción considerable de ladrillos, el sistema tendría que ser de dimensiones muy grandes, lo que podría dificultar su implementación y operación. En segundo lugar, aunque este sistema ofrece una gran fuerza de prensado, su naturaleza de alimentación manual conlleva una velocidad de operación relativamente baja, lo que podría limitar la eficiencia en procesos de producción a gran escala, estas conclusiones se determinaron a partir de las características de cada una de las partes del sistema. (Ver APÉNDICE 2)

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

A continuación, se presenta el boceto de la Alternativa 1, donde se puede observar el sistema a grandes rasgos.

Figura 2.

Boceto alternativa 1



5.3.2 Alternativa 2: Tornillo de potencia

- a) Disposición del montaje de la alternativa 2: horizontal
- b) Sistema de extrusión: tornillo sin fin
- c) Sistema de potencia: por tornillo conectado a engranajes accionado por motor eléctrico o a combustión interna
- d) Sistema de alimentación tapa bisagra

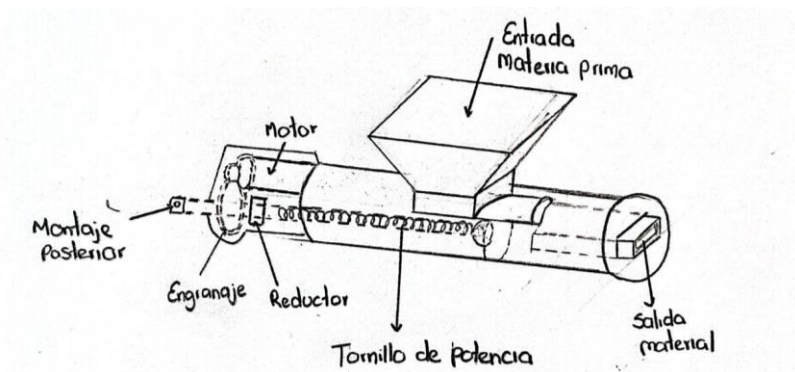
Esta alternativa al ser de tornillo sin fin tiene la limitación de ser muy lenta y de difícil recarga. Además, el sistema de tornillo está en contacto con la arcilla lo cual a largo plazo trae consecuencias debido a la abrasión. Estas conclusiones se determinaron a partir del análisis de las características de este sistema. (Ver APÉNDICE 3)

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

A continuación, se presenta el boceto de la Alternativa 2, donde se puede observar el sistema a grandes rasgos.

Figura 3.

Boceto alternativa 2



5.3.3 Alternativa 3: Sistema simple de llenado de gavera

- a) Disposición de montaje de alternativa 3: horizontal
- b) Sistema de llenado manual
- c) Sistema de potencia alternativa 3: por motor a combustión
- d) Alimentación alternativa 3: por tolva

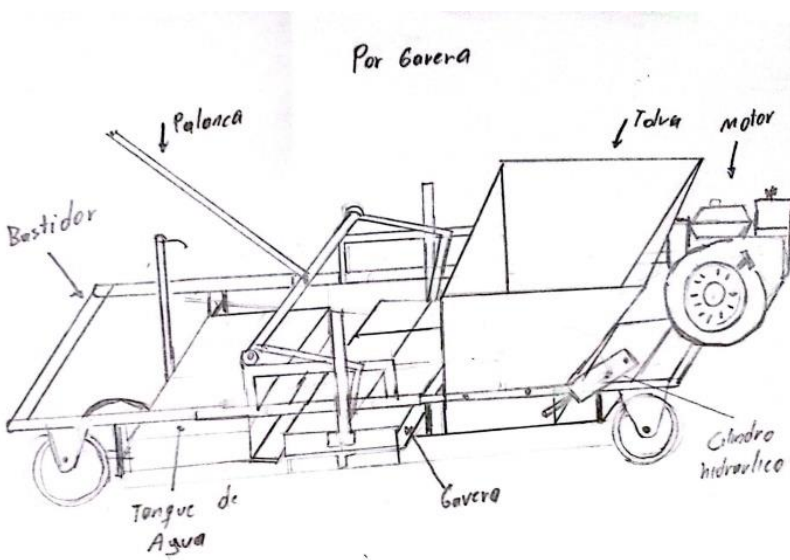
Esta alternativa cuenta con una clara desventaja y es la disposición de operación, ya que tiene que ser operada en un lugar totalmente plano y espacioso, lo cual no se está a disposición de los productores de ladrillo de la zona. Luego de analizar las características de este sistema, podemos concluir que no es viable para lograr los objetivos del presente proyecto. (Ver APÉNDICE 4)

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

A continuación, se presenta el boceto de la Alternativa 3, donde se puede observar el sistema a grandes rasgos.

Figura 4.

Boceto de sistema de llenado por gavera



5.3.4 Alternativa 4: Tornillo sin fin

- a) Disposición del montaje de la alternativa 4: horizontal
- b) Sistema de extrusión: tornillo sin fin
- c) Sistema de potencia: por tornillo sin fin conectado a motor
- d) Alimentación alternativa 4: por tolva

Esta alternativa presenta un diseño más simple que la anterior, tanto en su configuración como en sus componentes. No obstante, mantiene una alta eficiencia, ya que incorpora un sistema de llenado por tolva y extrusión mediante tornillo sin fin, impulsado por un motor eléctrico. El tornillo sin fin garantiza un flujo continuo y controlado del material, mejorando el proceso de

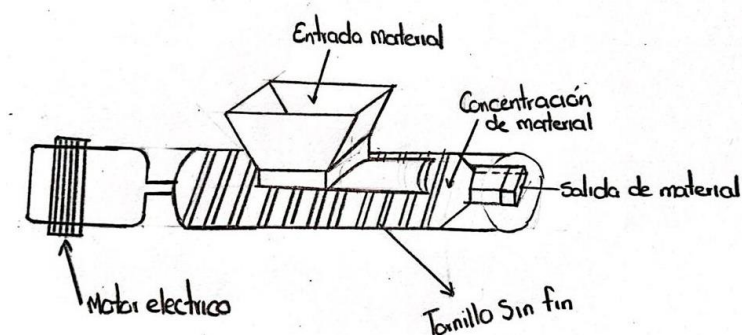
DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

dosificación y reduciendo posibles atascos, mientras que el motor eléctrico proporciona una operación estable y ajustable según los requerimientos del sistema. (Ver Apéndice 5)

A continuación, se mostrará un boceto de como quedaría tentativamente la máquina con los elementos mencionados anteriormente.

Figura 5.

Boceto alternativa 4



Cabe resaltar, que esta alternativa cuenta con menos piezas que los anteriores, sin embargo, aun así, haciendo el trabajo muy efectivo y fácil de operar.

5.4 Selección de alternativa para el diseño y construcción del prototipo

Para esta sección, se seleccionaron cuatro tipos de extrusoras y se realizó una comparación basada en criterios técnicos y operativos clave. Cada sistema fue evaluado de manera integral y se asignó una ponderación en función de los factores seleccionados.

Los valores de comparación se establecieron en un rango de menor a mayor complejidad. Dado que el proyecto se implementará en el municipio de Málaga, Santander, se consideraron

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

aspectos como la disponibilidad de materiales, fuentes de energía y facilidad de mantenimiento, entre otros factores.

A continuación, se presentan los parámetros que guiarán la selección de la alternativa más viable, en función de los requerimientos específicos de la ladrillera en Málaga, Santander:

- a) **Capacidad de producción:** La ladrillera tiene una producción mensual de 10,000 ladrillos, fabricados en un período de 10 días.
- b) **Facilidad de construcción:** El sistema debe contar con un diseño adaptable a las condiciones locales de Málaga, Santander, asegurando que su fabricación pueda realizarse con materiales y recursos disponibles en la región.
- c) **Facilidad de operación:** Se busca que el sistema de extrusión pueda ser operado por un máximo de dos personas, optimizando tiempos de producción. Sin embargo, su diseño debe permitir que una sola persona pueda manejarlo de manera eficiente.
- d) **Durabilidad de la máquina:** La alternativa seleccionada deberá ser construida con materiales de alta resistencia, garantizando una larga vida útil y un funcionamiento confiable con un mantenimiento mínimo.
- e) **Seguridad:** El sistema debe contar con mecanismos que minimicen riesgos para los operarios, asegurando condiciones de trabajo seguras en todo momento.
- f) **Presupuesto:** El costo de fabricación debe ajustarse al rango definido para el prototipo (1-3), garantizando viabilidad económica y eficiencia.
- g) **Mantenimiento:** Se priorizará una alternativa con mantenimiento sencillo y de bajo costo, según los materiales empleados.

- h) **Fuente de energía:** La extrusora seleccionada deberá operar con una fuente de energía accesible y disponible en las ladrilleras del municipio, garantizando un suministro estable y eficiente.

5.4.1 Tablas de selección

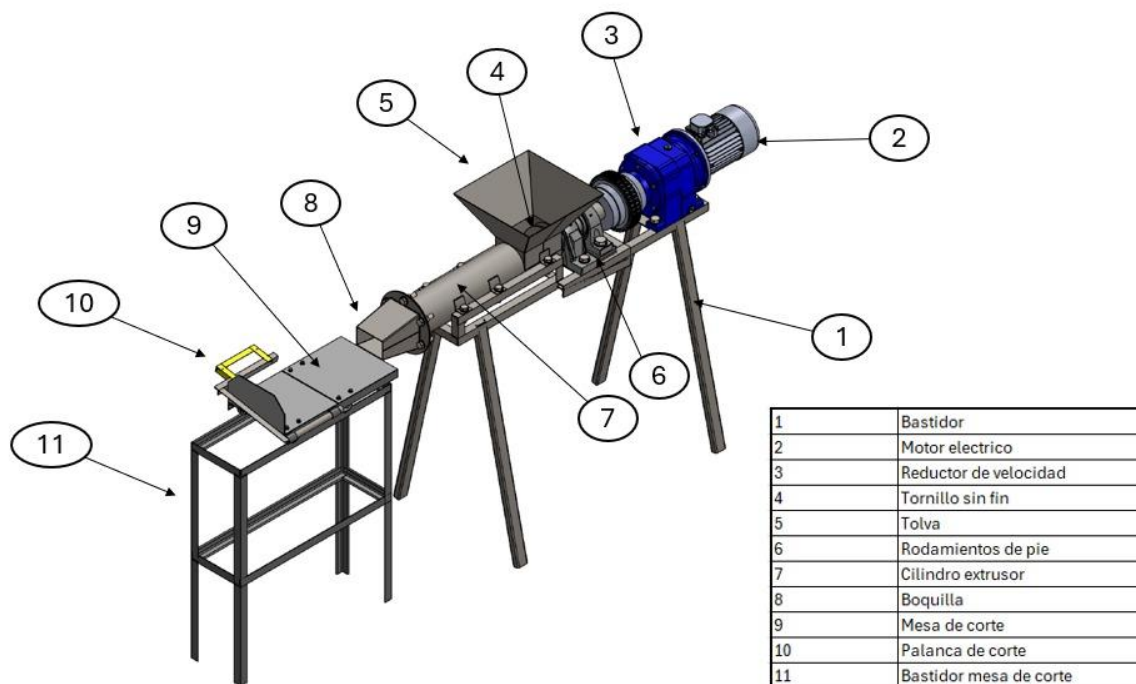
A partir de la descripción dada anteriormente de las diferentes alternativas y basándose en los parámetros dados anteriormente, se crean unas tablas de calificación y caracterización de cada una de las alternativas mostrando sus atributos para así poder seleccionar la mejor alternativa a diseñar. Para este propósito se asignó una forma de selección numérica del 0 al 10 donde cero es el menor grado de aceptación y diez el mayor. Con esto se logró llegar a un tipo de máquina que corresponde a la mejor. (Ver Apéndices 6,7,8,9)

Según estas tablas de evaluación, la alternativa con mayor puntaje es el sistema de extrusión por tornillo sin fin, destacándose por su capacidad para cumplir la mayoría de los criterios con mayor eficiencia que las demás opciones. Además, satisface los requerimientos establecidos en los objetivos del proyecto.

Figura 6.

Máquina extrusora de tornillo sin fin

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA



Por lo tanto, se concluye que el diseño del sistema de tornillo sin fin será el utilizado, dado que los criterios de evaluación lo arrojan como la opción más viable y eficiente.

6. Diseño en detalle del sistema de extrusión por tornillo sin fin

Al realizar la respectiva investigación sobre el diseño de embudadoras, se encontró que la disponibilidad de información técnica es limitada ya que las empresas fabricantes protegen sus diseños y especificaciones. Parámetros esenciales como la relación de diámetros en la zona de mezclado, el prensado del tornillo sin fin, la velocidad de avance del material y los requisitos de potencia del motor o del sistema de transmisión no suelen estar ampliamente documentados.

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

Ante la falta de información accesible, fue necesario realizar un análisis detallado de estos aspectos clave para el diseño de la extrusora. Comprender estos parámetros es esencial para dimensionar correctamente la máquina y asegurar su funcionamiento eficiente. (Ver Apéndice10)

6.1 Diseño tornillo sin fin

Para este caso primero se procederá al cálculo del diseño del eje ya que este será el que soporte las fuerzas de torsión generadas por el motor y contrarrestadas por la arcilla. En los diversos tipos de hélices utilizadas en la industria se encuentra una amplia variedad dependiendo del material y la necesidad de flujo, estos tornillos poseen características distintivas, en su forma, ángulos de inclinación de sus hélices, su diámetro y su paso que influyen en su funcionamiento. (Ver Apéndice 11)

6.1.1 Parámetros de diseño del tornillo

Para el diseño propuesto, se ha seleccionado un tornillo de un solo canal y con el diámetro constante, debido a que los requerimientos no son elevados y el presupuesto es limitado. (Ver Apéndice 12)

6.1.2 Velocidad de giro del tornillo

Para diseñar el tornillo sin fin hay que tener en cuenta la naturaleza del material a transportar. En función de sus características, la velocidad de giro debe mantenerse dentro de los siguientes rangos:

- a) Materiales pesados $n < 150$ rpm
- b) Materiales ligeros $n < 150$ rpm

En términos generales, la velocidad de giro del tornillo sin fin es inversamente proporcional a:

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

- a) El peso a granel del material a transportar
- b) El grado de abrasividad del material que se transporta
- c) El diámetro del tornillo.

Asimismo, la velocidad máxima de operación depende de la naturaleza del material que se transporta. En la siguiente tabla se presentan las velocidades de giro recomendadas para distintos tipos de materiales. En la siguiente tabla se indica la velocidad de giro recomendada para un tornillo sin fin según la clase de material:

Tabla 2.

Velocidad de giro según el tipo de material

Diámetro del tornillo (mm.)	Velocidad máxima (r.p.m.) según la clase de material (*)				
	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV	Clase V
100	180	120	90	70	30
200	160	110	80	65	30
300	140	100	70	60	25
400	120	90	60	55	25
500	100	80	50	50	25
600	90	75	45	45	25

Nota: Ingeomecánica. (recuperado el 30/09/2024) Disponible en:

<https://www.ingemecanica.com/tutoriales/calculo-de-transportadores-de-tornillo-sin-fin.html>

Como se puede observar, el diámetro de la hélice del tornillo es inversamente proporcional a la velocidad de giro del eje. Es decir, a mayores velocidades de giro, las hélices deben ser más estrechas.

Es importante mencionar, que, en el caso de materiales homogéneos, el diámetro del tornillo debe ser al menos 12 veces mayor que el diámetro de las partículas transportadas. Para materiales heterogéneos, el diámetro del tornillo debe ser al menos 4 veces mayor que el tamaño de la partícula más grande del material a transportar.

6.1.3 Tipos de materiales a transportar por un tornillo sin fin

El rendimiento y la durabilidad de un tornillo sin fin dependen en gran medida del tipo de material que transporta. Según sus características físicas, como tamaño, abrasividad y peso específico, los materiales se clasifican en diferentes categorías, lo que permite determinar las condiciones óptimas de operación y prevenir el desgaste prematuro del sistema. A continuación, se presenta una clasificación detallada planteada por (Ingeomecánica, 2024), de los materiales según su comportamiento en el transporte por tornillo sin fin. (Ver Apéndice 13)

6.1.4 Transporte de material

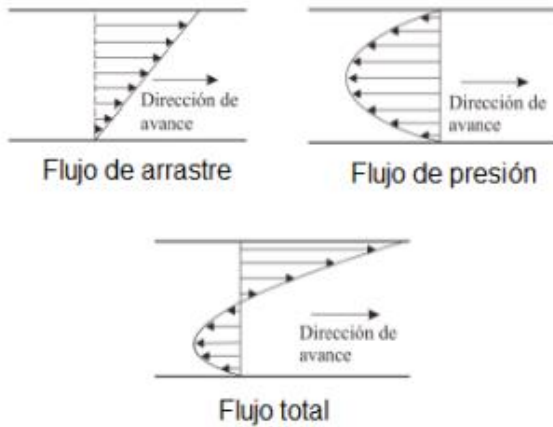
Dado que el tornillo es uniforme, el flujo dentro de este puede dividirse en diferentes tipos: el flujo de arrastre (Q_d), causado por el tornillo y las paredes del cilindro; el flujo de presión o de retroceso (Q_p), se produce debido a la diferencia de presión entre la tolva y el cabezal de la extrusora y el flujo de pérdida de fugas ($Q_{perdida}$), que ocurre en el espacio entre el cilindro y el tornillo, y se opone al flujo de arrastre. (Ver Figura 5)

$$Q_{total} = Q_d + Q_p + Q_{perdida}$$

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

Figura 5.

Perfiles de velocidad en el proceso de extrusión



Nota: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SCADA PARA UNA MÁQUINA EXTRUSORA

(recuperado en 1/10/2024) disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/71398891.pdf>

6.1.5 Flujo volumétrico

El cálculo del volumen de extrusión requerido se obtiene a partir de las dimensiones del ladrillo antes del secado. Por lo tanto, es fundamental conocer su largo, ancho y alto, así como el flujo necesario por hora, con el fin de garantizar una producción superior a 1200 ladrillos al día. (Ver Apéndice 14)

Tabla 3.

Volumen de ladrillo y volumen de extrusión

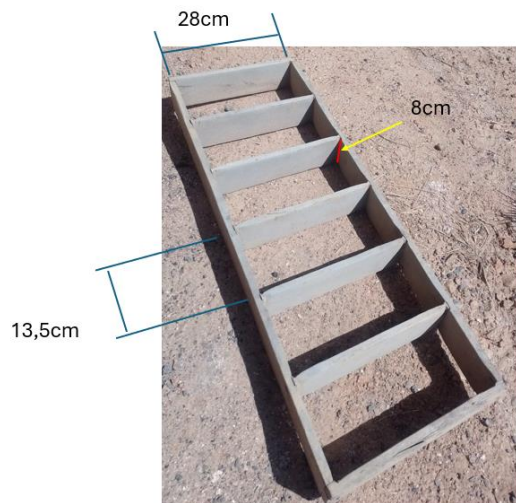
$V = l * a * h$		
$\dot{v} = V * U$		
l	largo del ladrillo (m)	0,28
a	anchura del ladrillo (m)	0,135
h	altura del ladrillo (m)	0,08
U	ladrillos por hora	150
V	volumen de un ladrillo	0,003024
\dot{v}	volumen de extrusion en m^3	0,4536

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

En este estudio se observa que las dimensiones del ladrillo varían significativamente antes y después del proceso de secado y cocción, debido a la pérdida de humedad. Inicialmente, el ladrillo húmedo presenta unas medidas de 28 cm de largo, 13.5 cm de ancho y 8 cm de alto. Tras la cocción, sus dimensiones se reducen a 26 cm de largo, 12 cm de ancho y 7.5 cm de alto. Estos datos se obtuvieron mediante mediciones directas en la ladrillera, tanto en las gaveras donde se produce el material inicial como en los ladrillos en su forma final.

Figura 6.

Medidas de gavera en ladrillera Málaga



Dando un flujo volumétrico de arcilla de:

$$\dot{v} = 0.4536m^3/h \text{ para un mínimo de 1200 ladrillos en 8 horas de trabajo.}$$

Y un flujo másico de:

$$\dot{m} = 776.5632kg/h$$

6.1.6 Densidad de la mezcla y flujo másico

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

La Tabla 4 muestra los valores de densidad y flujo másico calculados a partir de datos experimentales. Con una masa de 10,275 kg y un volumen de 0,006 m³, se obtiene una densidad de 1712 kg/m³, lo cual indica una mezcla compacta. A partir de esta densidad y el volumen de extrusión (0,4536 m³/h), se determina un flujo másico de 776,5632 kg/h, valor clave para el dimensionamiento del proceso y la eficiencia del sistema, lo que incide directamente en la calidad del producto final.

Tabla 4.

Densidad de la mezcla y flujo másico

$\rho = \frac{m}{v}$		
$\dot{m} = \rho_{arcilla} * \dot{v}$		
<i>m</i>	<i>masa (Kg)</i>	10,275
<i>v</i>	<i>volumen (m³)</i>	0,006
<i>\dot{v}</i>	<i>volumen de extrusion (m³)</i>	0,4536
<i>ρ</i>	<i>densidad (kg/m³)</i>	1712
<i>\dot{m}</i>	<i>Flujo masico (Kg/h)</i>	776,5632

6.1.7 Diseño de geometría del tornillo

El diámetro del tornillo sin fin ya ha sido definido en la literatura (Handle, 2019). En dicho estudio, se han diseñado tornillos de extrusión y se ha creado una tabla que facilita la evaluación de la capacidad de rendimiento, considerando varios límites impuestos como son:

Diametros = 50 – 700 mm

$$\text{relacion de diametro} = \frac{D_1}{D} = \frac{\text{Diametro de eje}}{\text{Diametro del sinfin}} = 0.5$$

angulo de paso medio = 17°

eficiencia de extrusion = 40%

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

En este caso nuestro flujo volumétrico es de:

$$\dot{v} = 0.4536 \text{ (m}^3/\text{h)} = 7.56 \text{ l/min}$$

Al tener nuestro flujo volumétrico tomaremos un valor más arriba para superar el mínimo de 150 ladrillos por hora para un total mínimo de 1200 ladrillos en un lapso de 8 horas.

Tabla 5.

Rendimiento (l/min) para diferentes diámetros y revoluciones del sin fin

Diameter (mm)	Auger revolution (rpm)					
	5	10	15	20	25	30
50	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5
100	0.7	1.4	2.1	2.8	3.5	4.2
150	2.5	4.9	7.4	9.9	12.3	14.8
200	5.9	11.9	17.8	23.8	29.7	35.6
250	11.9	23.9	35.8	47.7	59.7	71.6
300	20.8	41.6	62.4	83.2	104.0	124.8
350	33.5	67.0	100.5	134.0	167.5	201.0
400	49.6	99.2	148.8	198.4	248.0	297.0
450	71.4	142.7	214.1	285.5	356.8	428.0
500	98.7	197.4	296.2	394.9	493.6	592.0
550	132.3	264.6	396.9	529.1	661.4	793.0
600	170.6	341.2	511.8	682.3	852.9	1023.0
650	218.1	436.3	654.4	872.5	1090.6	1308.0
700	273.8	547.5	821.3	1095.1	1368.9	1642.06

Nota: Handle, F. (2019). *The art of ceramic extrusion*. (p. 32)

Con este valor de 12.3 l/min superamos ampliamente el mínimo de 150 ladrillos/hora, dando así más de 1952 ladrillos en un lapso de ocho horas obtenemos de una vez un diámetro de tornillo de 150mm con 25 revoluciones por minuto.

$$D_b = 150 \text{ mm}$$

$$\text{rpm} = 25$$

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

Donde:

$D_b = \text{diametro del tornillo}$

$rpm = \text{revoluciones por minuto}$

Y se tiene entonces:

$$\dot{m} = \frac{1712kg}{m^3} * 0.738m^3/h$$

$$\dot{m} = 1263.456kg/h$$

Como se puede observar el diámetro recomendado es de 0.15 m así que se procede a consultar en la tabla de INGEOMECANICA el diámetro requerido para su tipo de material. La cual facilita el diámetro máximo y la velocidad de este para poderlo diseñar.

Tabla 6.

Velocidad máxima en rpm según el tipo de material.

Diámetro del tornillo (mm.)	Velocidad máxima (r.p.m.) según la clase de material (*)				
	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV	Clase V
100	180	120	90	70	30
200	160	110	80	65	30
300	140	100	70	60	25
400	120	90	60	55	25
500	100	80	50	50	25
600	90	75	45	45	25

Nota: Ingeomecánica (recupero el 8/10/2024) disponible en:

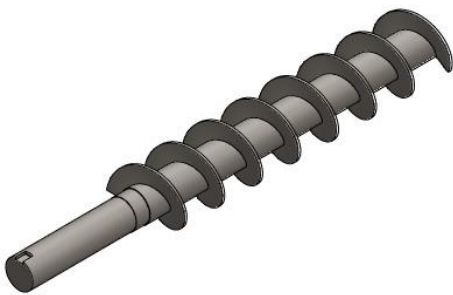
https://www.ingemecanica.com/tutoriales/calculo-de-transportadores-de-tornillo-sin-fin.html#google_vignette.

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

Como podemos observar nuestro diámetro es de 0.15 o unos 150 mm lo cual nos ubica entre el rango de los 100 y 200 mm como es material clase 4 tenemos una velocidad máxima de 75 rpm y un diámetro máximo de 200 mm, pero para nuestro fin utilizaremos un diámetro redondeado a 0.15m. A continuación, se presenta una Figura del diseño del tornillo bajo estos parámetros.

Figura 7.

Tornillo sin fin.



6.1.8 Cálculo de longitud del tornillo extrusor

La longitud del tornillo extrusor es importante ya que está relacionado con el diámetro de este, ya que son características principales en el diseño de máquinas extrusoras, la relación recomendable según estándares es de 3 a 15 veces el diámetro del tornillo. (Handle, 2019, p.26)

Tabla 7.

Longitud del tornillo

$L = 5D$		
D	<i>diámetro del tornillo en m</i>	0,15
L	<i>longitud del tornillo en m</i>	0,75

6.1.9 Cálculo del paso del tornillo

El tamaño del paso del tornillo varía según las características del material a transportar. Generalmente, cuando la carga es liviana, el paso tiende a ser mayor; sin embargo, en este caso, se trata de una mezcla bastante pesada. Por esta razón, y siguiendo las recomendaciones del libro

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

de Frank Handle para materiales como la arcilla, se considera un ángulo de paso medio de 17°. (Handle, 2019, p.32)

Aplicando esta referencia y los datos del sistema, se calculó el paso del tornillo, como se muestra en la Tabla 8. El resultado obtenido fue de 98,8 mm, valor que responde adecuadamente a las condiciones de trabajo esperadas.

Tabla 8.
Cálculo del paso del tornillo

$$S = \frac{V * 10^6}{\eta * n * \pi * \frac{(D_a^2 - D_i^2)}{4}} + h$$

V	capacidad de extrusion en (l/min)	12,3
η	eficiencia de la extrusion	0,4
n	revoluciones del tornillo	25
D_a	Diametro exterior del tornillo (mm)	150
D_i	Diametro interior del tornillo (mm)	75
h	espesor de las helices (mm)	6
S	espesor de las helices (mm)	98,8

6.1.10 Ancho del filete

Para hallar el ancho del filete se toma en cuenta una relación comprendida entre un rango de 0.06D hasta 0.12D (Handle, 2019); en este caso, se empleó un valor de 0,04D como referencia para el cálculo. Por otro lado, el número de filetes se obtiene dividiendo la longitud del tornillo entre el paso del mismo.

Los resultados de estos cálculos se presentan en la Tabla 9, donde se observa un ancho de filete de 0,006 m y un total de 7,59 filetes a lo largo del tornillo.

Tabla 9.
Ancho del filete y número de filetes

$e = 0.04 * D$		
D	<i>diámetro del tornillo en m</i>	0,15
L	<i>longitud del tornillo (m)</i>	0,75
P	<i>paso (m)</i>	0,0988
e	<i>ancho del filete en [m]</i>	0,006
$\#filetes$	<i>numero de filetes</i>	7,59

6.2 Longitud de la zona de extrusión

La longitud del extrusor está completamente encerrada por el cilindro, pero para la zona de extrusión se establece una longitud de 2 pasos para la boca de la tolva. Esta medida está relacionada con el diseño de la tolva, en la que la longitud es de 1.5 veces el diámetro del cilindro extrusor. (Dalton, 2024)

Como se observa a continuación:

$$L = (\#filetes - 2) * P$$

$$L = (7.59 - 2) * 0.0988$$

$$L = 0.553m$$

6.3 Flujo en el extrusor de un tornillo sin fin y ancho de la hélice

El proceso de extrusión se compone de dos flujos, el flujo rotacional y el flujo de presión, impulsado por el avance del tornillo en el canal. Para caracterizar este movimiento, se calculan el ángulo exterior de la hélice y el ancho efectivo del canal, parámetros esenciales que influyen directamente en la eficiencia del transporte del material. Estos valores se obtienen a partir de las ecuaciones presentadas en la Tabla 10.

Tabla 10.

Ángulo exterior de hélice y ancho de la hélice

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

$$\theta_b = \tan^{-1}\left(\frac{P}{\pi * D}\right) \quad W_b = \left(\frac{P}{p_i}\right) \cos(\theta_b) - e$$

D	<i>diámetro del tronillo en (mm)</i>	150
P	<i>paso del tronillo (mm)</i>	98,8
p_i	<i>numero de aletas del tornillo sinfin</i>	1
e	<i>ancho del filete en [m]</i>	0,009
θ_b	<i>angulo externo de la helice</i>	11°
W_b	<i>ancho del canal para la helice (mm)</i>	87

6.4 Ecuaciones para el eje

Como requisito para el diseño del eje tuvimos que hacer un diseño paramétrico para poder hallar su respectivo diámetro. La siguiente tabla muestra los datos obtenidos a partir de los cálculos realizados. (Ver Apéndice 15)

Tabla 11.

Parámetros para inicio del cálculo

Descripcion	Simbolo	Valor
Longitud de eje	L	0,750m
Paso del tornillo	P	0,098m
Longitudde la zona de extrusion	Lt	0,553m
Demsidad	ρ	1712kg/m ³
Revoluciones del tornillo	N	>25rpm
Diámetro del tornillo	Dp	0,15m
Viscosidad del material	η	100 Pa*s
Diámetro de eje	Dc	D1/D=05
Flujomasico	m	1263,456kg/h

Para calcular la viscosidad de la arcilla se utilizó como referencia un estudio de Bingham, en el que se analizaron diversos materiales empleados en la construcción. Dicho estudio evidencia que, en algunos casos, los esfuerzos cortantes iniciales son bajos, y que la pendiente inicial de la

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

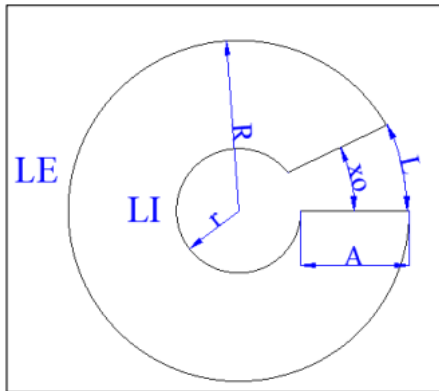
curva reológica es un indicador clave de la dificultad para hacer fluir el material. Que, en algunos casos, los esfuerzos cortantes iniciales son bajos, y que la pendiente inicial de la curva reológica es un indicador clave de la dificultad para hacer fluir el material.

6.5 Geometría de la hélice

En este acápite se establece las dimensiones de la hélice considerando el diámetro externo del tornillo, el diámetro del eje y el paso. Para esto, se aplicaron ecuaciones que permitieron determinar parámetros clave como el ancho de la pestaña, la longitud desplegada de la hélice, los radios interior y exterior y el perímetro de la circunferencia. (Ver Apéndice16)

Figura 8.

Geometría la hélice.



Nota: Dalton, J. (2024). Diseño de una máquina extrusora de arcilla para la construcción de ladrillo de cara vista.

Los valores de la geometría de la hélice se muestran en la tabla a continuación:

Tabla 12.

Valores de la geometría de la hélice

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

A	Ancho de la hélice (mm)	37,5
L_E	Longitud exterior de la hélice (mm)	481,48
L_i	Longitud interior de la hélice (mm)	255,49
r	radio interior de la hélice (mm)	42,39
R	Radio exterior de la hélice (mm)	79,09
Δ	Perímetro de circunferencia externa de hélice (mm)	502,02
β	Circunferencia interna de hélice	345,27
X	Avance o desplazamiento entre vueltas de hélice (°)	14,72
L	Longitud de la sección inicial de la hélice (mm)	20,54

7. Potencia para el proceso de extrusión

Para determinar la potencia total requerida, se considera la suma de tres componentes: la potencia de compresión, la potencia necesaria para el transporte del material y la potencia requerida para superar la fricción. Los datos utilizados en el cálculo se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 13.

Datos requeridos para cálculo de potencia.

Datos		
Tasa	m	1263,456 $\frac{Kg}{h}$
Diametro detornillo	D	0,15m
Longitud de tornilo	L	0,75m
Velocidad de rotacion	N	>25rpm
Densidad	ρ	1712 $\frac{Kg}{m^3}$
Diametro de eje	Di	0,075m
paso del tornillo	P	0,098m
angulo de helice	φ	11,8°

7.1 Cálculos preliminares

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

En esta sección se presentan los cálculos del área de la boquilla, el área del canal del tornillo y la relación de compresión, los cuales resultan esenciales para garantizar un diseño adecuado y un funcionamiento eficiente del equipo. La siguiente tabla resume los valores obtenidos y las fórmulas aplicadas:

Tabla 14.

Área de la boquilla, área del canal del tornillo y relación de compresión

$A_b = A * h$ $A_c = \frac{\pi}{4} * (D_b^2 - D_i^2)$ $R_c = \frac{A_c}{A_b}$		
A	ancho de ladrillo m	0,135
h	alto de ladrillo m	0,08
D_b	Diametro de tornillo m	0,15
D_i	Diametro de eje m	0,075
A_b	area de la boquilla en m2	0,0108
A_c	area del canal del tonillo m2	0,013
R_c	relacion de compresion	1,2

7.2 Cálculo de velocidad

Una vez establecidos los parámetros geométricos del sistema, el siguiente paso consistió en determinar las velocidades involucradas en el proceso de extrusión. Estas velocidades permiten caracterizar el comportamiento del material a lo largo del tornillo y en la salida por la boquilla, siendo claves para garantizar la uniformidad y eficiencia del flujo. En la siguiente tabla se presentan los cálculos correspondientes a la velocidad axial, tangencial, resultante y en la boquilla, junto con los valores utilizados para su determinación:

Tabla 15.

Cálculos de velocidad

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

$$V_a = \frac{P * N}{60} \quad V_t = \frac{\pi * D * N}{60} \quad V_r = \sqrt{V_a^2 + V_t^2} \quad V_b = \frac{Q}{A_b}$$

P	<i>Paso en m</i>	0,098
N	<i>revoluciones</i>	25
D	<i>Diametro de tornillo en m</i>	0,15
Q	<i>caudal m3</i>	0,0002
A_b	<i>area de la boquilla en m2</i>	0,0108
V_a	<i>Velocidad axial m/s</i>	0,0245
V_r	<i>Velocidad axial m/s</i>	0,196
V_t	<i>velocidad resultante m/s</i>	0,1975
V_b	<i>velocidad en la boquilla m/s</i>	0,0108

7.3 Cálculos de la presión

En este acápite, calcularemos los diferentes puntos de presión a los que será sometida la máquina extrusora en cada una de las partes que lo componen, (Bryan y Routh, 2011); para esto, utilizaremos los valores de los coeficientes de fricción y viscosidad aportados por (Händle, 2007). (Ver Apéndice 17)

A partir de los resultados obtenidos, se calculó la presión total ejercida según (Handle, 2019).

$$P_{Total} = P_t + P_b$$

$$P_{Total} = 0.5884MPa + 0.001164MPa$$

$$P_{Total} = 0.589564MPa = \textit{presion total}$$

7.4 Potencia para la compresión y velocidad de avance

Para determinar la potencia para la compresión es necesario calcular primero la velocidad de avance, por lo que necesitamos la velocidad de salida del ladrillo.

Adicionalmente, para el cálculo de la fuerza axial que actúa sobre el husillo, se debe considerar tanto la presión ejercida por la arcilla como la superficie de la sección transversal del

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

husillo. Esta fuerza está relacionada con la potencia que debe suministrar el motor para vencer la resistencia del material durante la extrusión.

Tabla 16.

Potencia para la compresión

$P_c = F_x * v \quad F_x = \Delta P * A * (1 - u^2) \quad u = \frac{D_c}{D_h} \quad v = \frac{l}{T}$		
l	<i>largo del ladrillo m</i>	0,28
T	<i>tiempo en moldearse un ladrillo s</i>	14,75
P	<i>presion de compresion recomendada N/m2</i>	2000000
D_c	<i>Diametro de eje m</i>	0,075
D_h	<i>Diametro de tornillo m</i>	0,15
A	<i>area trasnversal del tornillo m²</i>	0,017
v	<i>velocidad de avance del tornillo en m/s</i>	0,0018
u	<i>Relacion entre diametros</i>	0,5
F_x	<i>fuerza ejercida por el tornillo N</i>	26507,18
P_c	<i>potencia para la compresion Hp</i>	0,63

Como la máquina fabricará 244 ladrillos por hora se calculará el número de ladrillos que se fabricaran por segundo.

$$244 \text{ ladrillos} \rightarrow 3600s$$

$$1 \text{ ladrillo} \rightarrow t$$

$$\text{Se obtiene } t = 14.75s$$

7.5 Cálculo de potencias

a) Potencia para mover el transportador

En la Tabla 17 se presenta la fórmula para calcular la potencia requerida para mover el transportador en vacío, la cual depende de varios factores operativos, entre ellos el factor de diámetro del tornillo. Este parámetro es esencial, ya que representa el efecto que tiene el diámetro del tornillo sobre la potencia necesaria para el desplazamiento del sistema.

Tabla 17.

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

Potencia para mover el transportador

$$P_v = \frac{L * n * Fb * Fd}{1000000} [Hp]$$

<i>L</i>	<i>longitud del transportador (ft)</i>	2,46
<i>n</i>	<i>velocidad de operacion de la maquina (rpm)</i>	25
<i>Fb</i>	<i>Factor de buje para colgante.</i>	1
<i>Fd</i>	<i>factor de diametro del tornillo</i>	180
<i>P_v</i>	<i>Potencia en vacio (Hp)</i>	0,01107

El valor del factor de diámetro de tornillo se tomó de la siguiente tabla, proporcionada por Martinsprocket, el cual corresponde a un *Fd* de 180.

Tabla 18.

Factor de diámetro

Diámetro del Helicoidal (Pulgadas)	Factor Fd	Diámetro del Helicoidal (Pulgadas)	Factor Fd
4	120	14	780
6	180	16	1.060
9	310	18	1.350
10	370	20	1.650
12	550	24	2.350
		30	3.000

Nota: (Martinsprocket, n.d.) disponible en

([https://es.martinsprocket.com/View/home?aspxerrorpath=/docs/nomenclature/nomenclaturas/90nomenclatura-transportadores-helicoidales-\(espanol\).pdf](https://es.martinsprocket.com/View/home?aspxerrorpath=/docs/nomenclature/nomenclaturas/90nomenclatura-transportadores-helicoidales-(espanol).pdf))

b) Potencia de elevación

Para nuestro diseño la extrusora no estará con inclinación así que será cero.

$$P_{ST} = 0$$

c) Potencia para mover el material

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

La potencia requerida para mover el material durante el proceso de extrusión se calcula a partir de una serie de factores relacionados con las características del sistema y del material, como se muestra en la Tabla 19.

En este caso, inicialmente se seleccionó un factor F_m que corresponde al material tipo 4 (Martinsprocked).

Tabla 19.

Potencia para mover el material

$P_n = \frac{C * L_z * \rho_m * F_f * F_m * F_p}{1000000}$		
C	capacidad (Ft ³ /h)	26,072
L_z	longitud de la zona de extrusion (ft)	1,81
ρ_m	densidad del material a transportar en (Kg/m ³)	1712
F_f	Factor helicoidal (ver tabla 19)	1
F_m	Factor de material (Ver anexo 18)	2
F_p	Factor de paleta	1
P_n	Potencia para mover el material (Hp)	0,1

El factor helicoidal necesario para calcular la potencia requerida para mover el material se tomó de Martinsprocket (ver tabla 20), considerando aspecto como el tipo de hélice y el nivel de carga del transportador.

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

Tabla 20.

Factor helicoidal

Tipo de Helicoidal	(F_f) Factor por porcentaje de carga de transportador			
	15%	30%	45%	95%
Estándar	1.0	1.0	1.0	1.0
Helicoidal con Corte	1.10	1.15	1.20	1.3
Con Corte y Doblez	N.R.	1.50	1.70	2.20
Helicoidal de Listón	1.05	1.14	1.20	-
	No recomendada			

Nota: Martinsprocket. (recuperado el 17/10/2024) disponible en: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://es.martinsprocket.com/docs/catalogs/material%20handling/2_transportadores%20helicoidales/seccion_h_helicoidales.pdf](https://es.martinsprocket.com/docs/catalogs/material%20handling/2_transportadores%20helicoidales/seccion_h_helicoidales.pdf)

Para encontrar la potencia total sumamos todas las potencias y encontramos el factor de sobrecarga (F_0). (Ver Apéndice 19)

$$p_c + p_v + p_n + p_{ST} = 0.63Hp + 0.1107Hp + 0.1Hp + 0 = 0.84$$

$$p_{Total} = 0.8407Hp$$

El valor de la potencia obtenida fue de 0.6Hp, para la cual se determinó un factor F_0 de 2.31 aproximadamente, dado que en nuestro caso utilizaremos un reductor de engranajes helicoidales acople 1:20 y transmisión con bandas V y se obtiene una eficiencia de 0.87.

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

Tabla 21.

Factor de eficiencia.

Factor de Eficiencia (e) de las Transmisiones				
Transmisión para Transportador Helicoidal o Montado en Eje con Transmisión de Bandas en "V"	Reductor de Engranajes Helicoidales con Transmisión de Bandas en V y Cople	Motorreductor con Cople	Motorreductor con Transmisión de Cadena	Corona Sinfín
.88	.87	.95	.87	Consulte a <i>Martins</i>

Nota: Martinsprocket. (recuperado el 17/10/2024) disponible en: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://es.martinsprocket.com/docs/catalogs/material%20handling/2_transportadores%20helicoidales/seccion_h_helicoidales.pdf](https://es.martinsprocket.com/docs/catalogs/material%20handling/2_transportadores%20helicoidales/seccion_h_helicoidales.pdf)

Así que reemplazando en la siguiente formula se tiene:

$$P_{Total} = \frac{(p_c + p_v + p_n + p_{ST})F_0}{e}$$

$$P_{Total} = \frac{(0.63Hp + 0.11Hp + 0.1Hp + 0) * 2.1}{0.87}$$

$$P_{Total} = 2.1 \text{ Hp Potencia total necesaria}$$

8. Selección de transmisión cálculos de selección de componentes

En este proyecto, se ha realizado una selección de los componentes fundamentales para un sistema de extrusión de ladrillos, incluyendo el motor, el reductor y el acople. Para garantizar el correcto funcionamiento del sistema, se realizaron cálculos basados en la teoría de transmisión de potencia en sistemas rotacionales.

La relación entre la potencia (P), el torque (T) y la velocidad (N) se puede expresar mediante la siguiente ecuación:

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

$$P = \frac{T \times N}{9550}$$

Esta fórmula, ampliamente utilizada en ingeniería mecánica, para calcular la potencia necesaria en sistemas rotacionales considerando el torque y la velocidad de rotación. La constante 9550 permite la conversión de (rpm) a (kW). En este caso, la ecuación se usa para determinar la potencia necesaria en función del torque y la velocidad del motor seleccionado.

El objetivo principal fue elegir un motor con la potencia suficiente para generar el torque requerido, un reductor que incrementara dicho torque y un acople que asegurara una transmisión eficiente de la potencia entre los componentes.

Para este sistema, se seleccionó un motor eléctrico trifásico de 3 HP y 1500 rpm, adquirido en Electromecánica MM.

Figura 9.

Motor eléctrico trifásico y sus generalidades



Motor Electrico Trifasico Mec 3 hp 1500 rpm

Marca: Mec
Modelo: Mec 3 hp Trifasico 1500 rpm - Modelo MS100L1-4
Descripción:

- Marca: Mec
- Potencia: 3 HP (2,2 Kw)
- Diametro de eje: 28 MM
- 1500 R.P.M / 4 POLOS
- Cuerpo Normalizado: 100 L
- Corriente: (TRIFASICA) 380v
- Estator: Aislacion Clase F
- Rotor en jaula de ardilla
- Ventilación superficial exterior
- Protección IP55
- Servicio Continuo S1
- Carcasa de Aluminio
- Linea Norma IEC Estándar
- Factor de servicio 1.1
- Producto Nuevo En Caja
- Garantía: 12 meses
- Opcional Recargo Brida B 5/B 14.....7%

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

Nota: Motor Eléctrico Trifásico MEC-3 HP 1500 RPM. (2025). (recuperado el 29/01/2025).

Disponible en: <https://www.electromecanicamm.com.ar/producto/motor-electrico-trifasico-mec-3-hp-1500-rpm/8/#>

Además, se incorporó un reductor de velocidad con una relación de 60:1, adquirido del proveedor Aokman Group, con el propósito de aumentar el torque generado por el motor.

Figura 10.

Reductor de velocidad



Nota: China 1:60 Ratio Speed Reducer Gearbox Use Aluminum Alloy Case Gearbox. (s.f.).

(recuperado el 29/01/2025). Disponible en: <https://aokmangroup.en.made-in-china.com/product/idvfNEYVAlhe/China-1-60-Ratio-Speed-Reducer-Gearbox-Use-Aluminum-Alloy-Case-Gearbox.html>

8.1 Cálculos del motor

Para seleccionar el motor adecuado, primero fue necesario calcular la potencia requerida para suministrar el torque adecuado al sistema. En este caso, el torque estimado es de 600 Nm aproximadamente, lo que permite determinar la potencia necesaria utilizando la ecuación previamente mencionada:

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

$$P = \frac{T \times N}{9550} = 0.942 \text{ kW}$$

Este cálculo muestra que, para mover el sistema con un torque de 600 Nm y una velocidad de 1500 rpm, se necesita un motor con una potencia de 0.942 kW. Sin embargo, para asegurar una mayor durabilidad y evitar posibles fallos del motor, se decidió seleccionar un motor sobredimensionado de 3 HP (equivalente a 2.238 kW), lo que cubre ampliamente las necesidades de potencia del sistema.

La selección de un motor con 1500 rpm se debe a varios factores técnicos y operativos. La selección de una velocidad de 1500 rpm para el motor se basa en normas técnicas que relacionan la frecuencia de alimentación y el número de polos del motor con su velocidad de rotación. Según la IEC 60034-1, la velocidad síncrona (N_s) de un motor se calcula utilizando la fórmula:

$$N_s = \frac{60 \times f}{P} = 1500 \text{ rpm}$$

Este valor de 1500 rpm es ampliamente utilizado en motores de 4 polos alimentados por redes de 50 Hz, lo que asegura compatibilidad con la infraestructura eléctrica estándar. Además, se seleccionó esta velocidad para mantener la eficiencia energética y la durabilidad del motor, dado que 1500 rpm es un punto de operación óptimo para la mayoría de los motores industriales.

Para garantizar que el motor sea capaz de generar suficiente torque, calculamos el torque generado por el motor de 3 HP a 1500 rpm utilizando la siguiente fórmula inversa:

$$T = \frac{P \times 9550}{N}$$

Sustituyendo los valores:

$$T = \frac{2.238 \times 9550}{1500} = 14.25 \text{ Nm}$$

Este cálculo muestra que el motor de 3 HP genera un torque de 14.25 Nm. Sin embargo, este torque es insuficiente para alcanzar los 600 Nm requeridos por el sistema. Por lo tanto, se necesita un reductor para aumentar el torque y reducir la velocidad a la tasa adecuada.

8.2 Cálculos del reductor

Para aumentar el torque necesario, se seleccionó un reductor de 60:1. Este tipo de reductor fue elegido por su capacidad para reducir la velocidad de entrada y, a su vez, aumentar el torque de salida de manera proporcional. La relación de 60:1 significa que por cada 60 revoluciones que realiza el motor, el reductor proporciona solo una revolución a su salida. Al mismo tiempo, el torque de salida aumentará en la misma proporción.

La fórmula para calcular el torque de salida de un reductor es:

$$T_{Salida} = T_{motor} \times \text{Relación de reducción}$$

Sustituyendo los valores del torque generado por el motor y la relación de reducción:

$$T_{Salida} = 14.25 \text{ Nm} \times 60 = 855 \text{ Nm}$$

El torque de salida calculado es 855 Nm, lo que es mucho mayor que los 600 Nm necesarios para el sistema. Esto valida la selección de un reductor de 60:1, ya que permite incrementar el torque a un nivel adecuado para la operación de la extrusora de ladrillos.

La velocidad de salida del sistema también es un aspecto importante. Tras aplicar la relación de reducción, la velocidad de salida del reductor se calcula como:

$$\text{Velocidad de salida} = \frac{\text{Velocidad del motor}}{\text{Relación de reducción}}$$

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

Sustituyendo los valores:

$$Velocidad\ de\ salida = \frac{1500\ rpm}{60} = 25\ rpm$$

La velocidad de salida de 25 rpm es la adecuada para el funcionamiento de la extrusora de ladrillos, ya que proporciona la velocidad baja requerida para este tipo de maquinaria.

9. Diseño del cilindro

En una extrusora el radio interior del cilindro es ligeramente mayor que el radio del tornillo para permitir un pequeño espacio de separación, conocido como holgura la cual permitirá el libre funcionamiento del tornillo, procedemos a hallarlo de la siguiente manera (Handle, 2019).

$$R_{tornillo} = \frac{D}{2} = \frac{0.15m}{2} = 0.075m$$

La holgura típica suele estar en un rango de 0.1% a 0.3% del diámetro del tornillo tomaremos un valor medio de este que será de 0.2%. (Ver Apéndice 35)

$$Holgura = 0.002 * Dt = 0.002 * 0.15 = 0.0003m$$

$$\mathbf{Holgura = 0.0003m}$$

Para el radio interior del cilindro tenemos lo siguiente:

$$R_{cilindro} = R_{tornillo} + Holgura$$

$$R_{cilindro} = 0.075m + 0.0003m$$

$$R_{cilindro} = 0.0753m$$

$$\mathbf{D_{cilindro} = 0.1506\ m}$$

9.1 Cálculo del espesor y del radio exterior del cilindro extrusor

Para el cálculo del espesor del cilindro extrusor partimos del radio interior previamente calculado, el cual es de 0.0753mm y la presión máxima calculada en el proceso de extrusión, equivalente a 2 MPa. Para esto necesitaremos la fluencia al material del cilindro σ_y en acero inoxidable (Robert et al., 2012).

- Acero inoxidable AISI 1045 tenemos $\sigma_y = 310MPa$
- Factor de seguridad de 2

Dado que la relación entre el espesor y el radio interior no es despreciable, utilizaremos la fórmula de lámina para cilindros de pared gruesa.

Finalmente, para el cálculo del radio exterior del cilindro de extrusión tenemos los datos del radio interior del cilindro (r_i) que equivale a 0.0753mm y el espesor mínimo (t_p) que equivale a 0.003m. (Ver apendice: Planos)

Tabla 22.

Cálculos del cilindro

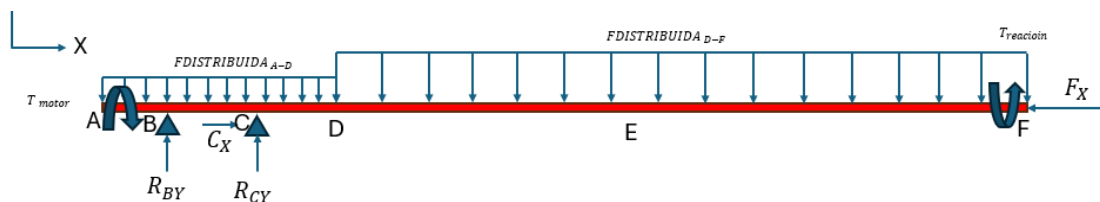
$t = \frac{P * r}{\sigma_y}$		$r_e = r_i + t_p$
P	Presion maxima (MPa)	2
FS	Factor de seguridad	4
σ_y	Esfuerzo de fluencia (MPa)	310
r	radio de cilindro (mm)	75,3
r_i	radio exterior del cilindro (mm)	0,0753
t_p	espesor del cilindro (mm)	3
t	espesor del cilindro (m)	0,003
r_e	radio exterior del cilindro (m)	0,0783

10. Diseño del eje

El diseño del eje del tornillo se hace mediante un análisis estático y dinámico; en el análisis estático se consideran las cargas de compresión, torsión y flexión conjuntamente. El material utilizado para este diseño será acero 4140. (Ver Figura 11)

Figura 11.

Reacciones y cargas sobre el tornillo



10.1 Diseño estático por esfuerzos

En el eje, como se muestra en la Figura, actúan diversas cargas que ejercen presión sobre su estructura, lo que podría afectar su desempeño. La tabla 23 presenta estas cargas en detalle, ya que son fundamentales para el cálculo y análisis del eje. (Ver APÉNDICE 20 y 21)

Tabla 23.

Fuerzas que actúan sobre el eje

F_x	fuerza de compresión debida al proceso de compresion (N)	26507
T_{motor}	Torque ejercido por el motor (N/m)	598,15
$F_{distribuida (D-F)}$	Peso de masa de arcilla, peso de helices y peso del eje (N/m)	574,54
$F_{distribuida (A-D)}$	Peso del eje (diferente diametro) (N/m)	294,71
R_{by}	Reaccion en el apoyo B (N)	1769
R_{cy}	Reaccion en la direccion y en el apoyo C (N)	2288,315
R_{cx}	Reaccion en la direccion x en el apoyo C (N)	26507,18
$T_{xreaccion}$	reaccion del torque del motor (N)	598,15

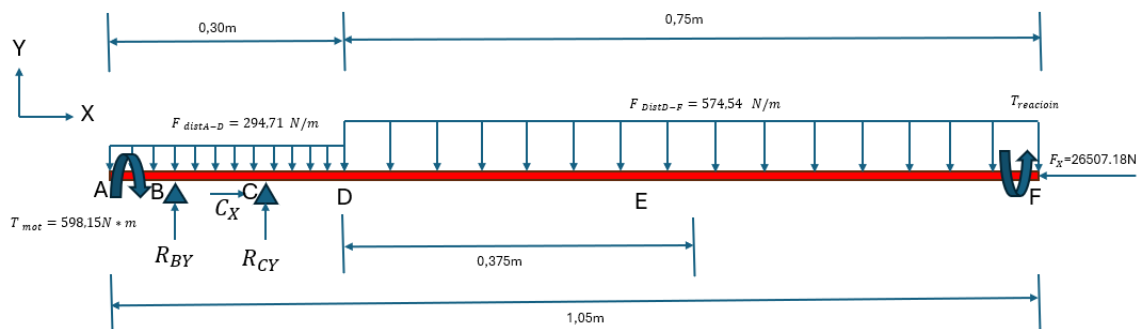
11. Cálculo de eje

11.1 Diagrama de fuerzas sobre el eje

Para comprender mejor las fuerzas que actúan sobre el eje, en la siguiente Figura se representa gráficamente cada una de ellas. Entre estas fuerzas se incluyen el peso del propio eje, el peso de la arcilla, el torque generado por el motor, el torque de reacción y la fuerza resultante del proceso de extrusión. Estas cargas son clave para el análisis del comportamiento del eje y su correcto funcionamiento dentro del sistema.

Figura 29.

Fuerzas sobre el eje.

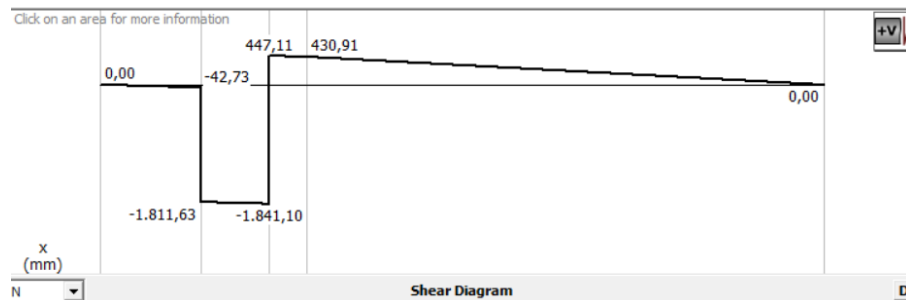


Para mejor visualización, se realizó el diagrama de cargas en el programa MDSolid el cual nos muestra las cargas en el eje.

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

Figura 12.

Diagrama de carga

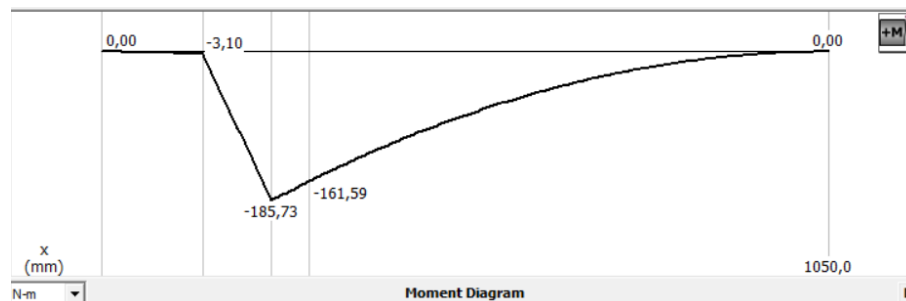


Como se aprecia en la Figura la fuerza máxima cortante se encuentra en el cojinete C con un valor de 1841.10N.

$$F_{\text{cortante maximo}} = 1841.10N$$

Figura 13.

Momento flector diagrama



Se puede apreciar el momento flector máximo es de 185.73

$$M_{\text{maximo}} = 185.73 Nm$$

Se procedió a encontrar el esfuerzo máximo mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma_{\text{max}} = -\sigma_{\text{momento flector}} - \sigma_x \text{ fuerza de compresion}$$

$$\sigma_{\text{max}} = -\frac{Mc}{I} - \frac{Fx}{A} = -\frac{32M}{\pi * d^3} - \frac{4 * Fx}{\pi * d^2}$$

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

Donde:

$$\sigma_{max} = \text{Esfuerzo maximo}$$

11.2 Momento de inercia para un eje circular macizo

A partir de los datos obtenidos y utilizando la ecuación correspondiente, se calcula el esfuerzo máximo sobre el eje, como se muestra a continuación.

Tabla 24.

Esfuerzo máximo y momento de inercia

$$I = \frac{\pi * d^4}{64} \quad \sigma_{max} = -\frac{32M}{\pi * d^3} - \frac{4 * Fx}{\pi * d^2}$$

<i>M</i>	Momento flector maximo (Nm)	185,73
<i>d</i>	Diametro del eje (m)	0,075
<i>Fx</i>	Fuerza aplicada en el area transversal del husillo (N)	26507,18
<i>I</i>	Momento de inercia de la seccion con respecto al eje neutro (m ⁴)	0,000001553
σ_{max}	Esfuerzo maximo (Pa)	-10480000

Posteriormente, se procede al cálculo del esfuerzo cortante máximo generado por el par torsor aplicado sobre el eje.

Tabla 25.

Esfuerzo cortante máximo

$$\tau_{max} = \frac{16 * T(x)}{\pi * d^3}$$

<i>T(x)</i>	Par torsor maximo (Nm)	598,15
<i>d</i>	Diametro del eje (m)	0,075
τ_{max}	Esfuerzo maximo (Pa)	33430484,88

11.3 Teorema de distorsión de Von Misses

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

Dado que en el eje actúan esfuerzos tanto de torsión como de flexión, se utilizó la ecuación de Von Mises-Hencky para calcular el esfuerzo equivalente, permitiendo así una evaluación más precisa de su resistencia y comportamiento bajo carga (Richard. G y Keith N, 2008).

$$\sigma_{equi} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3 * \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_{equi} = \sqrt{(-1515659 Pa)^2 + 3 * (33430484.88 Pa)^2}$$

$$\sigma_{equi} = 57923131.65 Pa = 57.92 MPa$$

11.4 Cálculo de factor de seguridad estático

Para garantizar la seguridad del eje, el esfuerzo equivalente calculado debe ser menor o igual a la tensión admisible. Para este análisis, nos basamos en el libro de Shigley, donde se establece el factor de seguridad estático. Este factor representa la relación entre el esfuerzo normal permisible y el esfuerzo normal de diseño, permitiendo evaluar si el eje puede soportar las cargas aplicadas sin comprometer su integridad estructural.

$$n_s = \frac{\sigma_{per}}{\sigma_{dis}}$$

Donde

n_s = factor de seguridad

σ_{per} = esfuerzo permisible

σ_{dis} = esfuerzo de diseño

Si $n_s > 1$ el diseño es adecuado. Entre mayor sea n_s más seguro será el diseño. Determinar este valor es algo complicado y aunque no hay parámetros que establezcan normas claras a seguir.

$$n_s = n_{xx} * n_{yy}$$

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

Donde:

n_{xx} = Factor de seguridad que involucran características A, B y C

n_{yy} = Factor de seguridad que involucran características D y E

A = calidad de los materiales. en primera instancia material muy bueno

B = Control de sobre la carga aplicada se categoriza como bueno

C = Exactitud en el análisis del esfuerzo.

D = peligro para el personal

E = impacto económico.

Tabla 26.

Características del factor de seguridad

Característica		B				
		mb	b	r	p	
A=mb	C=	mb	1.1	1.3	1.5	1.7
		b	1.2	1.45	1.7	1.95
		r	1.3	1.6	1.9	2.2
		p	1.4	1.75	2.1	2.45
A=b	C=	mb	1.3	1.55	1.8	2.05
		b	1.45	1.75	2.05	2.35
		r	1.6	1.95	2.3	2.65
		p	1.75	2.15	2.55	2.95
A=r	C=	mb	1.5	1.8	2.1	2.4
		b	1.7	2.05	2.4	2.75
		r	1.9	2.3	2.7	3.1
		p	2.1	2.55	3.0	3.45
A=p	C=	mb	1.7	2.05	2.4	2.75
		b	1.95	2.35	2.75	3.15
		r	2.2	2.65	3.1	3.55
		p	2.45	2.95	3.45	3.95
mb= muy bien		b= bien				
r= regular		p= pobre				

Característica		D		
		ns	s	ms
E=	ns	1.0	1.2	1.4
	s	1.0	1.3	1.5
	ms	1.2	1.4	1.6
ms= muy serio		s= serio	ns= no serio	

Nota: Richard. G y Keith N. (2012). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley 8ª edición.

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

El primer factor se escogió un $n_{sx} = 1.1$ y un $n_{sy} = 1.0$ lo cal da un factor de seguridad de:

$$f_{sd} = 1.1 * 1.0 = 1.1$$

El material del eje seleccionado es un jede transmisión de acero inoxidable SAE 4140.

Figura 14.

Eje de transmisión

ESTANDAR:

SAE 4140

ANÁLISIS QUÍMICO:

C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo
0.38/0.43	0.75/1	0,035	0,04	0,2/0,35	0,80/1,10	0,15/0,25

PROPIEDADES MECÁNICAS

	Resistencia a la tracción (MPa)	Límite elástico (MPa)	Alargamiento %	Dureza Brinell
Negro	590-695	390	23%	210-240
Calibrado	690-785	590	15%	240-260
Bonificado	850-980	670	25%	260-320

Nota: DIPAC PRODUCTOS DE ACERO. (recuperado el 3/11/2024) disponible en: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://acerosmapa.com.co/wp-content/uploads/2024/07/OP-FT-16-ACERO-SAE-4140-1.pdf](https://acerosmapa.com.co/wp-content/uploads/2024/07/OP-FT-16-ACERO-SAE-4140-1.pdf)

Entonces tenemos:

$$n_s = \frac{\sigma_{per}}{\sigma_{dis}}$$

$$1.1 \leq \frac{390 \text{ MPa}}{57.92 \text{ MPa}}$$

$$1.1 \leq 6.73$$

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

Como se observa el resultado se encuentra por encima del factor, lo cual indica que puede trabajar con más carga de la estipulada.

11.5 Deflexión máxima y momento de inercia

A continuación, se presentan los datos utilizados para determinar la deflexión máxima del eje, considerando la aplicación de una carga distribuida, así como el cálculo del momento de inercia correspondiente.

Tabla 27.

Deflexión máxima y momento de inercia

$$y_{max} = \frac{F_{distribuida (D-F)} * L^4}{8EI} \quad I = \frac{\pi * d^4}{64}$$

<i>L</i>	<i>Longitud del tornillo (m)</i>	0,75
<i>E</i>	<i>Modulo de elasticidad (GPa)</i>	200
<i>d</i>	<i>Diametro de eje (m)</i>	0,0075
<i>F_{distribuida (D-F)}</i>	<i>fuerza de distribucion (N/m)</i>	0,000001553
<i>I</i>	<i>Momento de inercia m⁴</i>	0,000001553
<i>y_{max}</i>	<i>deflexion maxima (mm)</i>	0,0732

11.6 Cálculo de eje por fatiga

Para la máquina se eligió un eje de acero inoxidable SAE 4140 el cual tiene las siguientes especificaciones.

- Límite de elasticidad $S_y = 655 \text{ MPa} = 94.99 \text{ Ksi}$
- Límite de ruptura: $S_{ut} = 850 \text{ MPa} = 123.28 \text{ Ksi}$
- Tipo de material: SAE 4140

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

Para calcular el eje por fatiga, es necesario determinar inicialmente S_e , que es el *limite de resistencia a la fatiga en la ubicacion critica de una parte de la maquina (MPa)*

A continuación, se presenta la fórmula empleada junto con los valores asignados a cada uno de los factores que intervienen en el cálculo:

Tabla 28.

Límite de resistencia a la fátiga en la ubicación crítica

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * K_f * S'_e$$

K_a	Factor de modificacion de condicion superficial (adim)	0,7548
K_b	factor de modificacion de tamaño (adim)	0,76
K_c	factor de modificacion de carga (adim)	1
K_d	factor de modificacion de temperatura (adim)	1
K_e	Factor de confiabilidad (adim)	0,8684
K_f	Factor de concentracion de esfuerzos (adim)	1,525
S'_e	limite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria (MPa)	425
S_e	resistencia a la fatiga en la ubicacion critica (MPa)	211,71

Una vez obtenida la resistencia a la fatiga, para completar el análisis por fatiga se eligió el criterio de falla de la ASME elíptica, para esto, necesitaremos los siguientes datos:

Tabla 29.

Cálculo de esfuerzos

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

Esfuerzo alternante	Esfuerzo medio
$\sigma_a = k_f * \left(\frac{M_a * r_{eje}}{I} \right)$	$\sigma_m = k_f * \left(\frac{M_m * r_{eje}}{I} \right)$
Esfuerzo cortante	Esfuerzo cortante medio
$\tau_a = k_{fs} * \left(\frac{T_a * r_{eje}}{J} \right)$	$\tau_m = k_{fs} * \left(\frac{T_m * r_{eje}}{J} \right)$

k_f	Factor de concentracion de esfuerzos	1,43
M_a	Momento alternante (Nm)	185,73
r_{eje}	Radio de eje (m)	0,0375
I	Momento de inercia (m ⁴)	0,000001553
M_m	Momento medio (Nm)	0
k_{fs}	factor de concentracion de esfuerzos torsion	1,14
T_a	Torque alternante	0
J	Momento polar de inercia (m ⁴)	0,0000031
T_m	Torque medio (Nm)	598,15
σ_a	Esfuerzo alternante (MPa)	6,83
σ_m	esfuerzo medio	0
τ_a	esfuerzo cortate	0
τ_m	Esfuerzo cortante medio (MPa)	8,23

Para complementar el análisis de fatiga, es fundamental determinar tanto el esfuerzo alternante equivalente como el esfuerzo medio equivalente, los resultados obtenidos se muestran a continuación.

a) Esfuerzo alternante equivalente:

$$\sigma'_a = \sqrt{\sigma_a^2 + 3 * \tau_a^2}$$

$$\sigma'_a = \sqrt{(6.83MPa)^2 + 3 * 0^2}$$

$$\sigma'_a = 6.83MPa$$

b) Esfuerzo medio equivalente:

$$\sigma'_m = \sqrt{\sigma_m^2 + 3 * \tau_m^2}$$

$$\sigma'_m = \sqrt{0^2 + 3 * 8.23MPa^2}$$

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

$$\sigma'_m = 14.25 \text{ MPa}$$

Una vez determinados los esfuerzos equivalentes, se procede al cálculo del factor de seguridad F_s .

Tabla 30.

Factor de seguridad

$$F_s = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma'_a}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{\sigma'_m}{S_y}\right)^2}}$$

σ_m	Esfuerzo medio (MPa)	0
τ_m	Esfuerzo cortante medio (MPa)	8,23
S_y	Limite de elasticidad (MPa)	655
S_e	resistencia a la fatiga en la ubicacion critica (MPa)	211,71
σ_a	Esfuerzo alternante (MPa)	6,83
σ'_m	Esfuerzo equivalente (MPa)	14,25
F_s	Factor de seguridad	25,69

12. Cálculo de boquilla

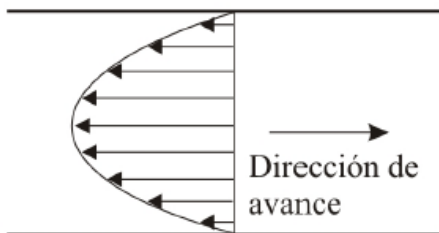
La boquilla es un elemento muy importante ya que debe garantizar que el área de la sección por donde sale el fluido debe ser lisa y sin fallas para así poder garantizar un flujo continuo en todo el material extruido.

Como se ha mencionado anteriormente la mayor presión se ejerce sobre la boquilla y esta presión se debe a la reducción de área, este gradiente de presión tiende a hacer que el material fluya hacia atrás a lo largo del canal del tornillo y esto hace que se oponga debido a la existencia de un gradiente de presión parabólico. (Ver Figura 15)

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

Figura 15.

Perfil de velocidad debido al flujo de presión



Nota: Marcilla y Beltrán (p. 96).

El flujo en la boquilla ocurre debido a la diferencia de presión atmosférica. En esta zona, el material se desplaza únicamente por el flujo de presión, el cual se dirige hacia la salida debido a la reducción del área en la boquilla. En términos generales, el flujo del material a través de una boquilla, sometido a una diferencia de presión ΔP , se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\dot{v} = k * \frac{\Delta P}{\eta}$$

Donde:

$k = \text{constante del arificio}$

$\Delta P = \text{variación de presión (Pa)}$

$\eta = \text{viscosidad en (Pa * s)}$

Es importante mencionar, que entre más grande sea el orificio de salida de la boquilla mayor será el caudal extruido para un ΔP dado. Para un k con geometría de boquilla plana de profundidad h , anchura a , y longitud L_b se tiene que:

$$K = \frac{a * h^3}{12L_b}$$

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

Para garantizar un flujo de extrusión adecuado a través de la boquilla fue fundamental determinar los parámetros geométricos y mecánicos que influyen en el desempeño de la boquilla, así como para mantener el volumen de extrusión sin deformarse. (Ver Apéndice 23)

A continuación, se muestran los resultados obtenidos.

$$L_b = 0.19m$$

Un momento flector de:

$$M_f = 3.75Nm$$

Carga total sobre la boquilla:

$$w_{total} = 260.74 \frac{N}{m}$$

Finalmente, con los datos obtenidos podemos concluir que la boquilla debe tener un espesor de 3 mm lo cual es más que suficiente para resistir sin deformarse. (Ver Apéndice 35)

12.1 Cálculo de tornillos en la brida de la boquilla

Para el cálculo de los tornillos en la brida fue necesario calcular la Presión en la boquilla, y el área de esfuerzo en cada tornillo. (Ver Apéndice 24)

a) Presión en la boquilla

$$P_{Total} = 0.41226 \frac{MN}{m^2}$$

b) Fuerza por tornillo

$$F_{perno} = 1.21333KN$$

c) Área de esfuerzo en el perno

$$A_s = 179.95mm^2$$

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

Con estos datos se selección el M17 2mm según lo estipulado por normas ISO para rosca métrica. Y se halló el esfuerzo de los pernos, la separación mínima y su par de apriete. (Ver Apéndice 24)

- a) Esfuerzo en el perno

esfuerzo por perno $\sigma = 6.74MPa$

esfuerzo permisible $\sigma_{perm} = 320MPa$

- b) Separación mínima de los pernos

$P_{min} = 34mm$

- c) Par de apriete de los tornillos

$MA = 4.125Nm$

13. Selección de rodamientos

A continuación, se presenta el cálculo del rodamiento, en el cual se hace referencia al tipo de rodamiento utilizado para poder soportar las diferentes cargas aplicadas al eje en cuestión (SKF, 2019).

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

Tabla 31.

Tipo de rodamiento según su carga.

Idoneidad de los rodamientos para aplicaciones industriales

Tipo de rodamiento	Capacidad de carga			Desalineación	
	Carga radial	Carga axial	Carga de momento	Desalineación estática	Desalineación dinámica (unas décimas de grado)
Rodamientos de una hilera de rodillos cónicos	+++1)	++ ←	--	-	--
apareados de una hilera	A, B +++ C +++1)	A, B +++ ↔ C ++ ←	A+, B ++ C --	A- B, C --	--
de dos hileras	+++	++ ↔	A+ B ++	A-, B --	--

Nota: Catálogo de rodamientos SKF. (2019). <https://www.skf.com/co/products/rolling-bearings/principles-of-rolling-bearing-selection/bearing-selection-process/bearing-type-and-arrangement/selection-criteria>

Para el rodamiento en el punto c se optó por un rodamiento de rodillos cónicos, siguiendo el criterio de diseñador. Ya que este tipo de rodamiento es adecuado para máquinas de alta capacidad puesto que pueden soportan cargas tanto axial como radial. Los rodamientos de dos hileras de rodillos cónicos fijan el eje en ambos sentidos, también cuentan con una alta rigidez y larga vida útil.

13.1 Cálculo de rodamiento en el punto C

Las cargas en el punto c son claves para determinar el rodamiento a seleccionar a las cuales son respectivamente

a) Cargas

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

$$F_a = 26507.18N$$

$$F_r = 1028.47N$$

De donde podemos obtener la carga estática equivalente, para lo cual se debe obtener el factor $\frac{F_a}{F_r}$ o relación de cargas o e .

Donde:

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{26507.18}{1028.47} = 25.77$$

Lo cual da como resultado: $25.77 \geq e$ siendo un valor de carga muy alto lo que muestra que es una carga axial dominante.

b) Velocidad de rotación

$$n_{min} = 25rpm$$

$$n_{max} = 90rpm$$

c) Cálculo de carga equivalente dinámica (Catalogo de rodamientos SKF, 2019)

Tabla 32.

Carga dinámica del rodamiento

$P = 0.4F_r + YF_a$		
F_a	<i>carga axial del rodamiento (N)</i>	26507
F_r	<i>carga radial del rodamiento en (KN)</i>	1028,47
Y	<i>factor de carga axial del rodamiento (ver anexo 25)</i>	1,6
X	<i>factor de carga radial del rodamiento</i>	0,4
P	<i>Carga dinamica del rodamiento en (KN)</i>	4,28

Con estos datos encontramos la vida nominal dinámica del rodamiento y la capacidad estática del mismo para poder hacer la selección.

d) Vida nominal dinámica

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

La vida nominal dinámica L_{10} se calcula con

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

Dando una vida nominal dinámica en horas de (Ver Apéndice 26):

$$L_{10h} = 229722 \text{ horas}$$

e) Verificación de la capacidad estática

La capacidad de carga estática (C_0) también se verifica como la fuerza equivalente estática aplicada al rodamiento menor o igual que la capacidad de carga básica del rodamiento y se expresa como:

$$F_o \leq C_0$$

$$27535N \leq 250000 \quad (\text{Ver APÉNDICE 26})$$

A partir de esta desigualdad, es posible concluir que el rodamiento de rodillos cónicos de una hilera es más que adecuado donde su vida nominal varía entre 37840 y 189200 horas según sus revoluciones, por lo que se seleccionó un rodamiento SKF 30214. (Ver Apéndice 27)

13.2 Selección del rodamiento en el punto B soporte de rodamiento de bolas de una hilera

El rodamiento en el punto b basándonos en las características del sistema. La mejor opción es elegir un rodamiento de bolas ya que la mayor parte de la carga axial lo recibe el rodamiento de rodillos

Tabla 33.

Tipo de rodamiento según su carga

Idoneidad de los rodamientos para aplicaciones industriales

Tipo de rodamiento	Capacidad de carga			Desalineación	
	Carga radial	Carga axial	Carga de momento	Desalineación estática	Desalineación dinámica (unas décimas de grado)
Rodamientos rígidos de bolas	+	+ ↔	A-, B+	-	--
Rodamientos de inserción	+	+ ↔	--	++	--
Rodamientos de una hilera de bolas de contacto angular	+1)	++ ←	--	-	--

Símbolos

+++ excelente	↔ doble efecto
++ bueno	← simple efecto
+ aceptable	□ desplazamiento libre sobre el asiento
- deficiente	□ desplazamiento libre dentro del rodamiento
-- inadecuado	✓ sí
	✗ no

Nota: Catálogo de rodamientos SKF. (2019). chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://cdn.skfmediahub.skf.com/api/public/0901d196806c43fb/pdf_preview_medium/0901d196806c43fb_pdf_preview_medium.pdf

13.3 Cálculo del rodamiento en el punto B

Como no hay carga axial significativa procedemos a despreciarla, entonces se tiene que:

$$P = F_r = 765.7927N$$

a) Vida nominal del rodamiento

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^3 * 10^6 \text{ Revoluciones}$$

Lo que da como resultado una vida nominal de: (Ver Apéndice 28)

$$L_{10} = 4.93 * 10^{11} \text{ revoluciones}$$

b) Duración en horas

$$L_{10h} = \frac{L_{10h}}{60 * n}$$

Lo que da como resultado una duración en horas de: (Ver APÉNDICE 28)

$$L_{10h} = 5.477 * 10^8 \text{ horas}$$

Lo que da como resultado que el rodamiento es más que suficiente para la máquina por lo que es viable seleccionar un rodamiento 6214M del catálogo SKF. (Ver Apéndice 29)

13.4 Selección de soporte de rodamiento

Los soportes de rodamientos sostienen los rodamientos, los cuales brindan protección ante agentes contaminantes y mantienen el lubricante en su interior, funcionan como apoyo, brida o como tensor del rodamiento.

13.4.1 Soporte para rodamiento en punto B.

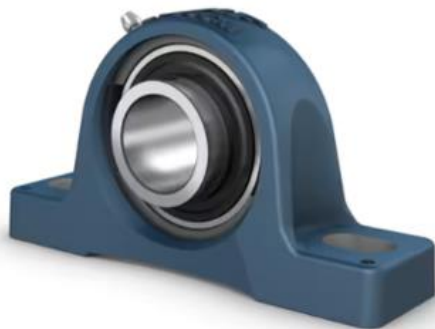
En el punto B se seleccionó un rodamiento SKF 6214 M (rígido de bolas) con dimensiones de $d=70\text{mm}$ y $D=125\text{mm}$ con un ancho $B=24\text{mm}$.

Para lo cual se seleccionó un rodamiento tipo pie SYJ 70 TF. Que es una unidad de rodamiento de bolas con soporte de pie con aro interior prolongado y fijación con tornillos. Montado en un soporte de fundición que puede atornillarse a una superficie de apoyo.

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

Figura 16.

Soporte de rodamiento tipo pie punto B



Dimensiones

Diámetro de los tornillos de fijación	20 mm
Diámetro del eje	70 mm
Altura del centro (soporte de pie)	79.4 mm
Ancho total del soporte	72 mm
Distancia del centro entre los orificios para tornillos	210 mm
Ancho del rodamiento, total	69.9 mm

Propiedades

Rendimiento

Capacidad de carga dinámica básica	62.4 kN
Capacidad de carga estática básica	45 kN
Velocidad límite	2 800 r/min

Nota Velocidad límite con tolerancia de eje h6

Logística

Nota: Catálogo de rodamientos SKF. (2019). <https://www.skf.com/co/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/pillow-block-ball-bearing-units/productid-SYJ%2070%20TF>

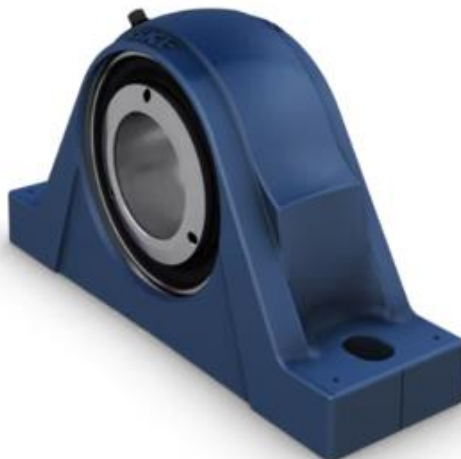
13.4.2 Soporte para rodamiento en punto C.

En el punto C se seleccionó un rodamiento de rodillos cónicos SKF 30214 con dimensiones $d=70\text{mm}$ $D=125\text{mm}$, $B=26.25\text{mm}$, este rodamiento soporta carga radial y carga axial, por lo cual se seleccionó un soporte de rodamiento tipo pie.

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

Figura 17.

Soporte de rodamiento tipo pie punto c



Dimensiones

Diámetro del eje	70 mm
Altura del centro (soporte de pie)	95 mm
Ancho total del soporte	90 mm
Distancia del centro entre los orificios para tornillos	260 mm
Diámetro de los tornillos de fijación	20 mm
Ancho del rodamiento, total	72 mm

Rendimiento

Capacidad de carga dinámica básica	208 kN
Capacidad de carga estática básica	228 kN
Velocidad límite	2 600 r/min

Nota: Catálogo de rodamientos SKF. (2019). Disponible en:

<https://www.skf.com/co/products/mounted-bearings/roller-bearing-units/pillow-block-units/productid-SYNT%2070%20F>

14. Selección de acople

Para nuestra máquina la selección del acople se consideraron varios factores clave como lo fueron: la capacidad de permitir pequeñas desalineaciones angulares y paralelas, costo y facilidad de mantenimiento. Con base en esos criterios se optó por un acoplamiento de cadena INTERMEC S.A., ya que ofrece versatilidad y permite absorber pequeñas fluctuaciones sin poner en peligro la transmisión de potencia.

Ese tipo de acople este compuesto por dos piñones con dientes y una cadena doble estándar, lo que hace que la conexión sea robusta y flexible al mismo tiempo con el eje de salida del reductor y el eje del tornillo extrusor. En sus principales ventajas se encuentra también su bajo costo en comparación con otro tipo de acoples como los acoples rígidos y destaca también su fácil mantenimiento y su reparación en caso de falla. Gracias a su diseño compacto sin pernos sobresalientes que representes algún riesgo, además permite la extracción de sus ejes sin ningún riesgo siempre y cuando se mantengan alineados.

Dado que la máquina extrusora requiere una potencia de 1.47hp para su funcionamiento y aplicando un factor de seguridad adecuado la potencia de diseño se aproxima a 3hp por eso se eligió el motor de 3hp.

a) Factor de servicio

Para determinar el factor de servicio se consideró que el equipo operara en la industria ladrillera con una carga de trabajo de 8 horas diarias y siguiendo las recomendaciones de diseño se seleccionó un factor de seguridad de 2.

$$P_{diseño} = 2.1HP * 2$$

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

$$P_{diseño} = 4.2Hp$$

Por lo que se aproximó a: **4 hp**

De acuerdo con la tabla de especificaciones de los acoples INTERMEC S.A, se eligió el acople A100-20 el cual cuenta con un diámetro en su eje piloto de 33mm y un eje máximo de 110mm lo que permite que se ajuste a los ejes de la máquina. (Ver Apéndice 30)

- a) Eje de salida del reductor: 38mm
- b) Eje del tornillo extrusor: 70 mm

En este caso para garantizar el ajuste preciso, se realizará un mecanizado en la boca del eje piloto para así adaptarlo al eje de salida del reductor además el torque máximo soportado por el reductor es de 8780Nm lo cual es muy por encima del torque de trabajo de la máquina extrusora que es de 664Nm asegurando la operación confiable del equipo.

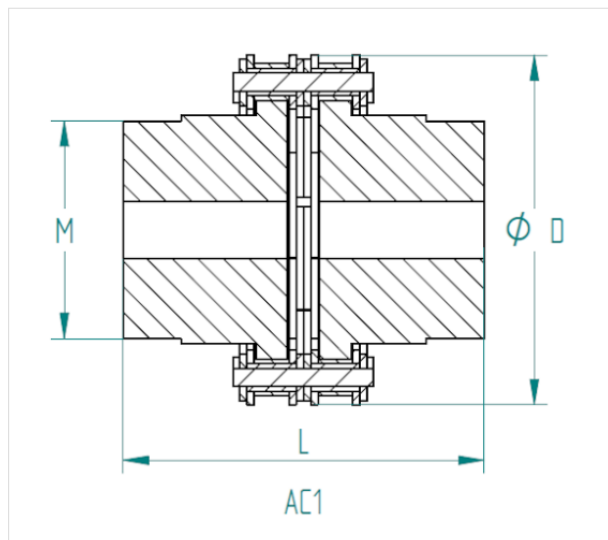
El acople seleccionado cumple no solo con los requerimientos de transmisión de potencia y torque si no también con los de flexibilidad y facilidad de mantenimiento.

DISEÑO DE MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUCCIÓN DE LADRILLOS

Figura 18.

Acople A100-20

Referencia	A100-20
Eje Piloto	33
Eje máximo	110
$\emptyset D$	233
L	178,8
M	160
Diseño	AC1
Torque Max. Nm	8780
Peso (kg)	32,35



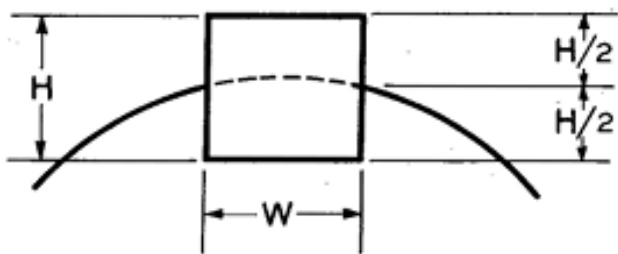
Nota: INTERMEC S.A.

14.1 Diseño de chaveta

Para el diseño de la chaveta nos basamos en el ASME B17.1 -1967 y las chavetas recomendadas son las siguiente (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME, 1917):

Figura 19.

Dimensiones de chaveta



Nota: ASME B17.1-1967.

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

- a) Para el eje de 70mm se eligió una chaveta rectangular, Según la Tabla 1 de la norma ASME B17.1-1967, la chaveta recomendada para un eje de 70 mm tiene un ancho de 20 mm y una altura de 12 mm. (Ver Apéndice 31)
- b) Para el eje de 38mm la chaveta que se utilizara según la tabla la norma ASME B17.1-1967, la chaveta recomendada para un eje de 38 mm tiene un ancho de 10 mm y una altura de 8 mm.

Para garantizar la vida útil de la máquina se debe garantizar que la chaveta falle antes que el eje ya que es más fácil y barato cambiar la chaveta que el eje entero, por lo que se debe elegir una chaveta de un material de menor resistencia que la del eje en este caso se elegirá un acero A36 que tiene las siguientes características:

- a) Esfuerzo a la fluencia $\sigma_y = 248MPa$
- b) Esfuerzo de tracción $\sigma_t = 400MPa$
- c) Factor de seguridad de 3

Luego de haber seleccionado la altura y el ancho de las chavetas, es necesario calcular la longitud de las chavetas y las ranuras de chaveta. (Ver Apéndice 32)

- a) Longitud de chaveta del eje

$$L_c = 24.6mm$$

Por consiguiente, para evitar alguna falla, se elige la mayor longitud calculada que es de una longitud de 25mm.

- b) Longitud de chaveta del reductor

$$L_c = 28.2m$$

DISEÑO DE MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUCCIÓN DE LADRILLOS

Por lo que para evitar falla entonces tomaremos una longitud de 28mm con esta longitud la chaveta resistirá el torque sin fallar prematuramente.

- c) Profundidad de chavetero en el eje

$$S = 62.54mm$$

- d) Profundidad del chavetero en el eje del reductor

$$S = 33.33mm$$

Con los cálculos obtenidos, se procede a calcular la profundidad del chavetero en el cubo del acople.

- a) Para el acople con el tornillo extrusor

$$T = 70 - 1.458 + 6 + 0.127$$

$$T = 74.669mm$$

- b) Para el acople con el eje del reductor

$$T = 38 - 0.6 + 4 + 0.127$$

$$T = 41.527$$

15. Diseño de tolva

Una tolva de alimentación es un recipiente o deposito diseñado para contener y dosificar los materiales que serán procesados en una máquina de reciclaje. Estas tolvas pueden ser de diferentes tamaños y formas. Y están fabricadas con materiales resistentes a la abrasión y la corrosión (MAQUIREPLAS).

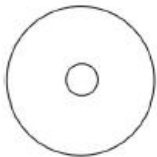
DISEÑO DE MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUCCIÓN DE LADRILLOS

La tolva es el contenedor en la máquina. Tolva y boquilla deben estar ensambladas perfectamente y diseñadas de manera que proporcionen un flujo constante de material. Esto se consigue más fácilmente con tolvas de sección circular, aunque son más caras y difíciles de producir que las de sección rectangular.

Figura. 20.

Tipos de tolvas

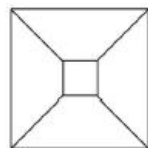
Vista superior



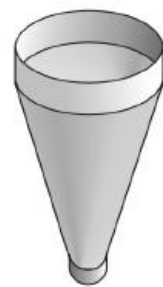
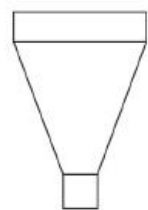
Vista lateral



Vista superior



Vista lateral



Vista isométrica



Vista isométrica

Nota: Marcilla y Beltrán.

15.1 Dimensionamiento de la tolva

Para el diseño de la tolva se tomará como base la medida del cilindro extrusor el cual es de 150mm entonces esa será la medida de la base de la tolva por 200 mm de longitud con el fin de que pueda ensamblarse de manera más adecuada y su ancho en 400 mm, Además, el material a utilizar será ASTM A36 (ver Apéndice 35)

La arcilla de la cantera tiene propiedades tanto cohesivas como plásticas debido a que tiene un alto contenido de agua. Lo que hace que este tipo de material tienda a compactarse lo cual pues

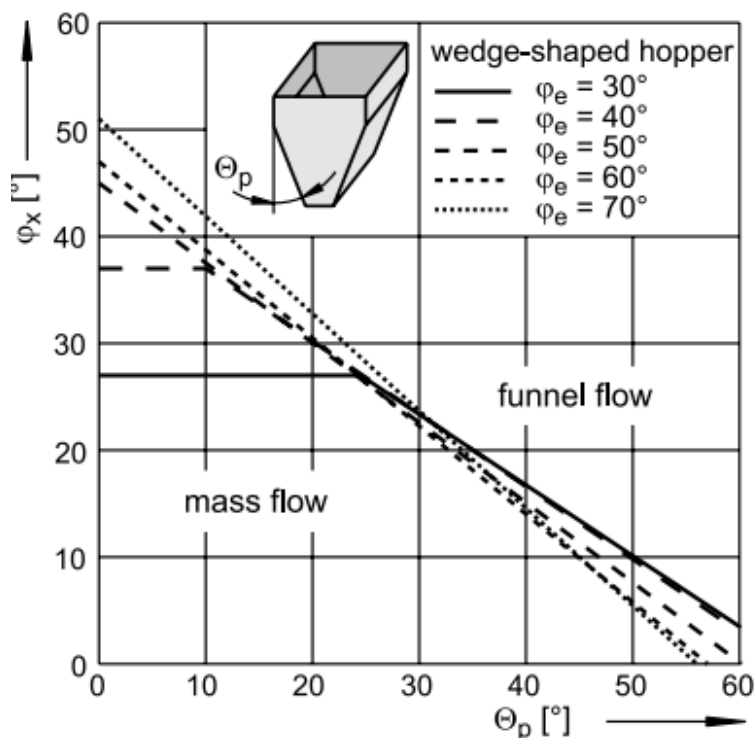
trae problemas en el flujo si no se diseña adecuadamente el sistema de alimentación (Schulze, 2018).

15.2 Ángulo necesario para que la arcilla resbale sobre las paredes de la tolva

Para propiedades de materiales como la arcilla la tolva de flujo másico en forma de cuña puede ser más plana que una tolva de flujo másico cónica. La diferencia está entre 8° a 12° esto se explica por el hecho de que una inclinación de tolva idéntica, la sección transversal de una tolva cónica se reduce más en dirección del flujo que la de una tolva en forma de cuña (Schulze, 2018).

Figura 21,

Diagrama de flujo másico de tolva en forma de cuña



Nota: [https://link-springer-com.bibliotecavirtual.uis.edu.co/chapter/10.1007/978-3-540-73768-](https://link-springer-com.bibliotecavirtual.uis.edu.co/chapter/10.1007/978-3-540-73768-1_10)

[1_10](https://link-springer-com.bibliotecavirtual.uis.edu.co/chapter/10.1007/978-3-540-73768-1_10) springer.com

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

El Ángulo de las paredes de la tolva se diseña específicamente para que la arcilla fluya sin pegarse a la pared y depende del coeficiente de fricción estática entre la arcilla y el material.

$$\text{Tan}(\theta) = \mu_s$$

Para arcilla húmeda colocada sobre superficies metálicas μ_s puede variar entre 0.4 y 0.6 lo cual sugiere un ángulo de $> 30^\circ$.

Para un coeficiente de fricción $\mu_s = 0.5$

$$\theta = \text{actan}(0.5)$$

$$\theta = 27^\circ$$

Por lo cual, incrementaremos el ángulo en un valor adicional para garantizar un mayor margen de deslizamiento, estableciendo $\theta = 28^\circ$.

Adicional a esto, fue necesario calcular la presión en las paredes de la tolva y el peso de la arcilla para poder encontrar el espesor necesario y la deflexión de la lámina al estar cargada. (Ver Apéndice 33)

Tabla 34.

Presión en las paredes de la tolva

<i>P</i>	<i>Presion en la tolva (Pa)</i>	3023,04
<i>m</i>	<i>Masa de arcilla (Kg)</i>	29,3
<i>t</i>	<i>Espesor de lamina (mm)</i>	3
δ_{max}	<i>Deflexion maxima (mm)</i>	0,06

Los resultados obtenidos permiten concluir que la deflexión es aceptable.

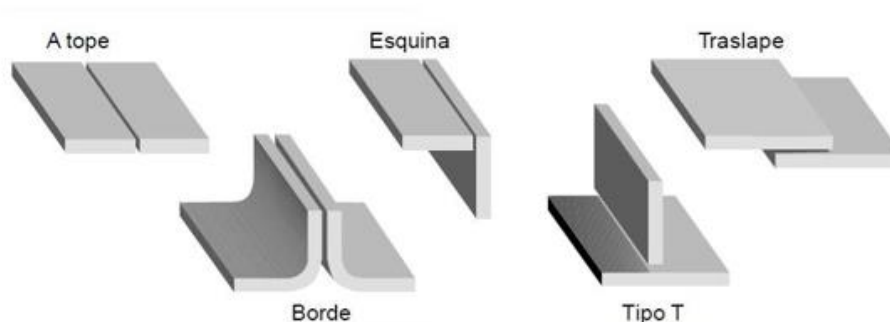
16. Cálculo de principales uniones soldadas

Las uniones más importantes de la máquina están soldadas, especialmente entre el eje motriz y las hélices helicoidales, que soportan la mayor carga durante la extrusión. Se analizará en particular la hélice en la punta, zona sometida a la máxima presión. Para su fabricación se usó acero AISI 4140, soldado a la hélice de acero AISI 1045, material adecuado por su facilidad de soldadura mediante arco con electrodo E7018, de bajo hidrógeno y alta resistencia mecánica. Se descartó el electrodo E6013 por riesgo de grietas y menor resistencia estructural.

Para evaluar la resistencia de la soldadura, se modeló la sección como una viga en voladizo con filete en ambos extremos, formando una unión tipo T (ver Figura 22). Se analizaron fuerzas cortantes y momento flector, verificando que el esfuerzo cortante total no supere el permitido (American Welding Society, 2020).

Figura 22.

Tipos de uniones soldadas



Nota: Universidad autónoma de México uniones soldadas y su simbología.

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

16.1 Cálculo de esfuerzo cortante debido a la fuerza axial

a) Área efectiva de la soldadura A_w

Tabla 35.

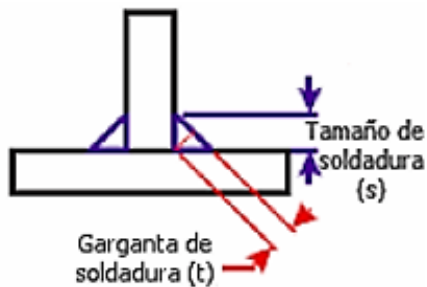
Área efectiva de la soldadura

$$l_w = \sqrt{(\pi d)^2 + P^2} \quad A_w = 2 * a * l_w$$

a	Espesor de la garganta (mm)	5
d	Díametro de eje (mm)	75
P	Paso de helice (mm)	98,8
l_w	Longitud de la soldadura por vuelta (mm)	252,26
A_w	Área efectiva de soldadura (mm ²)	2554,9

Figura 23.

Soldadura tipo T



Nota: Universidad autónoma de México tipos de soldaduras.

b) Esfuerzo cortante debido a la fuerza axial

Tabla 36.

Esfuerzo cortante debido a la fuerza axial

$$\tau = \frac{F}{A_w}$$

F	Fuerza de extrusion (N)	26507,18
A_w	Área efectiva de soldadura (mm ²)	2554,9
τ	Esfuerzo cortante debido a la fuerza axial (MPa)	10,37

16.2 Cálculo del esfuerzo cortante debido al par torsor

Tabla 37.

Esfuerzo cortante debido al par torsor

$$J = 2 * \left(\frac{a * l_w^3}{12} + a * l_w * \left(\frac{d}{2} \right)^2 \right) \quad \tau_t = \frac{T * \frac{d}{2}}{J}$$

a	Espesor de la garganta (mm)	5
l_w	Longitud de la soldadura por vuelta (mm)	255,49
d	Diametro de eje (mm)	75
T	Torque generado en la extrusion (Nm)	664,51
J	Momento polar de inercia para soldadura de filete (mm ⁴)	1,692*10 ⁷
τ_t	Esfuerzo cortante debido al par torsor (MPa)	1,47

16.3 Esfuerzo cortante total

Donde el esfuerzo cortante total es la suma vectorial de los esfuerzos cortantes debido a la fuerza axial y al par torsor.

$$\tau_{total} = \sqrt{\tau^2 + \tau_t^2}$$

$$\tau_{total} = \sqrt{10.51MPa + 1.47MPa}$$

$$\tau_{total} = 10.61MPa$$

Con un a de 5mm el esfuerzo cortante total es mucho menor que la resistencia permitida de la soldadura E7018 que es de 145 MPa por lo que la soldadura es adecuada.

17. Sistema de corte

Para el sistema de corte se diseñó una pequeña mesa de acero 1045 y su bastidor en ángulo estructural ASTM A 36 35*35*5 fácil de limpiar y mantener. El sistema cuenta con una mesa

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

corredera mediante poleas de corredera con soporte para atornillar canal en v de 5mm en su base inferior.

Figura 24.

Polea de corredera con soporte para atornillar



Nota:

<https://www.ferreteriamarti.com/sqlcommerce/disenos/plantilla1/seccion/producto/DetalleProducto.jsp?idIdioma=&idTienda=61&codProducto=50687410&cPath=671>

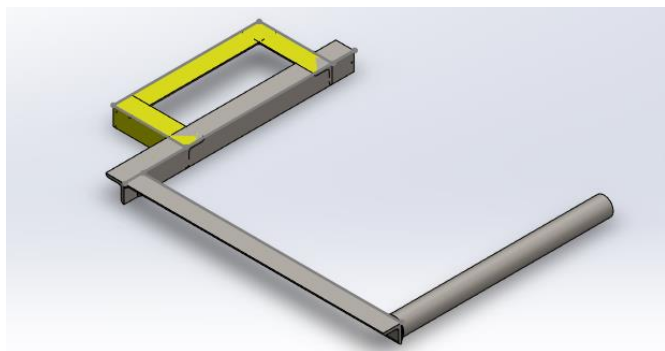
17.1 Bastidor

El bastidor del sistema de corte fue diseñado para ser fácil de fabricar, soldar, operar y mantener con materiales de fácil acceso.

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

*Figura 25.**Bastidor***17.2 Palanca de corte**

Para el sistema de corte se implementó un pequeño sistema de corte por hilo de acero ya que garantiza cortes limpios y que corta cuando llegue a los 28 cm. Está hecho de acero estructural de ASTM A35 35*35*5 y un tubo galvanizado que sirve de eje todo soldado en sus uniones con un pequeño orificio en sus extremos para colocar el alambre de acero.

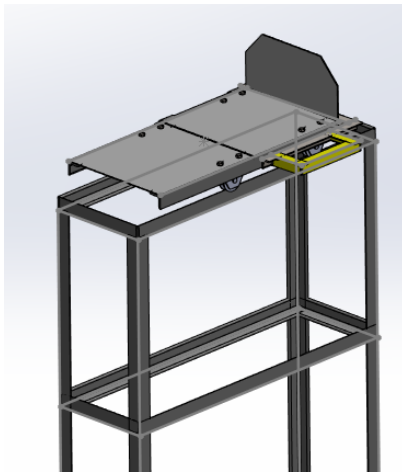
*Figura 26.**Sistema de corte por hilo de acero*

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

Este sistema es fácil de operar, sin complicaciones, para lograr su correcto funcionamiento, sólo debe estar correctamente alineado con la salida de arcilla en la boquilla para evitar agrietamientos en la arcilla al salir de la boquilla. (ver Apéndice 35)

Figura 27.

Sistema de corte ensamblado



18. Diseño del prototipo

Según (Mecánicos Valencia, s.f.) un prototipo mecánico es una versión tangible, aunque a menudo simplificada de un diseño mecánico. Que sirve como prueba de concepto, permitiendo a los ingenieros y diseñadores verificar la funcionalidad, la resistencia, la estética y otros aspectos críticos del diseño antes de la fabricación final. A diferencia de un diseño puramente teórico, un prototipo ofrece una comprensión práctica del comportamiento del mecanismo, facilitando la detección de errores y mejorar el rendimiento (Mecánicos Valencia, 2025).

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

Para la fabricación de un prototipo a escala, es fundamental tener en cuenta como se deben reducir las dimensiones de escala para garantizar que el modelo resultante se comporte de manera similar al sistema original. Según la literatura en diseño mecánico, el escalado geométrico sigue principios establecidos en la mecánica de sólidos y los sistemas de flujo, donde cada magnitud física se ve afectada de manera distinta dependiendo de si está relacionada con la longitud, el área o volumen.

18.1 Escalado lineal (factor 1:3)

Las dimensiones lineales como el diámetro, las longitudes y los espesores, se ven afectadas de manera directa por el factor de reducción. Esto significa que todas las medidas que dependen de una única dimensión espacial deben dividirse por el factor de la escala en este caso 3. Por ejemplo, el diámetro del tornillo sin fin en donde el diseño original es de 15 cm se reduce a 5 cm en el prototipo siguiendo la siguiente relación.

$$D_{prot} = \frac{D_{original}}{3}$$

$$D_{prot} = \frac{15cm}{3}$$

$$D_{prot} = 5cm$$

Lo que da como resultado los siguientes datos:

Tabla 38.

Resultados del escalado lineal (Factor 1:3)

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

<i>Diámetro de tornillo</i>	5cm
<i>Diámetro de eje</i>	2.5cm
<i>Longitud de tornillo</i>	295cm
<i>Paso del tornillo</i>	0.03m
<i>Longitud del tornillo con hélice</i>	200mm
<i>Ancho del filete</i>	3mm
<i>Longitud de la zona de extrusión</i>	138mm
<i>Longitud de la boquilla</i>	0.063m
<i>Espesor del cilindro</i>	1mm
<i>Espesor del a boquilla</i>	1mm
<i>Tornillos para sujetar la boquilla</i>	m5-0.67mm

La razón de esto se encuentra en la teoría de diseño mecánico expuesta en textos de Norton donde se describen que los sistemas mecánicos que conservan la proporción geométrica requieren que sus dimensiones principales sean escaladas de manera homogénea para mantener la congruencia en el diseño y la manufactura (Norton, 2011).

En términos de fabricación, este tipo de escalado asegura que el prototipo represente fielmente la geometría del sistema original sin alterar las proporciones entre sus elementos estructurales. Lo que es especialmente importante en sistemas mecánicos de tornillo sin fin donde el paso del tornillo y el ancho del filete deben reducirse proporcionalmente para evitar problemas en la extrusión del material.

18.2 Escalado de áreas (factor 1:9)

Las propiedades que dependen del área como las secciones transversales de la boquilla y el canal del tornillo deben reducirse en una relación proporcional al cuadrado del factor de escala. Esto se debe a que el área es una magnitud bidimensional que se obtiene del producto de dos dimensiones lineales, lo que proporciona que la nueva área prototipo debe calcularse como:

$$A_{prot} = \frac{A_{original}}{9}$$

Este principio es fundamental en el estudio de mecánica de materiales de (Timoshenko y Gere, 1997) que establecen que, al reducir un sistema mecánico, la resistencia estructural y la transferencia de esfuerzos depende del área de sección transversal, lo que influye en el comportamiento del material cuando se somete a fuerzas externas.

En aplicaciones de extrusión, este escalado es particularmente relevante, ya que la reducción del área influye en la presión generada dentro del sistema. Una reducción de inadecuada de la boquilla podría alterar la velocidad del flujo y afectar el comportamiento de la arcilla durante la extrusión (Beer et al., 2013).

18.3 Escalado de volumen, flujo volumétrico y potencia (factor 1:27)

En este caso las magnitudes que dependen del volumen, como el flujo volumétrico, el torque necesario para la extrusión y la potencia del sistema, deben escalarse según el cubo del factor de reducción. Ya que el volumen es una magnitud tridimensional, la relación de escalado se expresa como:

$$V_{prom} = \frac{V_{original}}{3^3}$$

Lo que significa que si el flujo volumétrico en el sistema original es de 7.4l/min en el prototipo será:

$$Q_{prom} = \frac{7.4}{27} = 0.274L/min$$

Este principio se fundamenta en estudios de mecánica de fluidos de Ashby, (2011) quien señala que la potencia y el flujo volumétrico se ven afectados de manera más drástica que las

dimensiones lineales debido a que dependen de la cantidad total de material desplazado en un sistema.

En tanto, el torque y la potencia también deben escalarse en la misma proporción, ya que ambos dependen de la fuerza aplicada sobre el volumen del material extruido lo que muestra que la potencia original que era de 1.47 hp en el diseño original queda reducida a tan solo 0.054 Hp lo que es 40w aproximadamente. Este escaldo es crucial para evitar un sobredimensionamiento en el prototipo. Si no se aplica correctamente, se podría utilizar un motor con demasiada potencia para el sistema reducido, lo que generara sobrecarga en los componentes mecánicos y podría alterar la presión de extrusión (Beer et al., 2013).

19. Análisis de costos

A continuación, se muestra el análisis de la viabilidad económica de la máquina extrusora de ladrillos para el municipio de Málaga Santander, diseñada para los pequeños productores de ladrillo tipo m del municipio. Contrastando los costos de fabricación con los de las máquinas industriales.

Tabla 39.

Costo de materiales necesarios

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

Descripción general de los materiales				
Componente	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Motor eléctrico 3Hp	unidad	1	\$ 1.229.000	\$ 1.229.000
Reductor 60:1	unidad	1	\$ 1.424.000	\$ 1.424.000
Eje acero 4140	unidad	1	\$ 800.000	\$ 800.000
Lamina de acero 1045	*1,5m ²	1	\$ 150.000	\$ 150.000
angulo de acero ASTM A36 35*35*5mm	9m	1	\$ 210.000	\$ 210.000
Tornillería general	unidad	24	\$ 1.500	\$ 36.000
Poleas de corredera	unidad	4	\$ 60.000	\$ 240.000
Helices acero 1045	0,75m ²	1	\$ 75.000	\$ 75.000
Tubo rectangular 30*50mm	4m	1	\$ 119.000	\$ 119.000
Tubo galvanizado	0,5	1	\$ 7.000	\$ 7.000
Rodamiento SKF 6214 M rígido de bolas	unidad	1	\$ 150.000	\$ 150.000
Rodamiento SKF 30214 de rodillos	unidad	1	\$ 350.000	\$ 350.000
Acople intermec A100-20	unidad	1	\$ 175.000	\$ 175.000
			Total	\$ 4.965.000

Tabla 40.

Costos de fabricación de la máquina

Costos de fabricación					
Componente	Material	Cantidad	Proceso	Costo unitario	Subtotal
Cilindro extrusor	Acero 1045 3mm	1	Cortado, soldadura, pulido	\$ 150.000	\$ 150.000
Boquilla	Acero 1045 3mm	1	Cortado, soldadura, pulido	\$ 80.000	\$ 80.000
Eje	Acero 4140 3"	1	Mecanizado(torneado pulido)	\$ 250.000	\$ 250.000
Bastidor	Angulo A36 35*35*5	9 m	Cortado, soldadura, ensamble	\$ 12.000	\$ 108.000
Patas de bastidor	Tubo 50*30mm	4	Cortado, soldadura	\$ 30.000	\$ 120.000
Carro cortador	Angulo A36 35*35*5	3m	Costado, soldadura	\$ 12.000	\$ 36.000
Tolva	Acero 1045 3mm	1	Cortado soldadura	\$ 70.000	\$ 70.000
Tornillería esamble	Acero grado 8.8	24	Compra, (tuercas, arandelas)	\$ 2.500	\$ 60.000
Soldadura	Electrodos	5 Kg	Mano de obra + material	\$ 21.900	\$ 219.000
Mano de obra		15 días	Corte, soldadura, pulido, ensamble	\$ 50.000	\$ 750.000
Imprevistos			(10% del total)		\$ 15.000
			Total		\$ 1.858.000

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

Al sumar los datos de costos de materiales y de fabricación de la máquina extrusora dio como resultado un total de \$6.823.000 pesos colombianos lo que la sitúa en costo muy por debajo de las máquinas industriales en el mercado.

El Grupo Morbeck cuenta con modelos de extrusoras de arcilla como lo es el modelo MMK-250 (Ver Figura 28) la cual es una de las más pequeñas en el mercado dirigida a los pequeños empresarios que buscan ahorrar energía y trabajo. Con esta máquina se pueden hacer ladrillos macizos, huecos y demás ofrece una garantía de 5 años.

Está fabricada completamente de placas de acero soldado, lo que lo hace extremadamente duradera y de fácil mantenimiento con un costo de máquina de \$2.590 dólares lo que equivaldría a más de 12 millones de pesos lo cual está casi el doble de la máquina diseñada

Figura 28.

Máquina extrusora GrupoMorbeck



Nota: Disponible en: <https://grupomorbeck.com/product/extrusora-de-ladrillos-de-arcilla-mod-mmk220/>

A continuación, se hace un pequeño análisis comparativo a grandes rasgos entre el sistema diseñado vs máquinas encontradas en el mercado.

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

Tabla 41.

Comparación con otros sistemas de extrusión

Comparacion detallada		
Variable	extrusora de ladrillos	maquinas industriales
Costo	\$ 6.823.000	\$80.000.000-\$150.000.000
Ptduccion diaria	1800 ladrillos	20000+ ladrillos
Materiales	Acero A36/1045/4140 componetes locales	Acero inoxidable, motores importados
Energia	Motor 3hp	Motores trifasicos (10+ HP)
Mano de obra	2 operarios	Equipos automatizados
Tiempo de fabricacion	2-4 semanas	3-6 meses
Mantenimiento	Reparable con soldadura /torneado	Partes especializadas
Direccionameinto	Pequeñosladrilleros y talleres	Grandes fabricas y cosnstructoras

Este análisis de costos muestra que la máquina de extrusión es asequible para los pequeños productores de ladrillos en el municipio y reduce la brecha tecnológica para pequeños productores de ladrillo tipo M ladrilleros hasta con una inversión de 35 veces menor que las opciones industriales.

Al utilizar materiales locales es reparable en la mayoría de los talleres del municipio y su baja producción es adecuada para las pequeñas ladrilleras. Este modelo de máquina demuestra que es posible fabricar tecnología asequible para la pequeña industria, con costos controlados y materiales disponibles en la región. El valor de esta máquina no radica en competir con las máquinas industriales si no poco apoco ir ofreciendo a los productores mayor eficiencia en la fabricación con poca inversión y retorno rápido.

20. Pruebas y resultados

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

Para validar el diseño y evaluar su desempeño, se construyó un prototipo a escala reducida, a un tercio del tamaño original. Este modelo cuenta con un tornillo de 5 cm de diámetro, un eje de 0.25 m de longitud y una boquilla proporcional a la escala (ver Figura 29). A partir de las pruebas realizadas con el prototipo, se determinó que una velocidad de 25 rpm permite alcanzar una producción superior a 1,200 ladrillos por día.

Figura 29.

Prototipo escala



El objetivo de las pruebas se centró en determinar las revoluciones necesarias para lograr el volumen de extrusión acorde a los datos teóricos reportados en las fuentes consultadas. Para ello, se utilizó un motor de combustión acoplado a un reductor de velocidad con una relación de 20:1, lo que permitió alcanzar un mínimo de 25 rpm (Ver Figura 30).

Figura 30.

Montaje para funcionamiento

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA



Con esta configuración, se realizaron pruebas experimentales para medir el flujo volumétrico bajo diferentes condiciones de operación. Los resultados obtenidos se compararon con los datos proporcionados por Frank Handle en su estudio sobre sistemas de extrusión en cerámica, con el fin de evaluar la eficiencia del sistema y su comportamiento en relación con los valores teóricos.

Figura 31.

Funcionamiento de la máquina extrusora



DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

Uno de los aspectos clave en la extrusión es la humedad de la arcilla, ya que influye directamente en la calidad del producto final. Se realizaron tres pruebas con distintos niveles de humedad para determinar la condición óptima:

En la primera prueba, se utilizó una arcilla con una humedad inferior al 20%. Como resultado, los ladrillos presentaron grietas y fragilidad, lo que dificultó su manipulación y generó defectos estructurales. Esta condición evidenció que un bajo porcentaje de humedad afecta negativamente la compactación del material durante la extrusión.

Para la segunda prueba, la arcilla empleada tenía un porcentaje de humedad entre 20% y 25%. En este caso, se observó que la extrusión presentó una consistencia óptima, sin defectos visibles, lo que permitió una manipulación adecuada sin riesgo de fracturas. Esto permite afirmar que, dentro de este rango de humedad, la resistencia y estabilidad de los ladrillos es mayor.

Finalmente, en la tercera prueba, se utilizó una arcilla con una humedad superior al 35%. Durante la extrusión, se evidenció que la consistencia del material era demasiado blanda, con la presencia de burbujas de aire, lo que permite inferir que hay defectos en la compactación. Además, los ladrillos resultantes eran extremadamente frágiles y poco resistentes a la manipulación (Ver Figura 32).

Con base en estos ensayos, se concluyó que la humedad óptima para la extrusión es del 20% lo que garantiza un balance entre resistencia y facilidad de manipulación.

Figura 32.

Pruebas de humedad

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA



Una vez obtenido el porcentaje óptimo de humedad, se procedió a hacer pruebas de velocidad y extrusión, dando como resultado la siguiente información.

Tabla 42.

Pruebas realizadas

Prueba	RPM	Tiempo	Masa extruida (kg)	flujo volumetrico (l/min)	flujo esclado l/min	Flujo según Handle l/min
1	82	2,07	1,42	0,39 l/min	10,8	No cuenta
2	40	1,62	0,68	0,24 l/min	6,48	19,6
3	25	1	0,55	0,39 l/min	10,53	12,3
4	22	0,91	0,53	0,34l/min	9,22	3,17
5	20	0,85	0,45	0,31 l/min	8,41	2,9

Con estos datos se realizó el cálculo del flujo volumétrico en l/min considerando la densidad de arcilla de 1712kg/m³.

20.1 Análisis comparativo

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

A partir de las pruebas realizadas, se calcularon los valores del flujo volumétrico en L/min considerando una densidad de arcilla de 1712 kg/m³. Luego, se compararon con los datos de Frank Handle, obteniendo los siguientes hallazgos:

- a) A altas revoluciones (40 y 82 rpm), el flujo volumétrico del prototipo fue significativamente menor que los valores teóricos. Además, en la literatura consultada no se reportan datos para velocidades superiores a 30 rpm.
- b) A bajas revoluciones, los valores experimentales se aproximaron más a los teóricos, aunque con ligeras diferencias. No obstante, estos podrían igualarse si se considera un tiempo de operación de 1 minuto, como en los estudios previos.
- c) Se observó que el prototipo opera con mayor eficiencia a bajas revoluciones, mientras que a altas velocidades la extrusión pierde estabilidad, reduciendo su efectividad.

Por lo tanto, se concluye que la máquina debe operar a 25 rpm, logrando un flujo óptimo de 12.3 L/min, lo que permite mantener una producción eficiente y consistente.

21. Manual de uso de la máquina extrusora

El documento proporciona instrucciones para la operación segura de una extrusora, incluyendo una descripción de sus partes principales, los pasos para su arranque y apagado, y medidas de precaución. (Ver Apéndice 34)

Figura 33.

Manual de uso de la máquina extrusora



22. Conclusiones

El objetivo del proyecto era alcanzar una producción diaria de 1.200 ladrillos. Sin embargo, los cálculos demostraron que, con un caudal de 12.3 L/min y una velocidad de extrusión de 25 rpm, la máquina produciría unos 1.952 ladrillos en 8 horas, superando la meta establecida.

Para validar el diseño, se fabricó un prototipo a escala, tres veces más pequeño que el modelo final. Aunque los resultados iniciales fueron ligeramente inferiores a lo proyectado, estas diferencias se atribuyen a condiciones de operación, materiales y pequeñas imprecisiones en la

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

fabricación. No obstante, las pruebas confirmaron que el prototipo es funcional y que el diseño, a escala real, cumplirá con las expectativas de producción establecidas.

Respecto al sistema de conformación, los cálculos y pruebas con el prototipo permitieron concluir que la máquina, equipada con un tornillo sin fin de 0.75 m de largo, un diámetro de tornillo de 0.15 m y de eje de 0.075 m, junto con un tramo adicional de 30 cm para rodamientos y transmisión, cumple con los requisitos de operación esperados.

Para optimizar el desempeño y evitar sobredimensionamiento, se incorporó un reductor de velocidad 60:1, lo que reduce el espacio para poleas y otros elementos, logrando un equilibrio entre potencia, eficiencia y tamaño, y evita una demanda excesiva de componentes estructurales.

Finalmente, se eligió un motor eléctrico de 3 HP, lo que asegura un suministro de energía constante y reduce significativamente el uso de combustibles fósiles, aceites y costos de mantenimiento, contribuyendo así a disminuir la huella de carbono en el municipio.

Referencias Bibliográficas

American Society of Mechanical Engineers. (1967). *Keys and keyseats (ASME B17.1-1967)*.
United Engineering Center.

American Welding Society. (2020). *AWS D1.1/D1.1M: Structural welding code – Steel*. American
Welding Society.

Asocaña. (2022). *Informe anual de la industria del ladrillo en Colombia*. Disponible en:
<https://www.asocana.org/modules/documentos/17668.aspx>

Barranzuela, J. (2014). *Proceso productivo de los ladrillos de arcilla producidos en la Región
Piura* (1ª ed., Vol. 1). Universidad de Piura. <https://hdl.handle.net/11042/1755>

Benbow, J. J., & Bridgwater, J. (1993). *Paste flow and extrusion*. Clarendon Press.

Blackburn, S. (2006). *Principles of ceramics processing*. The Institute of Materials.

Carvajal, J., & Gelvez, J. (2008). *Diseño de un modelo de extrusora para la industria ladrillera*
[Trabajo de grado, Universidad Francisco de Paula Santander]. Repositorio UFPS.
<https://repositorio.ufps.edu.co/bitstream/handle/ufps/7192/11208081120876.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Dalton, J. (2024). *Diseño de una máquina extrusora de arcilla para la fabricación de ladrillo de
cara vista* [Trabajo de grado, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio UNL.
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/29455>

Departamento Nacional de Planeación. (2021). *Estadísticas de la industria manufacturera*.
Disponible en: <https://www.dnp.gov.co/>

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

García, J., & Martínez, L. (2020). Producción y sostenibilidad de ladrillos prensados. *Revista de Ingeniería Industrial*, 15(3), 45-60.

Händle, F. (2007). *Extrusion in ceramics*. Springer-Verlag.

Händle, F. (2007). Fundamentos de la extrusión. En *Extrusion in ceramics* (cap. 2). Springer-Verlag.

Händle, F. (2007). Cálculos de potencia y diseño de extrusoras. En *Extrusion in ceramics* (cap. 4). Springer-Verlag.

León, R. A. G., Solano, E. F., & Pérez, M. A. A. (2015). Análisis estructural de una máquina para producción de ladrillo macizo para las pequeñas industrias artesanales de materiales cerámicos en Ocaña Norte de Santander y en la región. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada (RCTA)*, 1(25), 104-109.

López Arce, P. (2012). *Caracterización de ladrillos históricos*. *Digital.csic*, 1(1), 978-84-615-7660-9. <http://hdl.handle.net/10261/46792>

MartinsProcked. Componentes en Existencia y MTO para Transportadores Helicoidales. Disponible en: https://es.martinsprocket.com/docs//catalogs/material%20handling/2_transportadores%20helicoidales/seccion_h_helicoidales.pdf

Norton, R. L. (2011). *Diseño de máquinas: Un enfoque integrado* (4ª ed.). Pearson Educación.

Organización Internacional del Trabajo. (2023). *Condiciones laborales en la industria de ladrillos*. Disponible en: <https://www.ilo.org/es/media/481916/download>

Porter, M. E. (1990). *The competitive advantage of nations*. Free Press.

Published in bulk solids handling, (2017). Vol. 37 No. 2

Reed, J. S. (1995). *Principles of ceramics processing* (2ª ed.). John Wiley & Sons.

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA DE ARCILLA

- Reed, J. S. (1995). Forming processes - Extrusion. En *Principles of ceramics processing* (pp. 449-473). John Wiley & Sons.
- Richerson, D. W. (2005). *Modern ceramic engineering: Properties, processing, and use in design* (3ª ed.). CRC Press.
- Sánchez, M. (2019). Impacto socioeconómico de la producción de ladrillos en Santander. *Economía y Desarrollo*, 12(2), 30-50.
- SEW-Eurodrive. (s.f.). *Reductores de engranajes cilíndricos R*. https://www.sew-eurodrive.es/productos/reductores/reductores_estandar/reductores_de_engranajes_cilindricos_r/reductores_de_engranajes_cilindricos_r.html
- SlideShare. (s.f.). *Diseño de tolvas*. <https://es.slideshare.net/slideshow/diseo-de-tolvas/63586230>
- Springer. (2008). Una mirada más detallada a las propiedades de los sólidos a granel. En *Polvos y Sólidos a Granel*. Springer, Berlín, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-73768-1_5
- Springer. (2008). Diseño de silo para flujo. En *Polvos y Sólidos a Granel*. Springer, Berlín, Heidelberg. https://doi-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/10.1007/978-3-540-73768-1_10
- Timoshenko, S., & Woinowsky-Krieger, S. (1959). *Theory of plates and shells* (2ª ed.). McGraw-Hill.
- Turpo, S. (2021). *Diseño de una máquina extrusora hidráulica semi automática para la fabricación de ladrillos pasteleros en la empresa Ladrillos Imperio Cusco* [Trabajo de grado, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica]. Repositorio Continental. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11346/2/IV_FIN_111_TE_Turpo_Ccoa_2021.pdf
- SyB Ingeniería. (Productor). (2014). *Diseños de reductores de velocidad* <https://www.youtube.com/watch?v=5ZwSvOrOfec>