

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**Diseño de una extrusora en el proceso de la elaboración de arroz
vitaminado para reducir la cantidad de arroz ñelen en la región
Lambayeque**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

AUTOR

Ricardo Alexander Cadenillas Cabrera

ASESOR

William Fernando Villareal Albitres

<https://orcid.org/0000-0003-1743-6014>

Chiclayo, 2024

**Diseño de una extrusora en el proceso de la elaboración de arroz
vitaminado para reducir la cantidad de arroz ñelen en la región
Lambayeque**

PRESENTADA POR

Ricardo Alexander Cadenillas Cabrera

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

APROBADA POR

Lucio Antonio Llontop Mendoza

PRESIDENTE

Luis Alberto Gonzales Bazán

SECRETARIO

William Fernando Villareal Albitres

VOCAL

Dedicatoria

Esta investigación la dedico a mis padres, ya que me incentivaron a seguir adelante en todo momento, con sus consejos y perseverancia que siempre me inculcan.

A mi hermana por el apoyo incondicional y los ánimos que me brindo para salir adelante y cumplir mis objetivos trazados.

A Dios por brindarme salud y apoyo espiritual para finalizar dicha investigación

Agradecimientos

Las gracias a Dios por haberme dado la vida, salud y acompañado a lo largo de la carrera universitaria.

Agradezco a mis padres y hermana por ser el pilar principal de mi vida y apoyarme en todo momento, por inculcarme valores y brindarme la educación, con el fin de cumplir mis objetivos y metas trazadas.

También agradezco a los docentes, los cuales me brindaron su apoyo y conocimiento a lo largo de la carrera, a mis amigos que me brindaron su apoyo y poder culminar la presente investigación.

Tesis 100%

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%	19%	1%	8%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
2	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	3%
3	Submitted to Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo Trabajo del estudiante	2%
4	docplayer.es Fuente de Internet	1%
5	www.adrformacion.com Fuente de Internet	1%
6	sisbib.unmsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	gestion.pe Fuente de Internet	1%
8	eprints.ucm.es Fuente de Internet	1%
9	es.slideshare.net Fuente de Internet	

Índice

Resumen	10
Abstract	11
I. INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO I	13
1.1. PROBLEMÁTICA.....	13
1.1. OBJETIVOS	14
1.1.1. Objetivo general	14
1.1.2. Objetivos específicos	14
1.1.3. Justificación	15
CAPÍTULO II.....	16
II. MARCO TEÓRICO	16
2.1. Antecedentes	16
2.2. Bases teóricas	20
2.2.1. Diseño ingenieril:	20
2.2.2. Propiedades mecánicas de los metales	20
2.2.2.1. Torsión.....	20
2.2.2.2. Ductilidad.....	20
2.2.2.3. Dureza	21
2.2.2.4. Factor de diseño y seguridad.....	21
2.2.3. Proceso de extrusión:	21
2.3. Clasificación de extrusores	22
2.3.1. Según su funcionamiento.....	22
2.6. Ventajas del proceso de extrusión en general	30
2.7. Aplicaciones de la extrusión.....	30
2.8. Partes de un extrusor:	32
2.9. Zonas del Husillo	34
2.10. Funciones de una extrusora	34
2.12. Software SolidWorks	37
2.13. HIPÓTESIS.....	38
CAPÍTULO III	39
3. TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.....	39

3.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	39
3.2.	NIVEL DE INVESTIGACIÓN	39
3.3.	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	39
3.3.1.	MÉTODOS	39
3.3.2.	PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	39
3.3.3.	METODOLOGÍA DEL DISEÑO.....	40
3.3.4.	MATRIZ DE CONSISTENCIA	41
CAPÍTULO IV		42
4.	FUNCIONAMIENTO OPERACIONAL DE UNA EXTRUSORA USADA EN EL PROCESO DE MOLDEADO DE ARROZ	42
4.1.	Programa de producción promedio	43
4.1.1.	Capacidad de producción	43
4.2.	Proceso de producción de arroz	44
4.2.1.	Flujograma de la elaboración de arroz fortificado	46
4.2.2.	Proceso de etapas de fortificación del arroz	47
4.3.	IDENTIFICAR LOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO EN LA EXTRUSORA PARA ARROZ FORTIFICADO.....	49
4.4.	DISEÑO.....	52
4.4.1.	Metodología del diseño	52
4.4.2.	Identificar los requisitos del cliente.....	53
4.4.3.	Requisitos del diseño.....	53
Caja negra	53	
4.4.4.	Funciones del dispositivo	54
4.5.	Criterios de evaluación.....	56
4.5.1.	Operación	56
4.5.2.	Diseño	56
4.5.3.	Confiabilidad	56
4.5.4.	Fabricación	56
4.5.5.	Seguridad	56
4.5.6.	Temperatura	56
4.5.7.	Montaje y desmontaje.....	56
4.5.8.	Transporte.....	56
4.5.9.	Tamaño.....	56
4.5.10.	Mantenimiento.....	57
4.6.	Matriz morfológica	57

4.7.	Disposición básica	59
4.7.1.	Concepto solución 1 (C.S.1).....	59
4.7.2.	Concepto solución 2 (C.S.2).....	59
4.7.3.	Concepto solución 3 (C.S.3).....	59
4.7.4.	Concepto solución 4 (C.S.4).....	60
4.7.5.	Concepto solución 5 (C.S.5).....	60
4.8.	Metodología para seleccionar la posible solución.....	61
4.9.	DISEÑO FINAL	62
4.10.	Descripción de plano de corte de los componentes que conforman la máquina 63	
4.11.	Elección de Materiales.....	64
4.11.1.	Acero AISI – SAE 1045	64
4.11.2.	Acero inoxidable.....	64
4.12.	Cálculos Justificativos	65
4.13.	Partes detalladas de la máquina extrusora	73
4.14.	Sistema eléctrico	77
4.15.	Sistema de transmisión.....	79
4.16.	Analizar los componentes de la máquina en el software CAD – CAE.....	80
4.17.	Análisis estático.....	80
4.19.	Costos de materiales para la máquina extrusora	84
V.	CONCLUSIONES.....	85
VI.	Recomendaciones	86
VII.	Referencias.....	87
VIII.	Anexos	88

Lista de tablas

Tabla 1 - Características de funcionamiento de las extrusoras de un solo tornillo	35
Tabla 2 - Características de funcionamiento de las extrusoras de esfuerzo cortante alto	36
Tabla 3 - Matriz de consistencia	41
Tabla 4 - Producción promedio de arroz	43
Tabla 5 - Capacidad de Producción.....	43
Tabla 6 - Variables más importantes que intervienen en el proceso de extrusión [12].....	49
Tabla 7 - Evaluación técnica del concepto de solución	61
Tabla 8 - Ventajas y desventajas del acero AISI - SAE 1045	64
Tabla 9 - Ventajas y desventajas del Acero inoxidable.....	64
Tabla 10 - Dimensiones del mezclador	65
Tabla 11 - Resultados de los cálculos.....	67
Tabla 12 - Cargas calculadas aplicadas a los componentes de la máquina.....	71
Tabla 13 - Datos del molde extrusor	72
Tabla 14 - Cálculos realizados.....	72
Tabla 15 - Datos técnicos del motor	78
Tabla 16 - Datos para dimensionamiento del sistema de transmisión.....	79
Tabla 17 - Resultados informe SolidWorks	80
Tabla 18 - Resultados informe SolidWorks	83
Tabla 19 - Evaluación económica.....	84

Lista de figuras

Figura 1 - Curva deformación - Tensión	20
Figura 2 - Proceso de extrusión	22
Figura 3 - Extrusora en caliente	22
Figura 4 - Extrusora en frio	23
Figura 5 - Diagrama esquemático de una extrusora de alimentos de un solo tornillo	24
Figura 6 - Cortes de un extrusor monohusillo y uno de tornillos gemelos	28
Figura 7 - Perfil de ajuste y movimiento del material	28
Figura 8 - Tornillos gemelos [10]	30
Figura 9 - Extrusor de un Husillo	32
Figura 10 - Tolva de recepción de materia prima	33
Figura 11 - Zonas del Husillo	34
Figura 12 - Diagrama de flujo del proceso de pilado de arroz	44
Figura 13 - Flujograma del área de producción	45
Figura 14 - Proceso de la elaboración de arroz vitaminado	46
Figura 15 - Proceso de la obtención de arroz fortificado	47
Figura 16 - Extrusores de tornillo simple y de doble tornillo	51
Figura 17 - Paso para el proceso del diseño	52
Figura 18 - Caja negra	53
Figura 19 - Funciones del dispositivo	55
Figura 20 - Matriz Morfológica	58
Figura 21 - Diseño final	62
Figura 22 - Plano de corte de los componentes internos de la extrusora	63
Figura 23 - Acondicionador y sus componentes	65
Figura 24 - Propiedades mecánicas del Acero AISI SAE 1045	66
Figura 25 - Tornillo sin fin	67
Figura 26 - Cargas aplicadas al eje extrusor	70
Figura 27 - Intersticios de molde	73
Figura 28 - Estructura de los componentes de la extrusora	73
Figura 29 - Mono Husillo extrusor	74
Figura 30 - Camisa extrusora	74
Figura 31 - Cilindro acondicionador	75
Figura 32 - Sin fin mezclador	75
Figura 33 - Cuchilla cortadora de granos	76
Figura 34 - Molde para grano de arroz entero	76
Figura 35 - Sistema de transmisión por poleas	79
Figura 36 - Tensión de von Misses	81
Figura 37 - Desplazamientos	81
Figura 38 - D.C.L de las cargas aplicadas a la estructura	82
Figura 39 - Cargas aplicadas	82

Resumen

El grano de arroz es el segundo cereal con mayor consumo en el mundo, la fabricación está concentrada con el 85% proveniente de Asia, mientras que otros países representan el 15%. Dentro del 15%, se encuentra ubicado Perú, y una de las regiones con mayor producción de arroz, es la región Lambayeque con un estimado de 324,000 T.M por campaña.

Entre los distintos tipos de arroz que pila la región Lambayeque tenemos el arroz Ñelen, el cuál, está conformado por granos quebrados, ya que, en la molienda, el grano de arroz se descascara y tiende a quebrarse, obteniéndose granos quebrados menores a $\frac{1}{4}$ de un grano completo. y es usado para el consumo humano y de animales.

La siguiente propuesta tiene como objetivo el diseño de una máquina extrusora, aplicada a las piladoras de arroz en Lambayeque, la cual contribuirá con la elaboración del grano de arroz vitaminado, la cual se le añadirá micronutrientes esenciales para el organismo, con la finalidad de contribuir eficazmente en la alimentación del consumidor de este cereal.

Palabras clave: Diseño de una extrusora, arroz ñelen, piladoras de la región Lambayeque, arroz vitaminado.

Abstract

Rice grain is the second most consumed cereal in the world, manufacturing is concentrated with 85% coming from Asia, while other countries represent 15%. Within 15%, Peru is located, and one of the regions with the highest rice production is the Lambayeque region with an estimated 13,208 t per day.

Among the different types of rice exported by the Lambayeque region we have Ñelen rice, which is made up of broken grains, since, in milling, the rice grain is husked and tends to break, obtaining broken grains smaller than $\frac{1}{4}$ of a whole grain. and it is used for human and animal consumption.

The following proposal aims at the design of an extruder machine, applied to the rice mills in Lambayeque, which will contribute to the elaboration of the vitaminized rice grain, which will add essential micronutrients for the organism, in order to contribute effectively in the consumer's diet of this cereal.

Keywords: Design of an extruder, ñelen rice, Lambayeque region grinders, vitaminized rice.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el arroz es uno de los cereales con mayor tiempo y extensión de cultivo, pues ocupa aproximadamente el 9% de la tierra total, siendo este de vital importancia para la nutrición humana, después del trigo. [1]

En el Perú el consumo per-cápita de arroz es de 63,5 Kg/año, siendo un alimento esencial de la canasta básica familiar de los peruanos por su gran aporte calórico (MINAG, 2017). Es el producto que más aporta al PBI agropecuario y agrícola, genera la mayor cantidad de empleos en el sector agrario. Con respecto a los 10 últimos años aportó con el 4.85 por ciento del PBI agropecuario y con el 8,23 por ciento del PBI agrícola del país. [2]

En la actualidad el proceso del pilado de arroz, genera varios tipos; entre ellos el arroz quebrado o arroz ñelen, el cual representa al grano partido en cualquier sentido, con un tamaño menor al 50% del grano entero, el uso va dirigido a los animales y una parte para consumo humano, la venta del arroz ñelen no es tan rentable, ya que el grano de arroz no cumple con el tamaño de grano adecuado requerido por el fabricante. [3]

La presente tesis tiene como objetivo, el diseño de una extrusora de tornillo simple la cuál logrará reutilizar el arroz ñelen, el cual se origina al momento del descascaramiento del grano en el proceso de pilado. El diseño logrará un proceso eficiente y una nueva producción de arroz fortificado, al cual se le añadirá vitaminas y micronutrientes solicitados por el fabricante. Para esto se usará como materia prima el arroz ñelen, el cual recibirá un proceso de extrusión. Y podemos definir extrusión como “el proceso que consiste en dar forma a un producto, forzándolo a través de una abertura con diseño específico”. Se trata de un proceso continuo que involucra el trabajo y la compresión para formar una masa semisólida, que abarca una serie de operaciones unitarias que se combinan entre sí: mezclado, amasado, cizallamiento, calentamiento, enfriamiento, conformación, texturización y deshidratación de alimentos. [4]

CAPÍTULO I

ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA

1.1. PROBLEMÁTICA

El sector alimenticio se enfoca en la obtención de productos comestibles a través de los sembríos en los campos de producción Lambayecanos, este proceso es el sembrío de arroz, el cual abarca gran parte de litoral peruano, por ende, se requieren industrias las cuales apliquen proceso para la obtención del producto final.

El producto ingresado a las grandes piladoras, el cual es el arroz en cáscara pasa un proceso de descascarado, pulido y clasificado, en esta línea de procesos el grano de arroz tiende a ser trizado o quebrado, la ruptura que sufre el grano es inevitable, por consecuente se ha creado una línea de arroz quebrado o arroz ñelen.

Este grano de arroz ñelen, va dirigido a consumo animal y un porcentaje a consumo humano, con la diferencia que es vendido a menor precio, es por ello que se plantea el diseño de una máquina extrusora, la cual tendrá la finalidad de convertir el polvo de arroz ñelen en un grano entero de arroz añadiendo vitaminas y nutrientes para un mayor poder alimenticio.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general

- Diseño de una extrusora moldeadora de grano entero de arroz vitaminado a partir de arroz partido ñelen en la región Lambayeque.

1.1.2. Objetivos específicos

- Describir el funcionamiento operacional de una extrusora usada en el proceso de moldeo de arroz.
- Identificar los parámetros de funcionamiento en la extrusora para arroz fortificado.
- Diseño y Modelado de la máquina extrusora usando el software CAD/CAE SolidWorks.
- Realizar un análisis estático a las partes más importantes que componen el extrusor.
- Elaboración de costos del proyecto.

1.1.3. Justificación

Social: Socialmente serán beneficiados los consumidores, ya que la producción de arroz vitaminado reemplazará el consumo de arroz ñelen y generará mayor consumo del cereal con nutrientes añadidos por el fabricante.

Económico: Los costos de los materiales a utilizar serán de fácil acceso, ya que será desmontable y contará con piezas que podrán ser encontradas en el mercado nacional.

Ambiental: Se prevé que la máquina no emitirá ningún tipo de contaminante, ya que el proceso se realizará de forma encapsulada, el cual contendrá los gases que pueda emitir la extrusora al momento de generar el producto final.

Tecnológico: Se utilizará como medio tecnológico el software CAD/CAE SolidWorks para el diseño y la simulación respectiva, con el fin de garantizar el proceso de extrusión. Además, la extrusora contará con un proceso mejorado de mezclado, el cuál mejorará la forma del grano de arroz.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

II. Marco teórico

2.1. Antecedentes

- a) **Título:** REDISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD Y LA EFICIENCIA DE LA PRODUCCIÓN DE CEREAL DE ARROZ RECUBIERTO CON CHOCOLATE

Autor (es): Douglas Alexander Sicajá Aldi

Localidad: Guatemala

Año: 2010

Correlación: Según Douglas Sicajá en su trabajo de investigación; rediseño del sistema de control para mejorar la productividad y eficiencia en la producción de arroz recubierto con chocolate; puede aportar varios beneficios clave en el estudio proyecto elaborado, como:

- **Automatización de Procesos:** Implementar tecnologías automatizadas para el monitoreo y control de la producción, lo que reduce el error humano y mejora la consistencia del producto.
- **Optimización de Recursos:** Mejorar la gestión de insumos (arroz, chocolate, etc.) para minimizar desperdicios y costos, garantizando que cada etapa del proceso esté bien coordinada.
- **Monitoreo en Tiempo Real:** Integrar sistemas que permitan el seguimiento en tiempo real de la producción, facilitando la identificación de cuellos de botella y áreas que requieren ajustes inmediatos.
- **Mejora en la Calidad:** Establecer controles de calidad más rigurosos durante el proceso de producción para asegurar que el producto final cumpla con los estándares deseados.
- **Capacitación del Personal:** Incluir programas de formación que permitan al personal adaptarse a los nuevos sistemas y tecnologías implementadas, mejorando así la eficiencia operativa.

- **Sostenibilidad:** Considerar el uso de prácticas y materiales sostenibles en el proceso de producción, lo que puede mejorar la imagen de la marca y reducir el impacto ambiental.
- **Feedback del Cliente:** Incorporar mecanismos para recibir retroalimentación de los clientes, lo que puede guiar mejoras en el producto y en el proceso.

b) **Título:** EVALUACIÓN DEL DISEÑO DE LA EXTRUSORA PROTOTIPO EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN QUINUA (CHENOPODIUM QUINOA WILLD) DE LA EMPRESA FOODS PERÚ ANDINOS S.R.L.

Autor (es): Angela Margot Ccora Huaman y Miguel Angel De La Cruz Jorge.

Editorial: Universidad Continental

Año: 2019

Correlación: Según Miguel en su trabajo de investigación; La evaluación del diseño de la extrusora prototipo para la extrusión de quinua puede ofrecer valiosas lecciones y aportes al diseño de una extrusora de arroz fortificado. Algunos de los principales aportes incluyen:

1. **Optimización de Parámetros de Proceso:** La identificación de los parámetros óptimos de temperatura, presión y tiempo de extrusión en la producción de quinua puede aplicarse a la extrusión de arroz, mejorando la calidad del producto final.
2. **Diseño de Tornillos y Geometría:** Las lecciones sobre la geometría del tornillo y la configuración del canal pueden ayudar a diseñar una extrusora que maximice la eficiencia del transporte y mezcla de los ingredientes del arroz fortificado.
3. **Control de Humedad:** La experiencia en el manejo de la humedad durante la extrusión de quinua puede ser crucial para el diseño de sistemas que controlen la hidratación del arroz y sus fortificantes, asegurando una extrusión adecuada.
4. **Calidad del Producto:** La evaluación de texturas y propiedades nutricionales en el proceso de quinua puede guiar el desarrollo de métodos de control de calidad que aseguren que el arroz fortificado cumpla con los estándares deseados.

Título: Evaluación de los porcentajes de arroz ñelen, pallar y algarroba en la formulación de un complemento alimenticio extruido para preescolares

Autor (es): Capuñay Lluén Karen Gianella y Rojas Colichón Paola Nataly

Localidad: Lambayeque

Año: 2020

Correlación: Según la siguiente investigación de Capuñay Lluén; la evaluación de los porcentajes de arroz ñelen, pallar y algarroba en la formulación de un complemento alimenticio extruido para preescolares aporta varios indicadores importantes para el diseño de una máquina extrusora de arroz fortificado, tales como:

- **Composición de Ingredientes:** Los datos sobre las proporciones óptimas de cada ingrediente pueden guiar el diseño de la extrusora para asegurar una mezcla uniforme y efectiva durante el proceso de extrusión.
- **Reología de la Mezcla:** Comprender cómo interactúan los diferentes ingredientes (arroz, pallar y algarroba) en términos de viscosidad y flujo puede influir en la geometría del tornillo y el diseño del sistema de alimentación de la extrusora.
- **Condiciones de Extrusión:** La evaluación de cómo cada ingrediente afecta la temperatura y presión durante la extrusión puede ayudar a definir los parámetros óptimos para el funcionamiento de la máquina, garantizando la calidad del producto final.

c) **Título:** FUNDAMENTALS OF EXTRUSION PROCESSING

Autor (es): Chetan Sharma

Localidad: New Zealand

Año: 2017

Correlación: Según Chetan Sharma analiza en la presente investigación; El texto "Fundamentals of Extrusion Processing" aporta varios principios clave que pueden ser claves para la elaboración de una máquina extrusora para arroz vitaminado, entre ellos tenemos:

- **Diseño del Tornillo (husillo):** El diseño del tornillo es crucial, ya que determina la mezcla y el transporte de los ingredientes. Un tornillo con una geometría adecuada

puede mejorar la homogeneidad de la mezcla y facilitar la incorporación de vitaminas y minerales.

- **Control de Temperatura:** La extrusión requiere un control preciso de la temperatura para evitar la degradación de las vitaminas. La máquina debe contar con sistemas de calentamiento que mantengan temperaturas óptimas durante el proceso.
- **Presión y Tiempo de Residencia:** La presión dentro de la extrusora y el tiempo que los ingredientes pasan en la zona de cocción son factores críticos. Estos deben ser ajustables para optimizar la gelatinización del almidón y la incorporación de nutrientes.
- **Sistema de Alimentación:** Un diseño eficiente del sistema de alimentación es esencial para asegurar que los ingredientes fluyan de manera uniforme hacia el tornillo. Esto es especialmente importante cuando se trabaja con ingredientes fortificados.

Título: PROTOTIPO DE EXTRUSOR PARA QUINUA

Autor (es): Eddy Quiroz Sillo

Localidad: Bolivia

Año: 2012

Correlación: En el siguiente trabajo de investigación muestra el "Prototipo de Extrusor para Quinua" puede ofrecer aportes valiosos que se asemejan al diseño de una extrusora de arroz fortificado, entre los aportes más relevantes tenemos:

- **Geometría del Tornillo (mono husillo):** Tanto en el prototipo de quinua como en una extrusora de arroz, la forma y el diseño del tornillo son cruciales para asegurar una mezcla homogénea y un transporte eficiente de los ingredientes. La configuración del tornillo puede adaptarse para optimizar el flujo de arroz y fortificantes.
- **Control de Temperatura y Presión:** En ambos casos, mantener temperaturas y presiones adecuadas es vital para evitar la degradación de nutrientes. El diseño del sistema de calefacción y control debe ser similar para garantizar resultados óptimos al momento de realizar el proceso de extrusión.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Diseño ingenieril:

Shigley menciona que el diseño es un plan de satisfacción o una necesidad para resolver un problema, dicho plan radica en la creación de un elemento, el cual debe cumplir con todas las características planteadas en el diseño, entre estas características resaltan: la funcionalidad, seguridad, confiabilidad, competitividad y la utilidad del diseño. [5]

2.2.2. Propiedades mecánicas de los metales

2.2.2.1. Torsión

Según [6] la torsión mecánica es una acción de cizalladura pura, en la cual las fuerzas de torsión se accionan a lo largo de un eje longitudinal, generando una deformación en relación a los extremos del miembro estructural, un ejemplo de su aplicación serían; las brocas, ejes de motores, entre otros.

2.2.2.2. Ductilidad

Según [6] la ductilidad es una propiedad mecánica, en la cual se denota el estado de la deformación plástica que puede soportar hasta la fractura. Un componente o material que experimenta en menor o mayor porcentaje la deformación plástica se denomina frágil. En la siguiente imagen se detalla a través de un gráfico el diagrama de tensión – deformación.

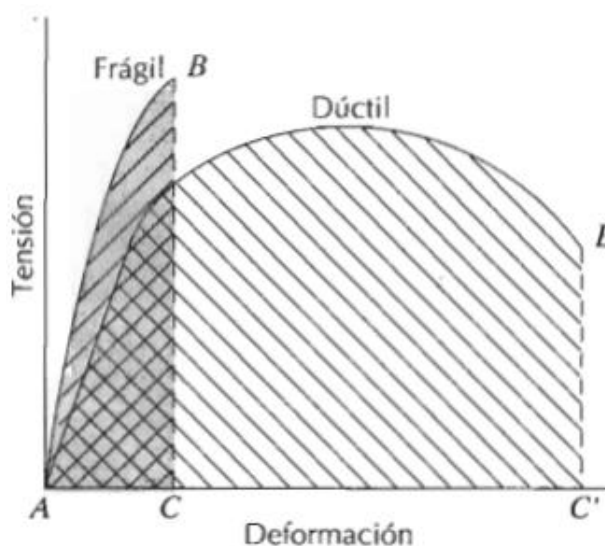


Figura 1 - Curva deformación – Tensión

Fuente: Ciencia en Ingeniería de los materiales

2.2.2.3.Dureza

La dureza es otra propiedad mecánica muy importante que se debe considerar, ya que, es la medida que ejerce un material a la resistencia de la deformación plástica localizada, esto se puede observar en alguna abolladura de algún elemento mecánico. Las medidas o estudios de dureza no siempre tienen los mismos factores, ya que se tienen diversas técnicas aplicadas para el desarrollo de estas. [6]

2.2.2.4.Factor de diseño y seguridad

El factor de diseño y factor de seguridad, vistas de manera general son denominados como método clásico de diseño, en la cual se denota la siguiente ecuación:

$$n_d = \frac{\text{Parámetro de pérdida de función}}{\text{Parámetro máximo permisible}}$$

2.2.3. Proceso de extrusión:

La extrusión es un proceso que combina múltiples operaciones unitarias como mezclar, hornear, amasar y moldear. El objetivo principal de la extrusión es ampliar los tipos de alimentos que componen la dieta, y elaborar alimentos de diferentes formas, texturas y colores a partir de ingredientes básicos; como la harina instantánea de los alimentos a extruir.

Consiste en comprimir materia prima hasta conseguir una masa semisólida, que después se pasa por una abertura, la cual permite obtener variedad de texturas y productos. La extrusión puede servir para dar forma y en ocasiones cocinar ingredientes crudos y convertirlos en producto terminado.

La extrusión también controla la cantidad de humedad a la cual se requiere el insumo terminado y logra su duración, ya que evita la propagación de bacterias que perjudique al consumidor. En el proceso de extrusión, la comida se procesa y calienta mediante una variedad de fuentes de calor, incluida la energía disipada por fricción al girar un tornillo o al inyectar vapor directamente en toda la cámara. La temperatura del producto excede la temperatura de ebullición normal, pero debido a la alta presión, no se produce la evaporación. A medida que los ingredientes alimentarios pasan a través de la extrusora, se transforman de gránulos en aglomerados continuos. Esta transformación se llama cocción e implica la descomposición de los gránulos de almidón, la desnaturalización de las moléculas de proteína y otras reacciones que pueden cambiar las propiedades nutricionales, de textura y sensoriales del producto final. [7]

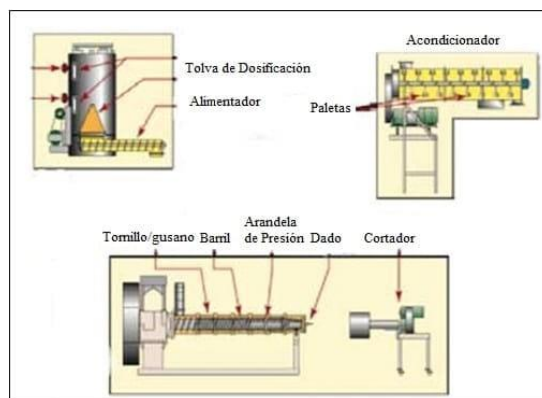


Figura 2 - Proceso de extrusión

Fuente: Engormix - Balanceados

La cocción por extrusión es un método especial y único en el procesamiento de materiales de almidón porque la humedad de la cocción por extrusión es relativamente baja en comparación con el horneado o cocción tradicional de masa y pasta. El nivel de humedad normal usado está en el rango de 10% a 40%, aunque estos valores de humedad son muy bajos, el material aún se convertirá en fluido en la extrusora. En estas condiciones, las propiedades físicas de la materia prima (como el tamaño de partícula, la dureza y el grado de plastificación alcanzado durante el proceso de extrusión) juegan un papel decisivo en la conversión final del material. [7]

2.3. Clasificación de extrusores

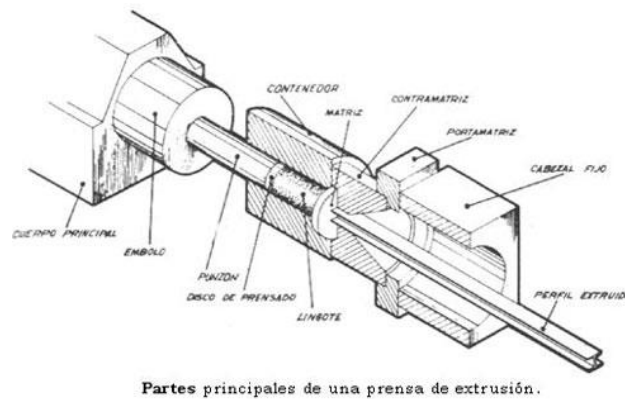
2.3.1. Según su funcionamiento

2.3.1.1. Extrusores en caliente. - En estas extrusoras, los alimentos se calientan al entrar en contacto con las paredes del cilindro o barril que rodea el tornillo de la extrusora, en algunos de ellos el cilindro calentado por resistencias eléctricas, pero parte de la El calor también proviene de la fricción que genera el tornillo en los relieves internos del cilindro. [8]



Figura 3 - Extrusora en caliente
[7]

2.3.1.2. Extrusores en frío. - En este tipo de extrusora se extruye el alimento sin cocción ni expansión, en estas máquinas el material se somete al mínimo rozamiento de los tornillos; lo que a su vez rotan en un tubo de superficie lisa. [8]



Partes principales de una prensa de extrusión.

Figura 4 - Extrusora en frío [7]

2.4. Según el uso para la industria alimentaria:

2.4.1. Extrusor de un solo tornillo. – Es el tipo de extrusor que usa la fuerza de fricción contra la superficie del barril para mantener de manera continua el flujo de la materia a extruir, esto se compensa entre flujo viscoso y presión. [9]

El extrusor de mono husillo está compuesto por un tornillo sin fin giratorio en un barril de metal, el cual consta de patrones variables, las principales características de diseño se muestran en la Figura 5. Los tornillos simples más comunes cuentan con un paso constante y suelen constar con tres secciones: (1) alimentación, (2) transición o compresión y (3) medición. La materia prima se dosifica de manera granular por medio de la tolva de recepción, la acción de movimiento generada por el tornillo sin fin transporta el material a la sección de transición, en la cual recibe compactación por esfuerzo mecánico y por ende se incrementa la temperatura del material, este proceso logra que el material se vuelva más cohesivo y pueda recibir la forma final, la cual será generada por la abertura de la matriz o cabezal. [10]

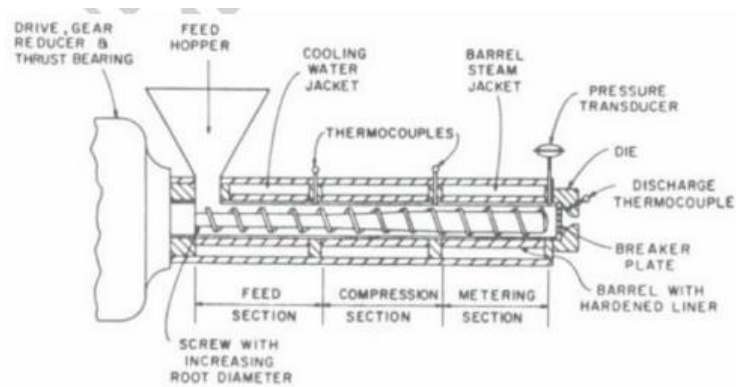


Figura 5 - Diagrama esquemático de una extrusora de alimentos de un solo tornillo

Fuente: Harper JM (1998) Extrusión de alimentos, vol. 1

Las características de una extrusora de un solo tornillo son generalmente la relación entre la longitud y el diámetro (L / D) y la relación de compresión, es decir, la relación entre la profundidad máxima del canal y la profundidad mínima del canal. La relación de compresión más utilizada es de 3 a 1. La capacidad de producción (flujo másico) de una extrusora de un solo tornillo está relacionada con la velocidad del tornillo, la geometría del tornillo y las características del material.

Las extrusoras de un solo husillo se pueden caracterizar además en función del grado de cizallamiento aplicado. La Tabla 2 muestra cómo clasificar las extrusoras de un solo tornillo según la capacidad de corte y las variables operativas relacionadas. La cantidad de cizallamiento aplicada da como resultado diferentes características del producto. Los altos niveles de cizallamiento pueden hacer que las moléculas de almidón y proteínas se descompongan, afectando sus funciones, como la solubilidad, la viscosidad y la capacidad de retención de agua. Actualmente, aproximadamente el 70% de las extrusoras de la industria alimentaria son del tipo de un solo tornillo.

2.4.2. Tipos de extrusoras de un solo tornillo.

✓ **Extrusoras de conformado en frío (tipo pasta)**

Entre las máquinas extrusoras de un solo husillo, tenemos a la extrusora de pasta, la cual es una extrusora que se usa normalmente para formar masa de alta humedad (> 22% en peso) en varios tipos o formas de pasta o productos similares a la pasta. Básicamente consiste en amasar la masa para obtener una masa uniforme y mezclar en un molde, sin añadir energía térmica externa. La extrusora de conformado en frío tiene un barril liso sin calor, rosca de tornillo profunda, la velocidad de corte es de aproximadamente 4-5 por segundo, el diámetro del tornillo (D / H) a la altura de la rosca es de 3-4, tornillo de baja velocidad (30-60 rpm). [11]

✓ **Extrusoras formadoras de alta presión**

La máquina extrusora formadora de alta presión es una máquina de bajo cizallamiento con un cilindro ranurado y un compresor de tornillo. Por lo general, se utiliza para comprimir, dar forma y extruir cereales pregelatinizados y otras masas a través de una matriz de forma especial para hacer pellets para su posterior secado. Y inflados o fritos. La altura del tornillo (D / H) de este tipo de extrusora es de 4,5, la velocidad de corte es de 10 / seg y la humedad del producto es del 25%. Se utilizan para producir cereales listos para el consumo, pellets y snacks de segunda generación. [11]

✓ **Extrusoras de cocción de alto cizallamiento**

Los sistemas de extrusión de alto cizallamiento operan a velocidades de tornillo más altas (> 300 rpm), temperatura del cilindro (110 -180 ° C), presión del cañón (4000 - 17000 kPa) con vuelos poco profundos y superficies de cañón ranuradas. El barril es más largo con el fin de aumentar el tiempo de residencia y el exceso de calor se elimina mediante enfriamiento. La relación de diámetro con respecto a la altura de vuelo (D / H) es de 7, la relación entre longitud del cañón a diámetro (L / D) es de 2 - 15 y velocidad de corte en el tornillo de 165 m / seg. El producto final suele estar menos expandido y requiere un paso de secado final. Utilizado para preparar cereales para el desayuno, snacks expandidos, proteína vegetal texturizada (TVP) y alimentos secos para mascotas. [11]

✓ **Extrusoras de cocción de bajo cizallamiento**

Es una máquina la cual se comporta como una caldera continua, utilizada para las masas de alta humedad. Generalmente, las extrusoras de bajo cizallamiento incluyen superficies lisas de cilindro, roscas profundas, canales de flujo de presión relativamente grandes y un tornillo de baja velocidad (>100 rpm). El producto cocido se puede procesar posteriormente extrayendo la humedad con el fin de lograr la humedad deseada contenido en el producto final. Este tipo de extrusora tiene un diámetro de tornillo a una altura de vuelo (D/H) de 7 a 15, una relación de longitud a diámetro (L/D) de 5 - 22, velocidad de corte en el tornillo de 20 a 100 segundos. Los alimentos blandos y húmedos, almidones, bases de sopa y bocadillos a base de carne como la cecina simulada se preparan utilizando extrusoras de cizalla. Los productos preparados con extrusoras de bajo cizallamiento tienen mayor densidad, humedad del producto y menor temperatura del producto. [11]

✓ **Extrusoras de pinzas**

La máquina extrusora de pinzas es una máquina de alto cizallamiento, de cañón corto y con múltiples vuelos, esto sirve para hacer bocadillos inflados. La fuente de calor con la cual opera la máquina está relacionada a la fuerza mecánica que se dispersa por efecto de la compresión de la materia prima.

Generalmente los alimentos de baja humedad (11-16%) incrementan la temperatura, logrando que el almidón se gelatinice y se deshidrate, luego de este proceso, la materia prima pierde humedad a la salida del troquel o molde, y logra una textura crujiente. Este tipo de máquina estuvo compuesto inicialmente por un tornillo extremadamente corto (relación L/D=3), pero se incrementó a una relación de 10 con el fin de aumentar el calor que se emite a través de la fuerza mecánica del extrusor y modificar los valores del diámetro del tornillo con relación a la altura con un valor de 9, la velocidad 140 m/seg y la humedad del producto final es de 3-5%. [11]

2.5. Extrusora de doble husillo o tornillos gemelos

Como sugiere su nombre, constan de dos tornillos gemelos. Según la dirección relativa de la rotación del husillo, se dividen en tornillos que giran en la misma dirección y los tornillos que giran en la dirección opuesta. Normalmente, los tornillos que giran en la dirección opuesta operan una bomba de desplazamiento positivo gracias a una cámara cerrada en forma de C que es formada por los dos tornillos, la cual brinda la alimentación hasta el extremo del troquel y evita que el material pase de un tornillo a otro. Sin embargo, esto también disminuye el grado de mezcla y la distribución del tiempo de residencia, de modo que se aproxima al flujo pistón. El engrane de los tornillos y su perfil de presión determinan velocidades de tornillo bastante bajas y, en consecuencia, velocidades de corte pequeñas. Esto quiere decir que las máquinas extrusoras de doble husillo son mayormente utilizadas en materiales sensibles a la temperatura, los cuales requieren un procesamiento uniforme a velocidades reducidas y son particularmente útiles para elementos con baja viscosidad y se aplican para la producción de dulce de regaliz.

En las máquinas extrusoras de tornillos gemelos que giran en el mismo sentido, no se forman cámaras cerradas y los giros que hacen los tornillos generan cavidades, las cuales permiten que el material que fluye a través de ellos, se mueva de un tornillo al otro. En consecuencia, no se genera una presión tangencial uniforme y por ende se origina una presión mayor con respecto al otro tornillo y son determinados como tornillos que forman canales axialmente abiertos. Allí no hay puntos de presión localizados, los pequeños espacios entre los tornillos dan a los tornillos una acción de autolimpieza. Tienen un menor grado de acción conductora positiva y mejores capacidades de mezcla.

[11]

Los tornillos que giran en la misma dirección pueden funcionar a velocidades más altas en comparación con las extrusoras de rotación contraria y, por lo tanto, son adecuados para el proceso de cocción por extrusión de alto cizallamiento. En conjunto, se considera que las extrusoras co-rotativas son las más utilizadas para los fabricantes que producen una variedad de productos. Sus buenas características de mezcla, velocidades de tornillo y velocidades de producción aceptables han hecho que los tornillos dobles sean una opción popular para las industrias de cereales para el desayuno y snacks.

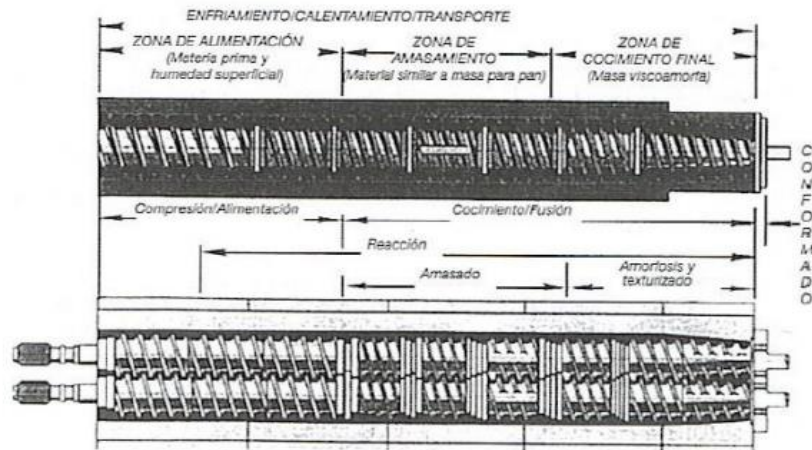


Figura 6 - Cortes de un extrusor monohusillo y uno de tornillos gemelos

Fuente: Sharma 2003

En la figura 6 se muestran los tornillos gemelos y el movimiento que generan, el cual es un movimiento en forma de 8 y se pueden clasificar en contra rotativas y corrotativas.

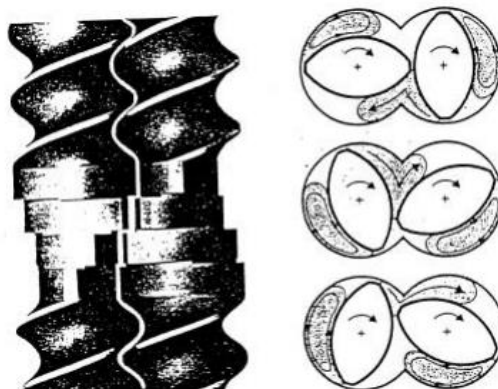


Figura 7 - Perfil de ajuste y movimiento del material [10]

Se determina la relación que existe entre ambos tornillos según su función de posición y se nombra como entrelazado y no entrelazado, entre los siguientes tenemos:

- ✓ Co-rotativo entrelazado
- ✓ Co-rotativo sin engranar
- ✓ Entrelazado contrarrotante
- ✓ Contra rotación sin engranar

Las máquinas extrusoras de doble tornillo co-rotativas, encajables y autolimpiantes vienen a ser las más utilizadas en la industria alimentaria entre todos los diseños de extrusoras

disponibles. En la máquina extrusora de tornillo entrelazado, el vuelo de uno de los tornillos se acopla o entra en los canales del otro tornillo, lo que da como resultado una acción de bombeo positiva, mezcla y autolimpieza.

Las máquinas extrusoras co-giratorias son particularmente adecuadas cuando se requiere un alto grado de transferencia de calor mecánica pero no transporte forzado y, por lo tanto, se utilizan para la producción de productos expandidos. [11]

El mecanismo de flujo en las extrusoras de doble tornillo es una combinación de accionamiento y desplazamiento positivo. Una variedad de los elementos del tornillo y elementos de amasado disponibles son los que mejoran la capacidad y la mezcla dependiendo de la elección y compresión de los elementos del tornillo, el grosor y el ángulo del disco desplazado.

Las extrusoras co-rotativas sin engranajes se utilizan principalmente en productos crudos de baja viscosidad. Por otro lado, las contrarrotaciones completamente entrelazadas son particularmente adecuadas para la industria del caucho o del plástico debido a la capacidad de generar una presión alta con una alta capacidad de ventilación al nivel de las salidas de aire. Ejemplos de productos adecuados para este tipo de goma de mascar extrusora, gelatina y caramelos, Por el contrario, las extrusoras de tornillo sin engranajes son como dos extrusoras de un solo tornillo colocadas una al lado de la otra con solo una pequeña parte del cilindro en común. [11]

2.5.1. Las extrusoras de doble husillo tienen las siguientes ventajas:

- El rendimiento que genera la máquina de doble husillo es independiente de la velocidad de alimentación, mientras que en las extrusoras de un solo tornillo el barril debe estar lleno de material para operar de manera continua.
- La variedad y el grosor de los bloques de amasado, como mono lobe, bilobe con escalonamiento variable también depende del ángulo, ya que ayuda a mezclar (distributivo o dispersivo) y amasar la masa de manera eficiente.
- Las fluctuaciones en la tasa de producción se pueden acomodar mediante la acción de desplazamiento positivo de los contactos entre los tornillos.
- Las máquinas extrusoras con tornillos gemelos pueden manejar de manera eficiente los alimentos que contengan más grasa, con porcentajes entre (20-25%), pegajosa

o azucarada (40%) y húmeda materiales (45-50%) mientras que sufren en el proceso en un solo tornillo. Esto proporciona una mayor flexibilidad en operación para uso de ingredientes y formulación de productos alimenticios.

- En estas máquinas se pueden usar elementos de transporte hacia adelante o hacia atrás con diferentes pasos para controlar la presión y relleno de barril dentro de la extrusora. Las gomas de regaliz y frutas podrían procesarse mediante la acción combinada de transporte hacia adelante y hacia atrás para generar presión y ventilar la humedad respectivamente.
- La máquina de doble husillo consta de una sección de descarga corta, la cual desarrolla la presión requerida para la extrusión y, por lo tanto, somete a un menor desgaste de la máquina que en las extrusoras de un solo tornillo.
- Se puede usar una mezcla de tamaños de partículas, desde polvos finos hasta



granos, mientras que un solo tornillo es limitado a un rango específico de tamaños de partículas granulares. [11]

Figura 8 - Tornillos gemelos [11]

2.6. Ventajas del proceso de extrusión en general

- ✓ Bajo costo de procesamiento
- ✓ Tecnología simple
- ✓ Mínimo deterioro de nutrientes de los alimentos en el proceso
- ✓ Eficiente utilización de la energía

2.7. Aplicaciones de la extrusión

La extrusión se aplica en la industria con el fin de convertir insumos en otros que sirvan para el consumo, entre ellos tenemos:

2.7.1. Alimentos para consumo Humano:

Muchos alimentos destinados al consumo humano, precocinados preformados, se producen ahora en extrusoras de alimentos. Cereales listos para consumir,

snacks expandidos, sustitutos del empanizado, sopas, harina de soja y proteína vegetal texturizada. Todos son ejemplos de alimentos procesados por extrusión.

Agencias estatales convocan anualmente el proceso de licitación pública nacional para adquirir preparación de alimentos instantáneos, con el objetivo de complementar el grave problema nutricional que presentan los sectores más pobres del país. [8] Entre las tecnologías utilizadas para la producción de alimentos, tenemos:

- ✓ Alimentos para bebé
- ✓ Rebozadores y coberturas
- ✓ Sopas instantáneas
- ✓ Sustitutos de carne
- ✓ Snacks
- ✓ Cereales
- ✓ Almidones modificados
- ✓ Pastas
- ✓ Galletas

2.7.2. Alimentos para el consumo animal:

El alimento para animales y / o mascotas tiene las primeras aplicaciones que se han realizado en la cocina. Hoy en día existe una variedad de productos para mascotas de textura húmeda, textura seca y semihúmeda. El proceso de extrusión de ingredientes de alimentos para animales aumenta la capacidad nutricional y de los granos proteicos y las semillas oleaginosas. Además, la cocción-extrusión destruye el desarrollo de inhibidores y microorganismos termosensibles y así produce un alimento nutricionalmente estable. [8] Entre ellos tenemos:

- ✓ Alimentos para cerdos, rumiantes, aves, entre otros.
- ✓ Legumbres precocidas
- ✓ Alimentos balanceados

2.7.3. Uso industrial:

Estos productos incluyen el proceso mecánico, con el fin de generar productos diferentes entre ellos tenemos: [8]

- ✓ Almidones gelatinizados utilizados en adhesivos
- ✓ Pegamentos para papel tapiz
- ✓ Adhesivos
- ✓ Industria del papel
- ✓ Industria textil
- ✓ Perforación de pozos de petróleo
- ✓ Fundiciones metalúrgicas

Asimismo, se trata de una actividad compatible con otras aplicaciones de mejora de los productos existentes (sensoriales, nutricionales, estabilidad, etc.) o con productos generados con nuevos ingredientes mediante el proceso de extrusión.

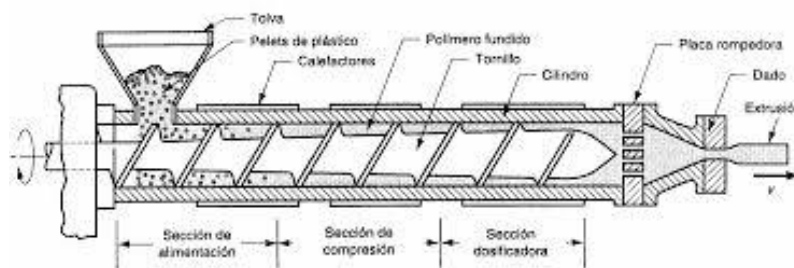


Figura 9 - Extrusor de un Husillo [7]

2.8. Partes de un extrusor:

2.8.1. Tolva

La tolva es el elemento más simple pero no menos importante de la extrusora, la capacidad de almacenamiento de material debe ser el suficiente para lograr una alimentación constante en el proceso de extrusión, con el fin de trabajar de manera ininterrumpida. Uno de los elementos de seguridad que conforman la estructura de la tolva, es una trampa magnética, la cual atrae las partículas metálicas que se hayan incorporado en la mezcla y por ende causar daños al tornillo o barril. [7]

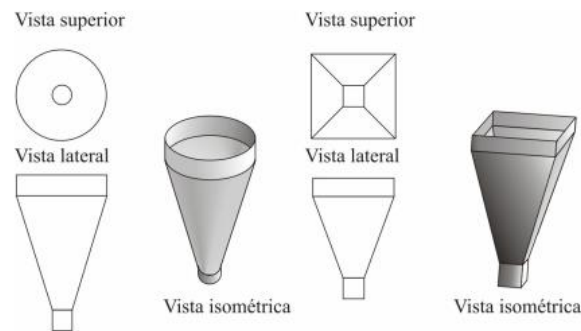


Figura 10 - Tolva de recepción de materia prima [6]

2.8.2. Pre acondicionador

Es el elemento de la máquina en el cual se realiza una mezcla de manera continua por medio de un eje compuesto de palas mezcladoras, en esta etapa se realiza la mezcla de la materia prima con distintos componentes que añade el fabricante, ya sea agua, vapor, aceites, vitaminas, etc. [7]

2.8.3. Cilindro o barril de extrusión

El cilindro es un componente de la extrusora con diseño hueco, por el se transporta la materia prima por medio del tornillo sin fin. Su capa interior y externa está compuesta por un gran espesor, con el fin de soportar las grandes presiones que se genera con la materia prima a extruir. En su parte inicial está compuesta por un orificio por el cual se añade la materia prima por medio del pre acondicionador de manera continua para ininterrumpir el proceso de extrusión. [7]

2.8.4. Husillo de extrusión:

El husillo de extrusión es simplemente un tornillo de Arquímedes con un extremo acoplado a un motor, el cual gira a una velocidad angular determinada previamente durante el proceso extrusión. El tornillo tiene canales separados por cuchillas para cortar y empujar el flujo. Sus formas y diseños son muy diferentes, dependiendo del producto a procesar. [7]

2.9. Zonas del Husillo

La configuración geométrica del husillo depende fundamentalmente del producto a transformar, en este caso arroz fortificado, la siguiente figura muestra las zonas por la cual la materia prima hace su recorrido hasta el producto final. [9]

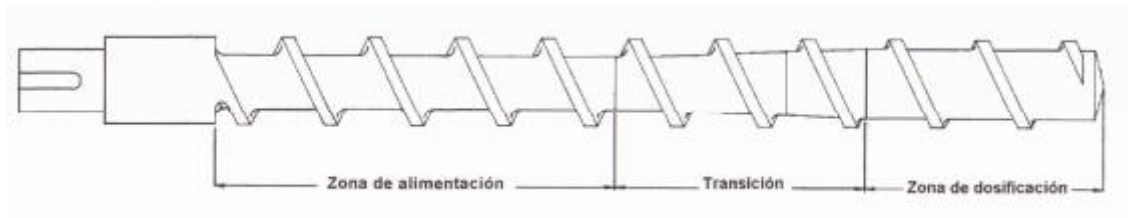


Figura 11 - Zonas del Husillo [8]

2.10. Funciones de una extrusora

- ✓ **Aglomeración.** - Los insumos se aglomeran y compactan por medio de la extrusión.
- ✓ **Deshidratación.** - En el proceso de extrusión se genera una pérdida de humedad del 4 a 5%.
- ✓ **Mezclado.** - En el proceso, los insumos pasan por rodillos que mezclan los insumos de acuerdo al fabricante.
- ✓ **Moldeado.** - Es el proceso en el cual se le puede asignar un formato deseado al producto al final del cañón extrusor.
- ✓ **Cocción Térmica.** - Este efecto se logra en el proceso con el fin de compactar el insumo final.

Tabla 1 - Características de funcionamiento de las extrusoras de un solo tornillo

Variable operativa	Bajo cizallamiento extrusora formadora	Cizalla moderada extrusora de cocción	Alto cizallamiento extrusora de cocción
Humedad de alimentación % wb	25-35	20-30	12-20
Temperatura Máxima del producto °C.	50-80	125-175	150-200
Presión máxima del cilindro (Kg/cm ²) (KPa)	6-63 588-6178	21-42 2059-4119	42-84 4119-8238
Relación L/D	5-8	10-20	4-12
Relación D/Altura del canal	3-4.5	5-10	7-12
Índice de compresión	1:1	2-3:1	3-5:1
Velocidad del tornillo, rpm	3-4	10-25	30-45
Velocidad de corte, s	5-10	20-100	100-180
Entrada neta de energía mecánica. kW-h /kg	0.03-0.04	0.02-0.04	0.10-0.14
Transferencia de calor a través del barril de chaquetas kW-h/kg	-0.01	0.0-0.03	-0.03-0.0
Velocidad del tornillo (rpm)	Menor que 100	Mayor que 100	Mayor que 100
Inyección de vapor kW-h/kg	0.0	0.0-0.04	0.0
Entrada neta de energía al producto kW-h/kg	0.02-0.03	0.02-0.11	0.07-0.14
Tipos de productos	Macarrones, RTE gránulos de cereales, snacks.	Alimentos para mascotas, bases para sopas, proteína vegetal, cereales de desayuno.	Almidón inflado, alimentos secos para mascotas, almidón modificado.

Fuente: Harper JM (1992). Un análisis comparativo de extrusoras de uno y dos tornillos

Tabla 2 - Características de funcionamiento de las extrusoras de esfuerzo cortante alto

Parámetros de extrusor	Valor
Extrusor rpm	300-400
Temperatura del cilindro del extrusor °C	120-160
Presión del cilindro del extrusor atmósferas	70-150
Caudal de alimentación de la harina de maíz seca Kg/h	450
Humedad añadida dentro del extrusor Kg/h	13
Humedad del producto extruido CHBH	8-10 %
Densidad aparente del producto extruido g/L	48-64

Fuente: Harper JM (1992)

2.11. Datos de producción del arroz

Según el INEI para el año 2018 la producción de arroz cáscara registró una producción de 379659 toneladas y se incrementó en un 55.6% en comparación al año anterior, ya que se vio afectada por el fenómeno del niño.

Lambayeque, San Martín y Piura han sido las regiones más importantes, las cuales favorecieron esta mejora en la producción de granos de arroz, al obtener uno de los productos más importantes de la canasta familiar. Actualmente, estas regiones cultivan los almácigos, con La Libertad y Tumbes. En este sentido, se espera que puedan atender la demanda nacional, informa el presidente de la Asociación Peruana de Productores de Arroz, Saúl Núñez Montenegro. El arroz con cáscara ha sido el principal cultivo que apoyó el crecimiento del sector en 2020, registrando más de 3 026,000 toneladas producidas durante los diez meses del año. Ello ha permitido que tenga un importante dinamismo. Sin embargo, la crisis sanitaria ha perjudicado a los agricultores, haciendo que el coste de producción por hectárea sea casi un% mayor de lo que era. Incluso, se reportaron decesos que perjudicaron las cosechas. Para este 2021 se estima una producción de 385000 toneladas por mes ya que se asegura los 70 kilos de consumo per cápita en el país.

2.12. Software SolidWorks

SolidWorks es un software tipo CAD, de diseño mecánico, que utilizando un escenario gráfico apoyado en Microsoft Windows permite de forma intuitiva y rápida la creación de Modelos sólidos en 3D, Ensamblajes y Dibujos. Se basa en el modelado paramétrico, reduciendo el esfuerzo necesario en modificar y crear variantes en el diseño, ya que las cotas y relaciones usadas para realizar operaciones se almacenan en el modelo.

SolidWorks, proporciona un software de diseño de fácil uso y poderosas herramientas para los ingenieros y diseñadores, permitiéndoles cubrir todo el proceso (crear, validar, comunicar y gestionar) de desarrollo de producto, asegurándose de que este es correcto antes de fabricarlo. De esta manera es posible conseguir costes de fabricación más bajos y acelerar la introducción de productos en el mercado debido a la mejora en el flujo de información y comunicación del diseño de estos en toda la empresa, además de entre sus proveedores y clientes.

2.13. HIPÓTESIS

➤ **Formulación del problema**

¿En qué medida una extrusora podría moldear granos enteros de arroz vitaminado a partir de arroz ñelen en la región Lambayeque?

➤ **Formulación de la hipótesis**

Si se diseña una extrusora para arroz partido ñelen, este grano puede ser moldeado a grano entero vitaminado.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3. TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente estudio rige las condiciones metodológicas dirigidas a la investigación aplicada, ya que se aplican los conocimientos adquiridos en la rama de ciencias de la ingeniería mecánica y eléctrica, con el fin de involucrar todos los conocimientos en este diseño.

3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación del presente proyecto esta avocada al estudio descriptivo y aplicado a evaluar los parámetros y principios que conlleva el diseño mecánico.

3.3. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1. MÉTODOS

Para el presente proyecto se utilizará un método analítico, en el cual se tomarán como base las cargas que pueden generar el accionamiento del motor que será el encargado de poner en marcha a la extrusora.

Mediante la recopilación de datos se determinará la cantidad de materia prima que generan las piladoras de Lambayeque, con el fin de dimensionar las partes de la máquina y diseñarla acorde a la necesidad del cliente. Las piezas de ensamblaje se encontrarán fácilmente en el mercado nacional y regional.

Se utilizará como medio tecnológico el software CAD/CAE SolidWorks para el diseño y la simulación respectiva, garantizando el proceso de arroz vitaminado y por consiguiente reducir la línea de arroz ñelen.

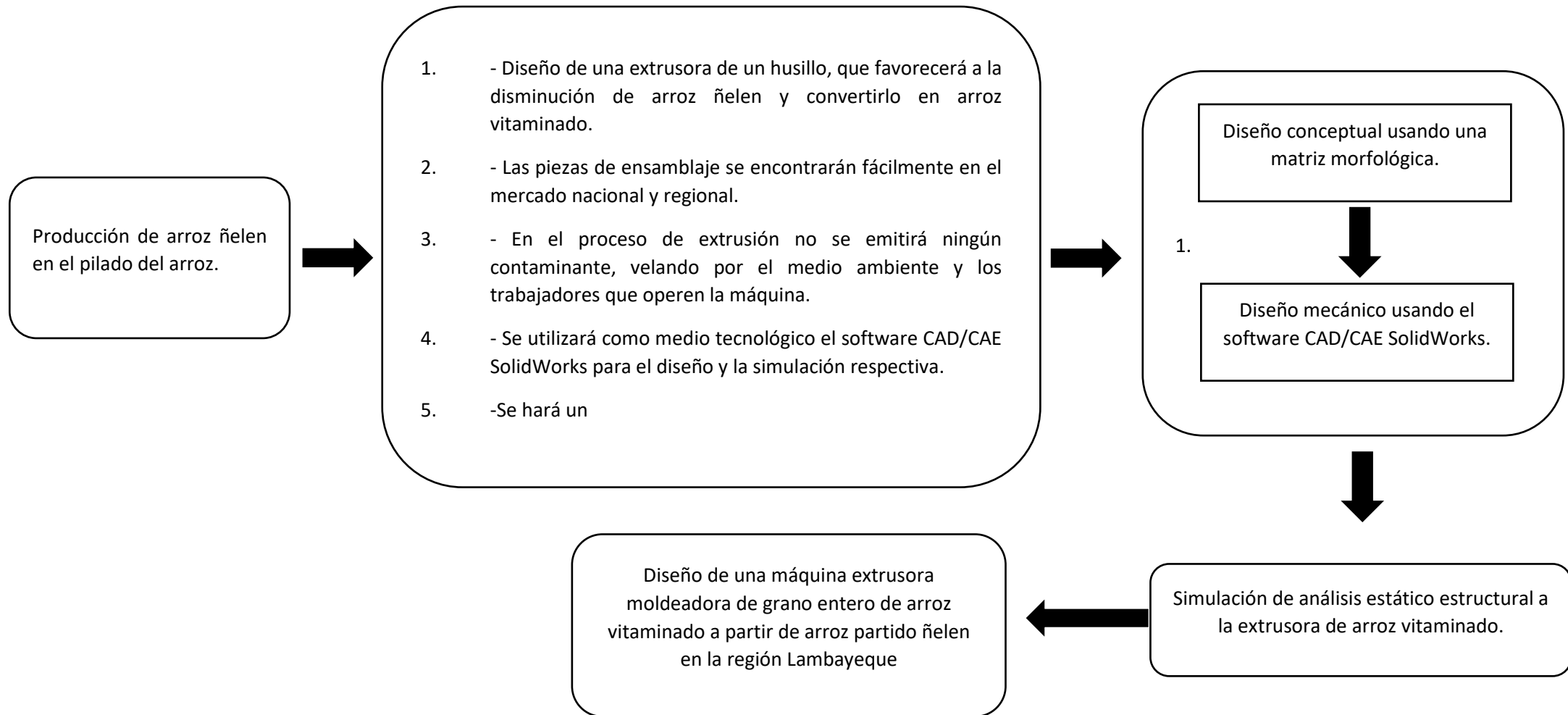
Al culminar el diseño se realizará una evaluación económica con el fin de analizar la viabilidad del diseño y su producción.

3.3.2. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

El procedimiento que seguirá la investigación está denotado por objetivos, los cuales serán analizados en el estudio del diseño mecánico

3.3.3. METODOLOGÍA DEL DISEÑO

DISEÑO DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA MOLDEADORA DE GRANO ENTERO DE ARROZ VITAMINADO A PARTIR DE ARROZ PARTIDO ÑELEN EN LA REGIÓN LAMBAYEQUE



3.3.4. MATRIZ DE CONSISTENCIA

Tabla 3 - Matriz de consistencia

Diseño de una máquina extrusora moldeadora de grano entero de arroz vitaminado a partir de arroz partido ñelen en la región Lambayeque			
PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGIA
¿EN QUE MEDIDA UNA EXTRUSORA PODRÍA MOLDEAR GRANOS ENTEROS DE ARROZ VITAMINADO A PARTIR DE ARROZ ÑELEN EN LA REGIÓN LAMBAYEQUE?	GENERAL		
	Diseño de una máquina extrusora moldeadora de grano entero de arroz vitaminado a partir de arroz partido ñelen en la región Lambayeque	VARIABLE INDEPENDIENTE Diseño de una extrusora en el proceso de la elaboración de arroz vitaminado	DISEÑO DE INVESTIGACION Tipo aplicada-correlacional con utilización del software CAD/CAE SolidWorks.
	ESPECIFICO	INDICADORES Diseño Análisis Estático	TECNICA DE RECOLECCION DE DATOS. En este proyecto de investigación se usará data de la producción de arroz de distintos molinos de Lambayeque.
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Describir el funcionamiento operacional de una extrusora usada en el proceso de moldeado de arroz 2. Identificar los parámetros de funcionamiento en la extrusora para arroz fortificado 3. Diseño y Modelado de la máquina extrusora usando el software CAD/CAE SolidWorks 4. Realizar un análisis estático a las partes más importantes que componen el extrusor. 5. Elaboración de costos del proyecto. 	VARIABLE DEPENDIENTE Reemplazar el consumo de arroz ñelen por arroz fortificado.	POBLACION Y MUESTRA La unidad de estudio es la máquina extrusora.
	HIPÓTESIS		INDICADORES Componentes Materiales Costo
	Si se diseña una extrusora para arroz partido ñelen, este grano puede ser moldeado a grano entero vitaminado.		

CAPÍTULO IV

DESARROLLO Y RESULTADOS

4. FUNCIONAMIENTO OPERACIONAL DE UNA EXTRUSORA USADA EN EL PROCESO DE MOLDEADO DE ARROZ

La deficiencia en cuanto a información brindada a cerca de las máquinas extrusoras es evidente, ya que no se encuentra tan libre al público estudiantil y en nuestro país es escasa, el mercado de producción de máquinas extrusoras se encuentra en su gran mayoría en países asiáticos, uno de los factores es la alta producción de cereales hacia el consumidor y por ende influye en la innovación e investigación de máquinas que conviertan las materias primas en distintos productos, una de ellas la máquina extrusora.

La máquina extrusora para alimentos sigue el mismo mecanismo de la máquina extrusora para polímeros sintéticos termoplásticos, con la diferencia que el polímero tiende a disminuir su propiedad de viscosidad en cuanto el producto esté fundido, mientras que los cereales sufren un proceso distinto, ya que la materia prima al ser fundida, incrementa considerablemente su propiedad de viscosidad, debido a las altas temperaturas que se generan por la fuerza mecánica generada al comprimir los cereales. Este proceso se denomina como el sistema de cocción de alta temperatura en corto tiempo.

El arroz es el cereal considerado alimento básico de las gastronomías mundiales, es considerado el segundo cereal más producido en el mundo, el proceso de obtención del grano de arroz sufre un proceso en el cual se tiende a desquebrajar el grano común y se obtiene un grano de $\frac{1}{4}$, el cual es considerado como arroz ñelen, este tipo de arroz será utilizado como materia prima, ya que recibirá un proceso de molienda, en el cual se transformará en harina de arroz, esta harina será ingresada a un extrusor de un husillo con el fin de transformarlo en un grano de arroz fortificado con nutrientes que solicite el fabricante. En un molino promedio la obtención de arroz ñelen es de 250 kilos/ 8 horas, por ende, da un valor de 7500 kilos al mes, esta materia prima será convertida en un arroz fortificado, a la cual se le añadirá vitaminas y nutrientes que el fabricante vea conveniente, a fin de mejorar el mercado nutricional de Lambayeque.

4.1. Programa de producción promedio

Tabla 4 - Producción promedio de arroz

Programa de producción	
Arroz Blanco (grano normal)	24000 ton/mes
Arroz Ñelen	75 ton/mes

Fuente: Elaboración propia

Los molinos que se encargan de la producción de arroz en Lambayeque, tienen un promedio de producción por mes como se muestra en la tabla 3.

4.1.1. Capacidad de producción

Tabla 5 - Capacidad de Producción

Capacidad de producción	Arroz blanco	Arroz ñelen	
Producción por hora	3	0,000625	Toneladas/H
Horas de jornada laboral	8	8	Horas
Producción por día	24	0.005	Toneladas/día
Jornada laboral por día	1	1	Jornada
Días trabajados al mes L-S	26	26	Días
Meses trabajados por año	12	12	Meses

Fuente: Elaboración propia

4.2. Proceso de producción de arroz

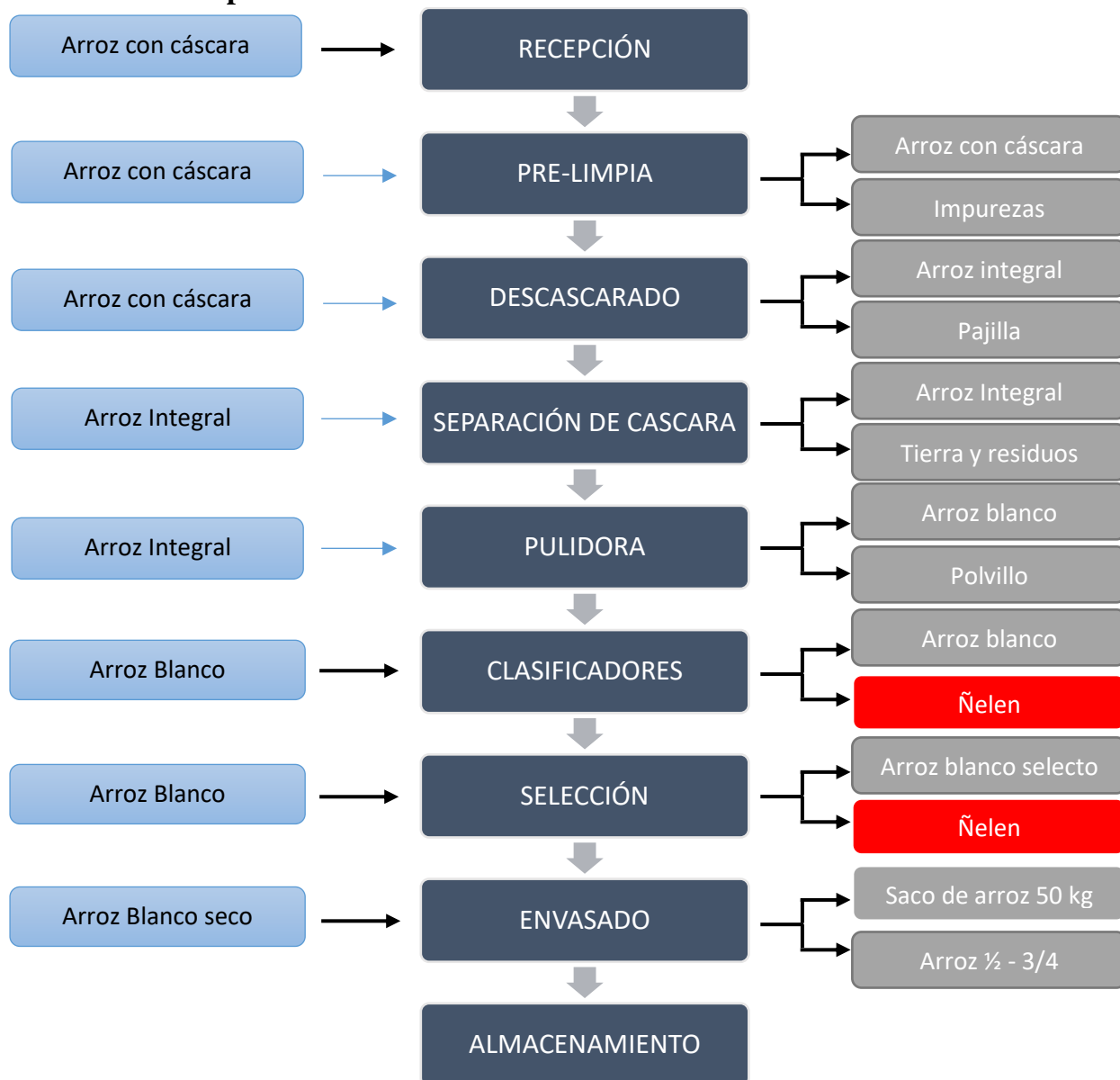


Figura 12 - Diagrama de flujo del proceso de pilado de arroz

En la figura 10 se describe el proceso de pilado que recibe el arroz cáscara, el cual es materia prima de ingreso en el proceso de la obtención de arroz, también se aprecia los granos de arroz que son descartados por el clasificador, los cuales son los granos de arroz ñelen o granos de $\frac{1}{4}$ del tamaño del grano común.

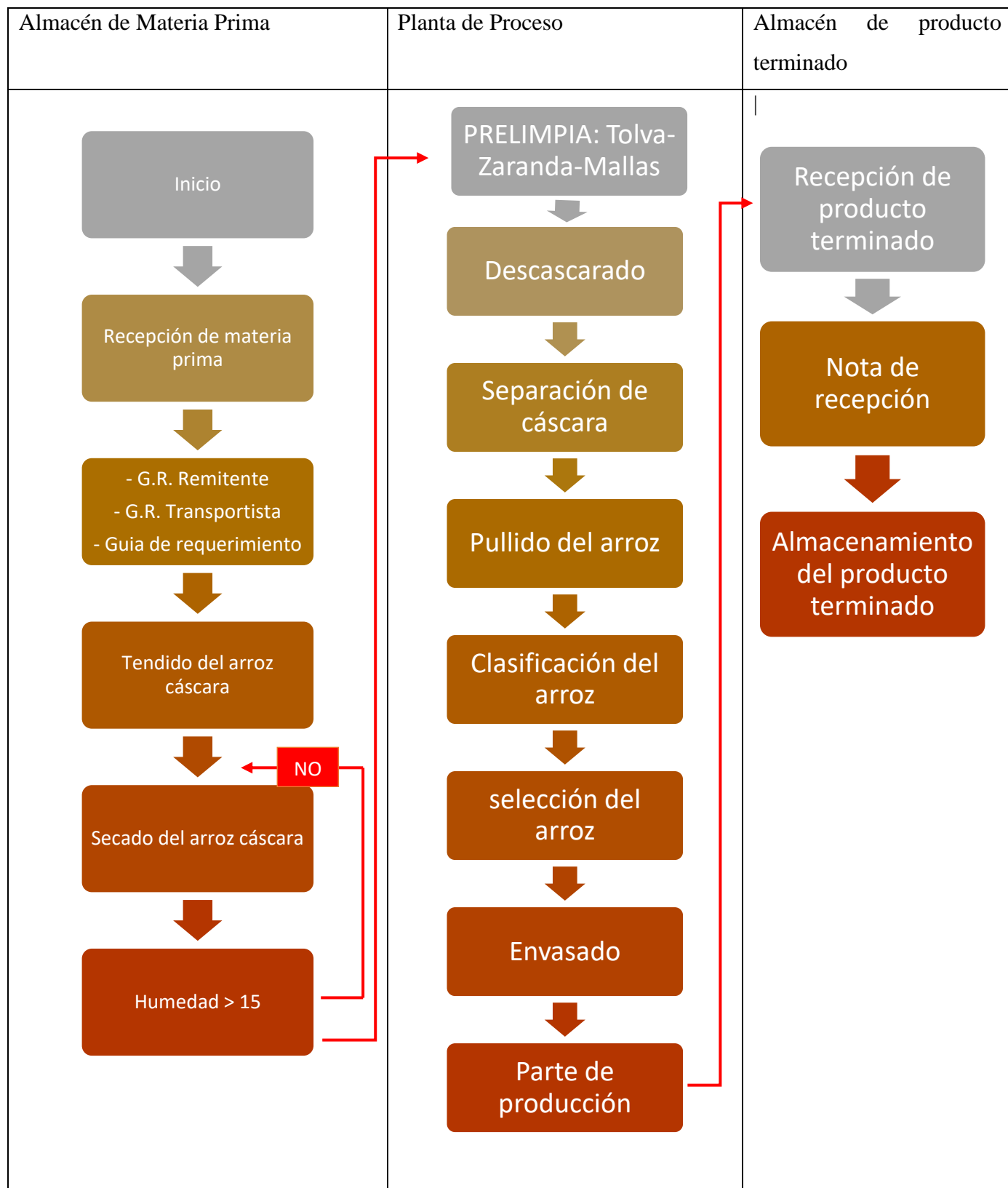


Figura 13 - Flujograma del área de producción

4.2.1. Flujograma de la elaboración de arroz fortificado

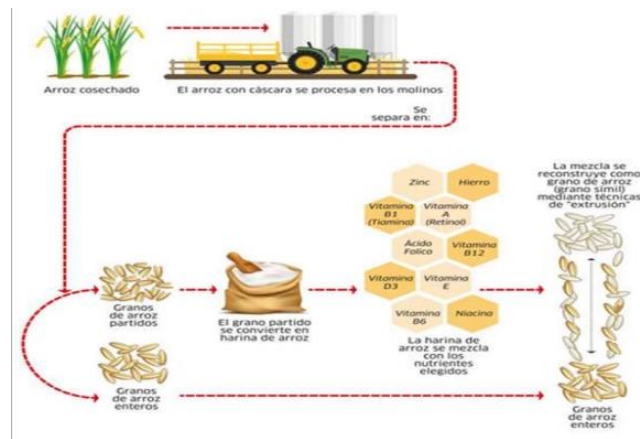


Figura 14 - Proceso de la elaboración de arroz vitaminado

En el proceso de producción del arroz fortificado sigue el siguiente proceso:

✓ **Recepción de la materia prima e insumos**

Los ingredientes que se encuentran en esta parte del proceso pueden ser: arroz, zinc, hierro, ácido fólico, entre otros.

✓ **Clasificación**

Los granos de arroz cosechados, pasan por una zaranda, la cual separa los granos enteros de los granos partidos.

La máquina extrusora para conformado de granos vitaminados usa granos quebrados que se generan en el pilado de arroz. Esta máquina sigue los siguientes procesos:

- **Molienda.** - El arroz quebrado ñelen, pasa por un proceso de molienda en el cual se convierte al grano quebrado en harina de arroz.
- **Acondicionador.** - Proceso en el cual se le añade los nutrientes que formaran al grano de arroz.
- **Extrusión.** - Paso semifinal, en el cual se comprime la masa previamente mezclada con nutrientes, con el fin de compactar la materia prima y lograr una fluidez uniforme en el cuerpo del extrusor, este proceso pasa por una cuchilla, la cual corta los granos en forma de grano entero vitaminado.
- **Almacenamiento.** – En este proceso los granos de arroz vitaminado son almacenados en tolvas, las cuales dosificarán a los empaques en distintas presentaciones.

4.2.2. Proceso de etapas de fortificación del arroz

La finalidad del arroz fortificado es la adición de nutrientes y vitaminas que sean esenciales para el consumo, esto se logra por el proceso de extrusión, el cual sigue la secuencia mostrada a continuación.



Figura 15 - Proceso de la obtención de arroz fortificado

Los granos de arroz fortificados, se forman usando una mezcla de agua y harina de arroz, esto generalmente se hace a partir de arroz molido de bajo costo y granos triturados no contaminados con el fin de formar una masa. La masa pasa por una extrusora para producir granos de arroz fortificados, que son visualmente similares al arroz no fortificado. Los micronutrientes se distribuyen uniformemente en el grano reforzado, y solo quedan unas pocas partículas en la superficie. Esto reduce la exposición al medio ambiente, reduciendo así la degradación de micronutrientes. Después de que se secan los granos fortificados extruidos, el contenido de humedad se reduce al 14% o menos, mientras se mejora su estabilidad de almacenamiento.

La cantidad de almidón gelatinizado en el cereal fortificado afecta el color, la textura y la estabilidad durante el remojo y la cocción. Esto se ve afectado por la temperatura y el consumo de agua durante el proceso de extrusión. En extrusión en frío (30 ° C-50 ° C), la masa se "forma" en partículas opacas reforzadas utilizando una prensa de masa. Esto requiere la adición de un aglutinante o un proceso de paso de ebullición posterior para producir un producto viscoso. La extrusión en caliente (60 ° C-80 ° C) también utiliza una prensa de fideos, pero agrega un preacondicionador de vapor o está equipada con un dispositivo de inyección de vapor para producir granos fortificados, que se ven más translúcidos y más como granos de arroz no fortificados. Se pueden usar emulsionantes, pero no se requieren aditivos adicionales.

La extrusión en caliente (80 ° C - 110 ° C) es mucho más fuerte y potente, aunque no es necesario, es mejor utilizar equipos más complejos. Puede incluir un preprocesador y puede depender de la doble extrusión para producir granos fortificados. Se pueden agregar emulsionantes (monoglicerina) para mantener la estabilidad de almacenamiento de los cereales fortificados. Los granos fortificados resultantes son muy similares a los diferentes

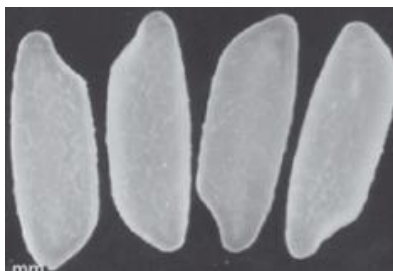
tipos de arroz, con diferentes grados de transparencia y textura. Los granos fortificados elaborados por extrusión en caliente o extrusión en caliente son similares al arroz no fortificado en términos de madurez, tiempo de cocción y dureza. Los frijoles extruidos en frío tienen una textura más suave. En la práctica, la mayoría de la producción de granos fortificados por extrusión en frío utiliza calor adicional para mejorar la dureza y la apariencia, por lo que se nombra como extrusión tibia.

Tipos de granos:

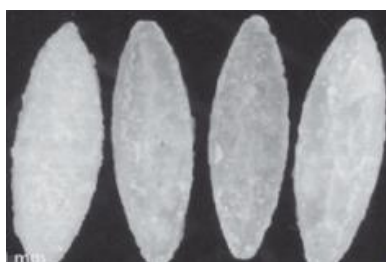
- Extrusión en frío:



- Extrusión tibia con proceso de pasta libre de gluten:



- Extrusión tibia con pre acondicionador:



En las imágenes mostradas se denota la forma del grano de arroz y como varía su geometría de acuerdo a los tipos de extrusión y los parámetros que influyen en el proceso, esta información es dispersa en cuanto al proceso general, ya que las variables influyentes varían según la materia prima.

4.3. IDENTIFICAR LOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO EN LA EXTRUSORA PARA ARROZ FORTIFICADO

A continuación, se muestra un cuadro de las variables que influyen en el proceso de extrusión de arroz fortificado.

Variables en el proceso de extrusión:

Tabla 6 - Variables más importantes que intervienen en el proceso de extrusión [12]

Variables independientes	Humedad
	Tipo y composición del material
	Intercambio de calor
	Temperatura
	Grado de alimentación
	RPM
Variables independientes del diseño	Geometría
	Cilindro
	Tornillo
	Molde
Respuestas	Presión
	Temperatura
	Caudal Másico
	E Mecánica
	Distribución de tiempo de Residencia
	Propiedades del producto

De acuerdo a la tabla anterior se define las siguientes variables influyentes en el proceso de la fortificación de arroz, por medio del proceso de extrusión:

- Humedad. – El grano de arroz en cáscara ingresa con un % de humedad de 23 %, este porcentaje se reduce en el proceso de obtención del grano de arroz, el cereal que se usa como materia prima viene a ser el grano de arroz ñelen, el cual después del proceso en la planta de pilado reduce su porcentaje de humedad a un 11,9 %.
- Tipo y composición del material. - La granulometría del cereal que será empleado como materia prima la determina el fabricante, ya que es un proceso previo al proceso de extrusión, también influye control de calidad, los cuales analizan los resultados en el estudio del grano símil de arroz.
- Intercambio de calor. - El intercambio del calor es parte del proceso en el secado de arroz, como primer paso el grano de arroz se inerva en torres de secado o puede ser reemplazado por secado artesanal; este proceso define el nivel de humedad con el cual seguirá el proceso.

En otra parte del proceso en la cual interviene la transferencia de calor, es en el proceso de extrusión, ya que sufre una compresión y por ende aumenta la temperatura en las partes de la camisa extrusora y por la propiedad de transferencia de calor, el calor obtenido se transfiere a las partículas de arroz, incrementando su calor hasta llegar al punto de una semi cocción.

- Temperatura. - La temperatura en el grano de arroz ñelen molido puede llegar hasta los 60° C o 70° C en el proceso de extrusión.
- Grado de alimentación. - En el grado de alimentación se designa una alimentación continua, a través de tornillos de Arquímedes, en este proyecto se añadió un helicoide, el cual también cumple la función de homogenizar la mezcla que ingresará a la camisa extrusora.

El análisis de la extrusora de un husillo en este caso fue dirigida al análisis de flujo que se somete la parte interna de la camisa o cilindro extrusor. La fuerza que se genera por la fricción o arrastre del material y la superficie interna del cilindro va en relación con la L/D de los extrusores, por ende, es conveniente incrementar esta relación, ya que, a mayor superficie de fricción, mejor es la propulsión de la materia a extruir.

Los conceptos vistos anteriormente sobre el tipo de mecanismo interno que constan la máquina extrusora de un husillo, tienen el fin de convertir distintas materias primas en productos diferentes, los cuales muestren en su composición un nuevo producto mejorado o distintos a los ya mostrados en el mercado.

Para este estudio se analizó que la máquina más óptima es la extrusora de un husillo, ya que va dirigida a materias primas con un grado de humedad relativamente bajo, la harina de arroz está compuesta por un 12,9 % de humedad, a esto se le añade la humedad que pueda contener las vitaminas y nutrientes en polvo, esto no sobrepasa el 20%, por ende de acuerdo a la tabla 1 se elige la máquina extrusora con bajo cizallamiento formador, la cual está especialmente diseñada para productos como: macarrones, gránulos de cereales (arroz fortificado), bocaditos, entre otros.

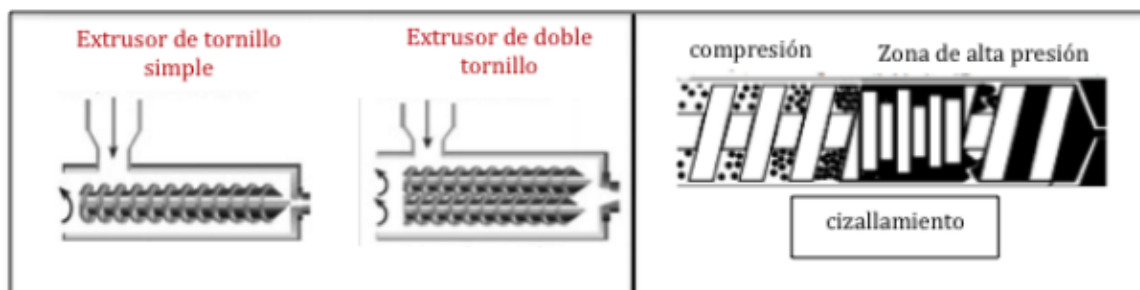


Figura 16 - Extrusores de tornillo simple y de doble tornillo

Fuente: Tornillo (Patil, Tiwari y Repka, 2016) y diagrama del desarrollo de las materias primas en el interior del mismo (Guy, 2003)

4.4. DISEÑO

4.4.1. Metodología del diseño

En la siguiente representación gráfica, se define los pasos a seguir para la identificación de las necesidades y expectativas del beneficiario por el diseño de la máquina.

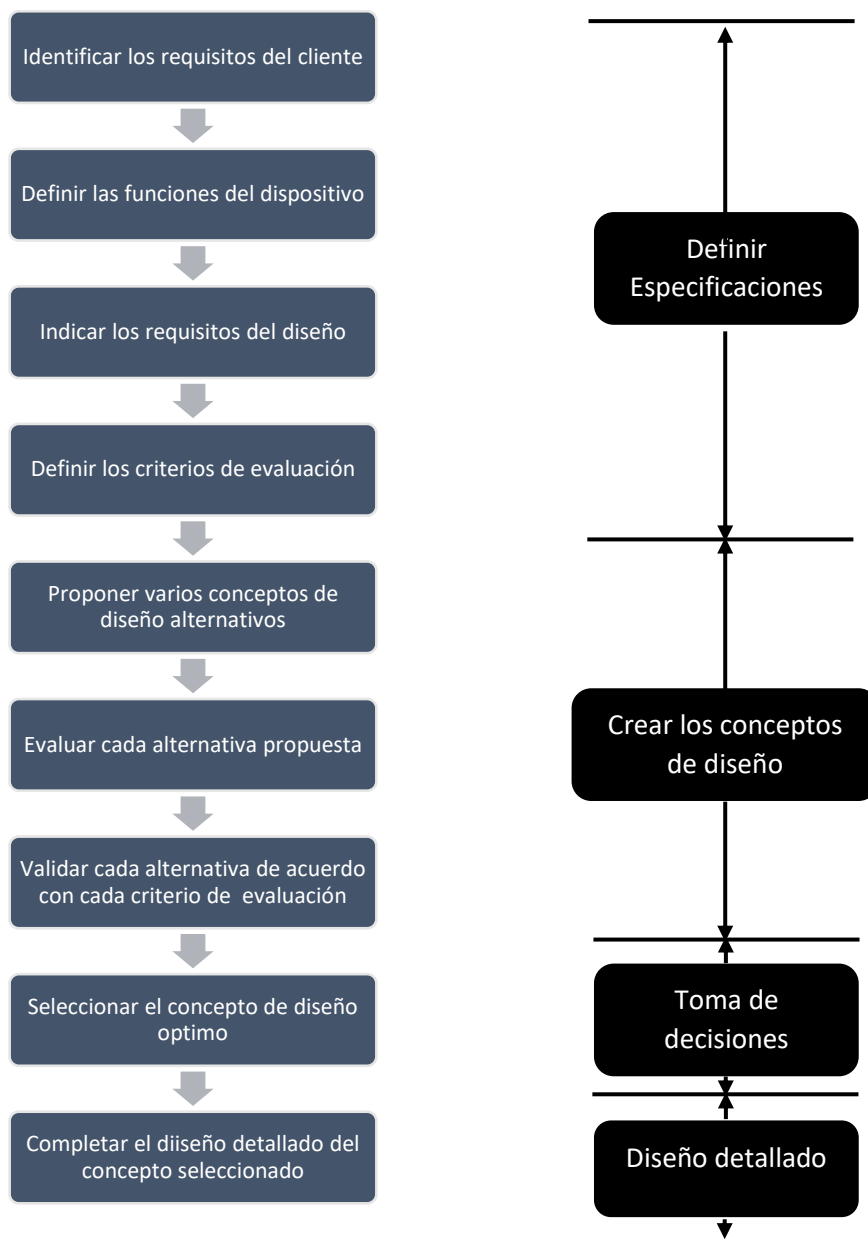


Figura 17 - Paso para el proceso del diseño

Fuente: Robert L. Mott, P.E. Diseño de Elementos de Máquinas. 4ª Ed. México 2006.

4.4.2. Identificar los requisitos del cliente

La máquina extrusora para arroz ñelen, debe contar con los siguientes requerimientos:

- La máquina realiza el proceso de extrusión, el cual convierte a la harina de arroz ñelen en granos de arroz fortificado, previamente añadido los nutrientes y vitaminas solicitados por el fabricante.
- El proceso de trabajo se realizará de manera continua.
- La potencia suministrada es recibida por un motor eléctrico.
- El abastecimiento de la materia prima debe ser constante, ya que el producto debe contar con el tamaño apropiado.
- El acondicionador dosificará de manera continua la materia prima, la cual será la harina de arroz ñelen.

4.4.3. Requisitos del diseño

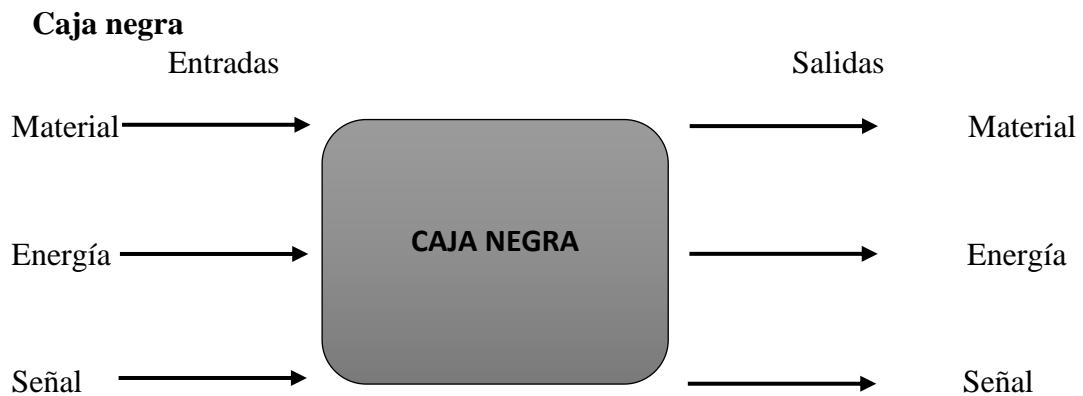


Figura 18 - Caja negra

Se definen las tres magnitudes que fueron tomadas en cuenta, las cuales son: Material, Energía y Señal.

Entradas:

- ✓ Material: Harina de arroz ñelen.
- ✓ Energía:
 - Energía humana para abastecer la tolva de recepción con la materia prima.
 - Energía Eléctrica para el accionamiento del motor.
- ✓ Señal: Inicio del proceso de extrusión generado por la máquina.

Salidas:

- ✓ Material: Grano de arroz fortificado.

- ✓ Energía:
 - Energía humana para la recepción del producto extruido.
 - Vibraciones, Calor y Ruido.
- ✓ Señal: Visualización del correcto funcionamiento de la máquina extrusora.

4.4.4. Funciones del dispositivo

En este apartado se buscan las funciones que realizará la máquina a diseñar, con el fin de concretar su función principal.

4.4.4.1. Características de funcionalidad

La máquina a diseñar debe cumplir con las siguientes funciones para un desempeño óptimo.

a) **Transmisión de potencia**

Medio por el cual se genera un torque para romper la inercia del sistema.

b) **Alimentación**

Suministro de la materia prima (Harina de arroz ñelen).

c) **Acondicionador**

Contenedor, el cual dosifica el ingreso de materia prima mezcladas con las vitaminas y nutrientes al tornillo sin fin.

d) **Extrusión**

Proceso en el cual se convierte la harina de arroz ñelen en un grano fortificado con vitaminas y nutrientes.

e) **Dado o molde**

Dispositivo en el cual se le da la forma del grano de arroz ya fortificado.

f) **Almacenamiento**

Recepción del arroz fortificado en recipientes, los cuales serán contenidos en sacos.

Funciones del dispositivo

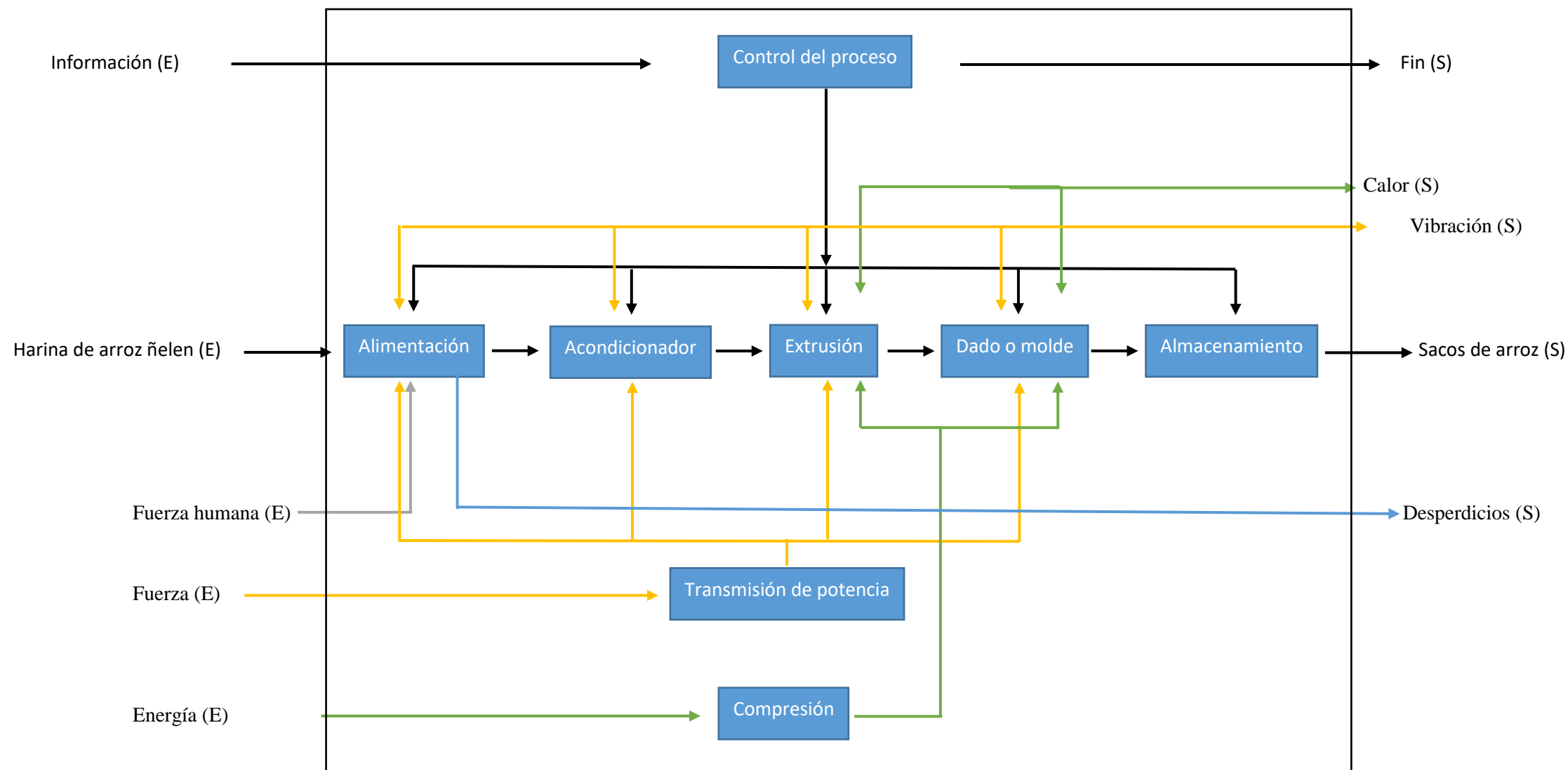


Figura 19 - Funciones del dispositivo

4.5. Criterios de evaluación

Las características cualitativas que se anhelan en un diseño son la principal ayuda para que el diseñador elija la opción de diseño más óptima. En esta investigación se consideró diez criterios de selección, los cuales influyen en la selección de una de las cinco alternativas. Como se menciona a continuación:

4.5.1. Operación

La máquina debe ser operada por cualquiera operario o persona que conforme la fábrica, su función es mostrar una forma continua en el proceso de extrusión del arroz vitaminado.

4.5.2. Diseño

Se debe tener en cuenta en cada solución la cantidad de partes que conforman la máquina extrusora.

4.5.3. Confiabilidad

Está dirigida a la eficiencia generada por la máquina, es decir que realice de manera óptima el proceso de extrusión, además de tener un perfecto funcionamiento y brindarle seguridad a la persona que maniobra la máquina.

4.5.4. Fabricación

La fabricación se pueda realizar en talleres locales, los cuales emplearan materiales del mercado nacional.

4.5.5. Seguridad

La máquina debe contar con protecciones y guardas respectivas, con el fin de que el operador no sufra daños.

4.5.6. Temperatura

La temperatura de las resistencias debe ser las óptimas para evitar una sobrecocción de la materia prima.

4.5.7. Montaje y desmontaje

Las uniones de los elementos mecánicos que conforman la máquina deben estar constituidos por piezas fáciles de montar y no requerir un desmontaje complejo.

4.5.8. Transporte

El transporte de las partes de la máquina debe ser trasladado por un vehículo motorizado.

4.5.9. Tamaño

El tamaño de la máquina debe regirse a la estatura promedio del operador peruano siendo de 1.60 m a 1.70, y también al área de ubicación de la máquina extrusora.

4.5.10. Mantenimiento

La máquina debe recibir el mantenimiento adecuado, con el fin de durar el tiempo estimado de diseño y garantizar el correcto funcionamiento, este mantenimiento puede ser realizado en cualquier taller industrial y además contar con repuestos del mercado nacional.

4.6. Matriz morfológica

En la presente investigación se presentará una de las formas gráficas para describir las posibles soluciones del diseño, esto va apoyado de una representación, la cual se designa como matriz morfológica de Zwicky. Por medio de este procedimiento se desarrollará un sistema de soluciones para el problema planteado, esto se representa por flechas del mismo tipo.

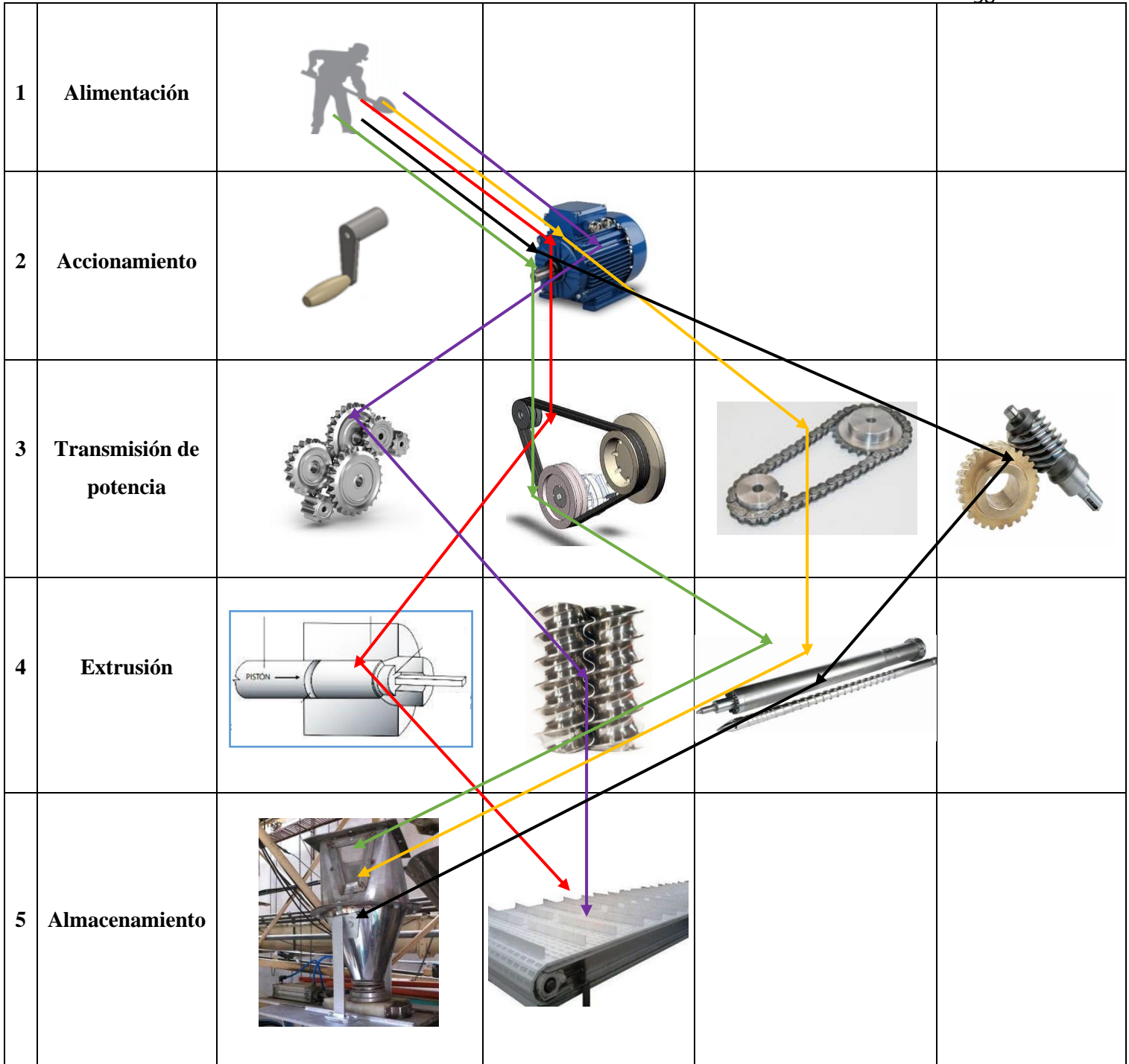







Figura 20 - Matriz Morfológica

Color de línea	Concepto de solución
	1
	2
	3
	4
	5

4.7. Disposición básica

Para cada una de las cinco soluciones obtenidas, la mejor solución elaborada por la matriz morfológica resultará ser una representación de un diseño diferente. Para cada medida de solución, se denomina concepto de solución, que es la primera aproximación al diseño final basado en la solución.

4.7.1. Concepto solución 1 (C.S.1)

La alimentación que recibirá la tolva principal será de forma manual, el accionamiento para vencer la inercia de la máquina será mediante un motor eléctrico, el cual transmitirá su potencia por medio de un tren de engranajes, los cuales incrementarán la velocidad o fuerza según requiera el proceso. El proceso de extrusión se realizará por el sistema de doble husillo, el cual transportará la materia prima hasta el proceso final de extrusión, esta parte final será almacenado en una banda transportadora, la cual transportará el producto final para el almacenamiento respectivo.

4.7.2. Concepto solución 2 (C.S.2)

La alimentación que recibirá la tolva principal será de forma manual, el accionamiento para vencer la inercia de la máquina será mediante un motor eléctrico, el cual transmitirá su potencia por medio de un sistema de transmisión flexible (cadena-piñón). El proceso de extrusión se realizará por el sistema de mono husillo, el cual transportará la materia prima hasta el proceso final de extrusión, esta parte final será almacenada en un dosificador, el cual almacenará el producto final en sacos de arroz.

4.7.3. Concepto solución 3 (C.S.3)

La alimentación que recibirá la tolva principal será de forma manual, el accionamiento para vencer la inercia de la máquina será mediante un motor eléctrico, el cual transmitirá su potencia por medio de un sistema de transmisión flexible (faja-polea). El proceso de extrusión se realizará por el sistema de pistón, el cual comprimirá la materia prima hasta el proceso final de extrusión, esta parte final será almacenado en una banda transportadora, la cual transportará el producto final para el almacenamiento respectivo.

4.7.4. Concepto solución 4 (C.S.4)

La alimentación que recibirá la tolva principal será de forma manual, el accionamiento para vencer la inercia de la máquina será mediante un motor eléctrico, el cual transmitirá su potencia por medio de un sistema de engranajes (sin fin-corona). El proceso de extrusión se realizará por el sistema de mono husillo, el cual transportará la materia prima hasta el proceso final de extrusión, esta parte final será almacenada en un dosificador, el cual almacenará el producto final en sacos.

4.7.5. Concepto solución 5 (C.S.5)

La alimentación que recibirá la tolva principal será de forma manual, el accionamiento para vencer la inercia de la máquina será mediante un motor eléctrico, el cual transmitirá su potencia por medio de un sistema de transmisión flexible (faja-polea). El proceso de extrusión se realizará por el sistema de mono husillo, el cual transportará la materia prima hasta el proceso final de extrusión, esta parte final será almacenada en un dosificador (tolva), el cual almacenará el producto final en sacos.

4.8. Metodología para seleccionar la posible solución

Se utilizará la siguiente tabla para evaluar los 5 tipos de soluciones, esto está regido a la necesidad del producto a elaborar y la elección más óptimo para el diseño de la maquina extrusora.

Tabla 7 – Evaluación técnica del concepto de solución

Nro.	Criterios técnicos y económicos	Soluciones				
		S.1	S.2	S.3	S.4	S.5
1	Costo de materiales	2	3	3	3	3
2	Función eficiente	3	1	2	1	4
3	Rapidez	1	3	2	3	3
4	Estabilidad	2	2	4	1	3
5	Confiabilidad	2	2	1	2	3
6	Facilidad de montaje	3	3	1	2	4
7	Facilidad de manufactura	1	2	1	1	4
	Suma total	14	16	15	13	24

Fuente: Elaboración propia

Puntaje para la calificación de los criterios de solución:

0 = No satisface

1 = Aceptable

2 = Suficiente

3 = Bien

4 = Muy bien (puntaje reservado para una elección ideal)

Para este apartado se seleccionó el concepto de solución número 5, el cual contiene partes de los tipos de soluciones mencionadas en la matriz morfológica de Zwicky, optando por la solución 5 para el diseño final de la máquina extrusora.

4.9. DISEÑO FINAL

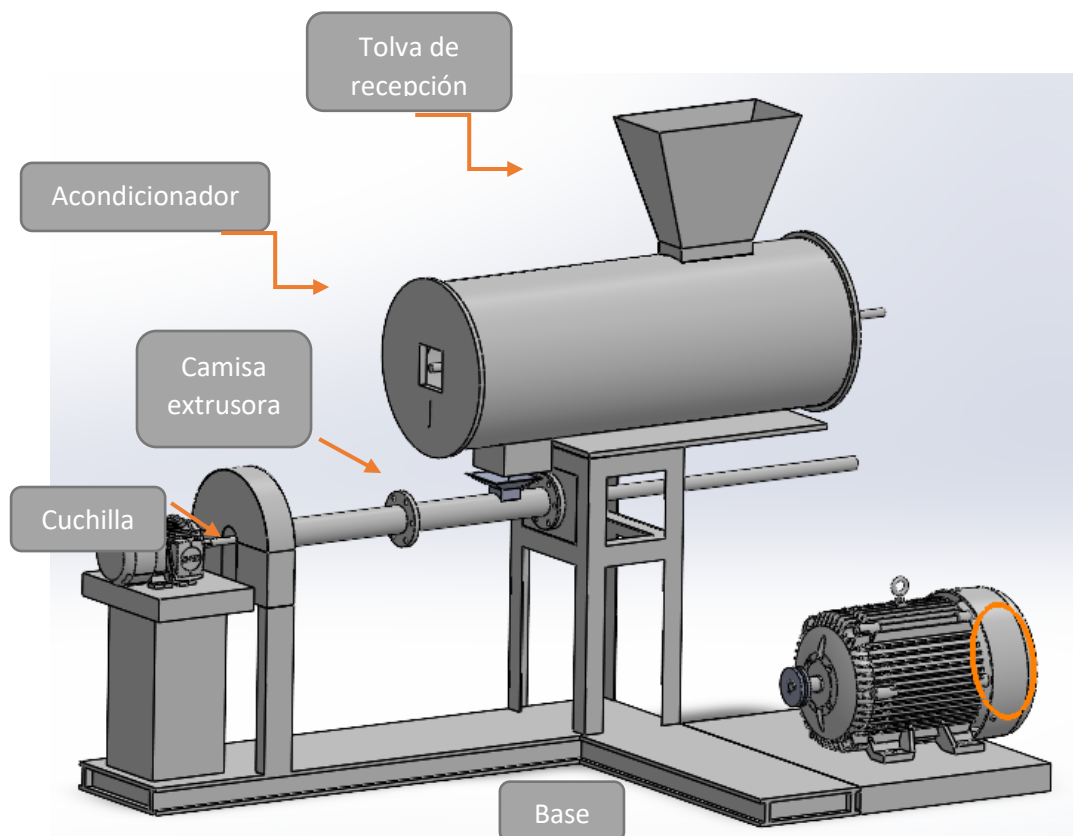


Figura 21 - Diseño final

Fuente: Software SolidWorks 2019

El diseño final se denominó de acuerdo a la matriz morfológica y fue el concepto de solución 5, en cual se muestra en la figura 10, las partes que las conforman son las siguientes:

- Tolva de recepción. – Parte de la máquina en la cual se añade la materia prima y los nutrientes que serán mezclados para la conformación del grano de arroz.
- Acondicionador. – Cilindro acondicionador que genera la mezcla de la materia prima en el cual se homogeniza los granos de arroz molido y nutrientes a través de un eje helicoidal y con paletas, las cuales transportan la harina de arroz y a la vez genera la mezcla hasta la tolva de recepción de la camisa extrusora.
- Camisa extrusora. – Componente de la máquina en la cual se genera la compresión de la materia prima, por medio del tornillo sin fin.
- Molde y cuchilla. – Parte final del proceso en la cual se comprime la materia prima hasta lograr la conformación del grano de arroz vitaminado y por una cuchilla giratoria se cortan al tamaño del molde diseñado.

4.10. Descripción de plano de corte de los componentes que conforman la máquina

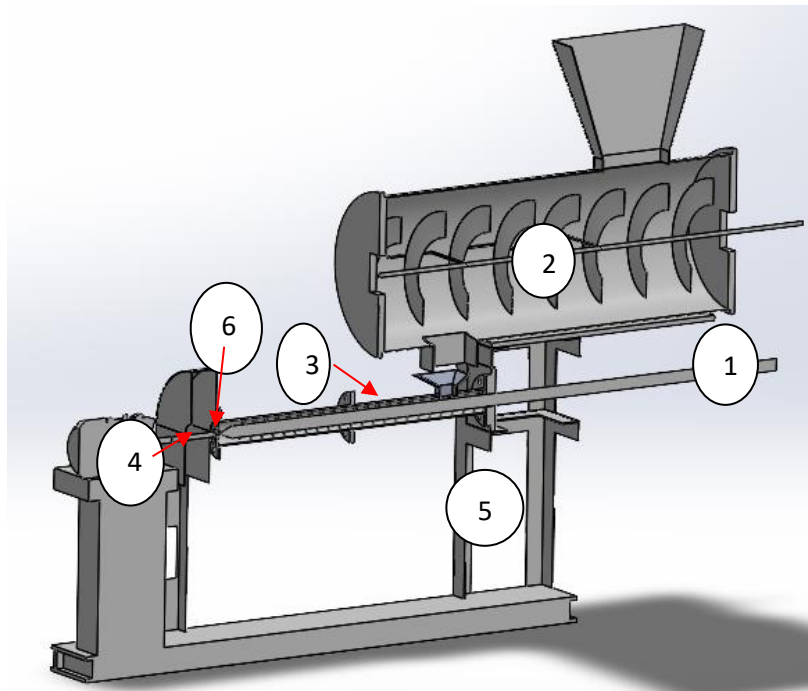


Figura 22 - Plano de corte de los componentes internos de la extrusora

Fuente: Software SolidWorks 2019

En la figura 22 se describe los componentes internos de la máquina extrusora, en la cual se denota las piezas internas que dan funcionamiento al mecanismo establecido por el diseño planteado.

1. Eje del tornillo sin fin. - Parte principal de la máquina, el cual se encarga de transmitir la potencia y comprimir la materia prima en la camisa extrusora.
2. Sin fin mezclador. – Mecanismo encargado de homogenizar la materia prima con los nutrientes y vitaminas añadidos en la tolva de recepción.
3. Camisa extrusora. - Parte de la máquina en la cual se genera la compresión del producto hasta desembocar en el molde o troquel que estará ubicado al otro extremo de la pieza.
4. Cuchilla cortadora. - Es la encargada de cortar los granos de arroz extruidos con la forma de un grano completo de arroz.

5. Estructura principal. - Componente encargado de soportar al acondicionador y la brida principal que sujeta a la camisa extrusora.
6. Molde. – Pieza encargada de dar forma al grano símil de arroz fortificado.

4.11. Elección de Materiales

4.11.1. Acero AISI – SAE 1045

Este tipo de material es un acero utilizado en condiciones donde la dureza y resistencia juegan un papel importante. Este tipo de material puede ser forjado con martillo, y su tratamiento térmico se genera por llama o inducción, otra de las propiedades es que presenta soldabilidad adecuada y es adecuado para este tipo de máquinas.

Tabla 8 - Ventajas y desventajas del acero AISI - SAE 1045

Ventajas	Desventajas
Resistente a los golpes	Es fácil de contaminar con otras sustancias
Soporta los cambios bruscos de temperatura	Presenta oxidación a elevadas temperaturas
Pueden aumentar sus propiedades con tratamientos térmicos	

Fuente: Propiedades mecánicas de materiales

4.11.2. Acero inoxidable

El acero inoxidable está compuesto por una aleación de hierro con un mínimo de 10% de cromo, esto hace que sea resistente a la corrosión, puesto que el cromo reacciona con el oxígeno, formando una capa con el fin de evitar la corrosión del hierro.

Tabla 9 - Ventajas y desventajas del Acero inoxidable

Ventajas	Desventajas
Tiene una alta resistencia a la corrosión	Su costo es muy elevado
Alta resistencia mecánica	Disponible en planchas, mas no a medidas
Es un material más higiénico	
Soporta altas y bajas temperaturas	
Es fácil de maniobrar	
Y cuida el medio ambiente, ya que es reciclable	

Fuente: Propiedades mecánicas de materiales

4.12. Cálculos Justificativos

Acondicionador:

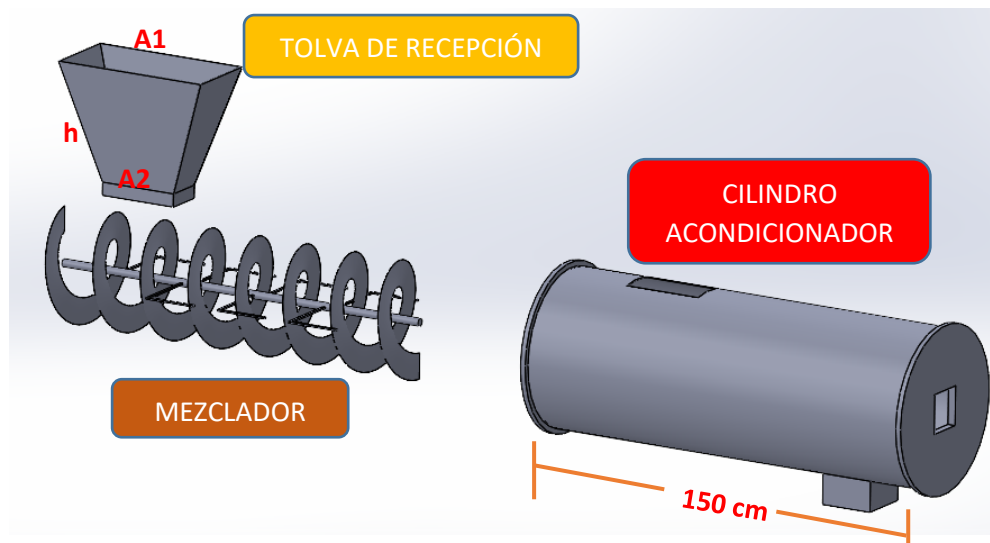


Figura 23 - Acondicionador y sus componentes

➤ Cálculo de la tolva de recepción

Para el cálculo de la capacidad volumétrica de la tolva rectangular se utilizó la siguiente ecuación:

$$Volumen = \frac{h}{3} (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 A_2}) + A_1 h$$

Tabla 10 - Dimensiones del mezclador

Parámetro	Medida
Altura (H)	50 cm
Área 1	2400 cm ²
Área 2	450 cm ²

Cálculo de Área 1:

$$A1 = L * A$$

$$A1 = 60 \text{ cm} * 40 \text{ cm}$$

$$A1 = 2400 \text{ cm}^2$$

Cálculo de Área 2:

$$A2 = L2 * A2$$

$$A2 = 30 \text{ cm} * 15 \text{ cm}$$

$$A2 = 450 \text{ cm}^2$$

$$\therefore V = \frac{50}{3} (2400 + 450 + \sqrt{2400 * 450}) + 2400 * 50$$

$$V = 1,84 \times 10^5 \text{ cm}^3$$

➤ **Volumen de cilindro acondicionador**

$$V = \frac{\pi hr^2}{2} = \frac{\pi * 150 * 32^2}{2} = 2,41 \times 10^5 \text{ cm}^3 \quad \text{ecuación 1}$$

Cilindro extrusor (camisa)

➤ **Volumen de la camisa extrusora**

$$V = \pi hr^2 = \pi * 120 * 3^2 = 3,39 \times 10^3 \text{ cm}^3$$

➤ **Cálculo del esfuerzo admisible**

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{fluencia}}{S}$$

Acero AISI SAE 1045	
Dureza	163 HB (84 HRb)
Esfuerzo de Fluencia	310 MPa (45000 PSI)
Esfuerzo Máximo	565 MPa (81900 PSI)
Elongación	16% en 50 mm
Reducción de Área	40%
Modulo de Elasticidad	200 GPa (29000 KSI)
Maquinabilidad	57%
Calor Especifico	460 J/(Kg °K)
Densidad	7,87 g/cm ³ (0,284/in ³)
Conductividad Térmica	52 W/(m °C)
Coficiente de Poisson	0,3

Figura 24 - Propiedades mecánicas del Acero AISI SAE 1045

En la figura 24 se describe las propiedades mecánicas del Acero AISI SAE 1045, ya que se eligió como material para las partes que componen la máquina.

➤ **Cálculo del espesor de la camisa extrusora**

$$e = \frac{P * r_i}{\sigma_{adm}}$$

Cálculo de esfuerzo y espesor:

Tabla 11 - Resultados de los cálculos

	DATOS	
$\sigma_{fluencia}$	Límite de fluencia del acero SAE 1045(N/mm2)	310
S	Coficiente de seguridad	4
r_i	Radio interno de la camisa (mm)	30
P	Presión máxima (N/mm2)	8.2
	Ecuaciones calculadas	
σ_{adm}	Esfuerzo admisible (N/mm2)	77.54
e	Espesor de la camisa extrusora (mm)	3.21

Fuente: Elaboración propia

Según tabla 1 la presión máxima que se logra obtener en la parte interna del tornillo extrusor de alto cizallamiento es de 42-84 (kg/cm²)

Debido a las presiones generadas internamente por la materia prima, se originará tensiones longitudinales y tangenciales, por ende, se debe calcular el esfuerzo admisible en función al límite de fluencia, con el fin de calcular el espesor del túnel extrusor o camisa.

Tornillo extrusor o mono husillo

- **Los tornillos de cizallamiento alto se consideran una relación de L:D menor 10:1 Harper JM (1992)**

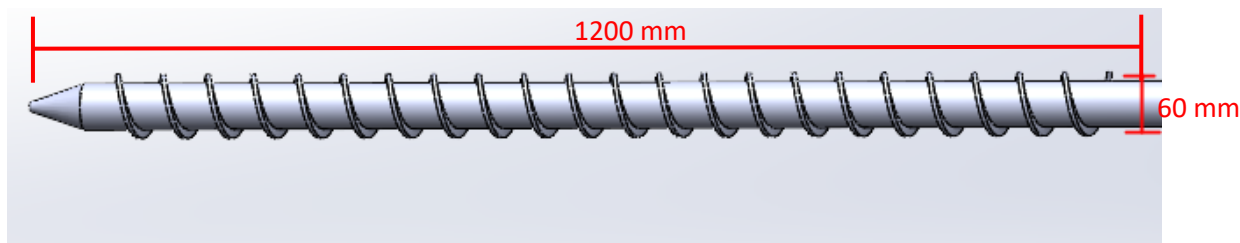


Figura 25 - Tornillo sin fin

Fuente: SolidWorks 2019

De acuerdo a los parámetros de entrada en la tabla 2 se calcula el Área, la fuerza F, la velocidad tangencial V.

➤ **Área:**

$$A = \pi * r^2 = \pi * 30^2 = 1963,49 \text{ mm}^2$$

➤ **Fuerza:**

$$F = P * A = 8238 \text{ kPa} * \text{m}^2 = 23066,4 \text{ N} = 2351,3 \text{ Kg}$$

➤ **Velocidad:**

$$V = \pi * d * \frac{n}{60000} = \pi * 60 * \frac{100}{60000} = 22,6 \text{ m/min}$$

Cálculo del momento de torsión:

➤ **Inercia Polar:**

$$I_p = \frac{\pi * d_e^4}{32}$$

$$I_p = 16,49 \text{ cm}^4$$

➤ **Momento de torsión:**

$$M_T = \frac{2 * T * I_p}{d_e}$$

$$M_T = 6910,3 \text{ Kg/cm}$$

➤ **Ángulo:**

$$\theta = \frac{M_T * I_e * 180}{G * I_p * \pi}$$

$$\theta = 0^\circ 15'$$

Los resultados obtenidos anteriormente muestran una potencia de 11.42 Hp con una velocidad de 120 rpm y con ángulo de torsión aceptable.

➤ **Cálculo de presión en la máquina extrusora:**

La mayor presión se origina en la parte de la salida del producto y cumple un papel importante en el proceso y acabado de material.

Presión máxima de granos de arroz:

$$P_{\text{máx}} = \frac{6 * \pi * D * L * n * \mu}{h^2 * \tan \varphi}$$

$$P_{\text{máx}} = \frac{6 * \pi * 0,06 * 0,11 * 2 * 10}{(3 \times 10^{-3})^2 * \tan (7,55)} = 21,21 \text{ Bar}$$

Donde:

D = diámetro del husillo (m)

L = Longitud del husillo (m)

n = velocidad de giro (revs/s)

μ = viscosidad de cizallamiento (Pa*s)

h = altura del filete (m)

$\tan \varphi$ = ángulo de inclinación del filete

➤ Mono husillo peso

Se calcula el peso, ya que de estos valores obtenidos se definen las fuerzas que se ejercen sobre el mono husillo

Volumen del tornillo extrusor:

$$V_1 = 0,785 * D^2 * H = 0,785 * 0,04^2 * 0,04 = 5,024 \times 10^{-5} m^3$$

Volumen de parte roscada

$$V_2 = 0,785 * D^2 * H = 0,785 * 0,06^2 * 0,321 = 9,07 \times 10^{-4} m^3$$

Volumen cónico de mono husillo

$$V_3 = 0,262(D^2 + D * d + d^2) * H$$

$$V_3 = 0,262(0,06^2 + 0,06 * 0,05 + 0,05^2) * 0,06$$

$$V_3 = 1,43 \times 10^{-4} m^3$$

Volumen punta del mono husillo

$$V_4 = 0,785 * D^2 * H + 0,262(D^2 + D * d + d^2) * H$$

$$V_4 = 2,98 \times 10^{-5} m^3$$

Suma de todos los volúmenes:

$$V_t = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$$

$$V_t = 5,024 \times 10^{-5} + 9,07 \times 10^{-4} + 1,43 \times 10^{-4} + 2,98 \times 10^{-5}$$

$$V_t = 1,13004 \times 10^{-3} m^3$$

De acuerdo a la tabla 12

La densidad del acero AISI – SAE 1045

$$\rho = 7,87 \frac{g}{cm^3} \quad \text{ó} \quad 7870 \frac{kg}{m^3}$$

Por lo tanto, se define que la masa del acero:

$$m = \rho * V_t$$

$$m = 7870 \frac{kg}{m^3} * 1,13004 \times 10^{-3} m^3 = 8,89 kg$$

➤ Cálculo de carga uniformemente distribuida:

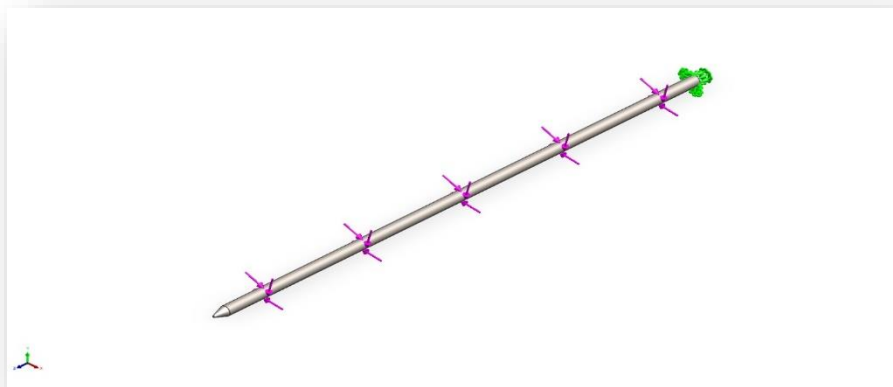


Figura 26 - Cargas aplicadas al eje extrusor

$$q = \frac{\text{peso del husillo}}{\text{longitud del husillo}} = \frac{8,89 kg}{1,20 m} = 7,40 \frac{kg}{m} = 72,56 \frac{N}{m}$$

➤ Cálculo de la deflexión:

Ecuación de momento de inercia polar:

$$J = \frac{\pi * D^4}{64} = 6,36E - 7m^4$$

Cálculo de Flecha máxima de deflexión:

$$f \text{ más} = \frac{q * L^4}{8 * E * J}$$

$$f \text{ más} = \frac{72,56 * 1,2^4}{8 * 200E9 * 6,36E - 7} = 1,47E - 4m$$

➤ Cálculo de la capacidad de materia prima en acondicionador:

De acuerdo a la ecuación 1:

$$m = 241000 \text{ cm}^3 \times \delta$$

$$m = 241000 \text{ cm}^3 \times 0,9 \frac{g}{\text{cm}^3}$$

$$m = 216900 \text{ g} = 216,9 \text{ kg}$$

Tabla 12 - Cargas calculadas aplicadas a los componentes de la máquina

	Datos	
Carga 1 (ESTRUCTURA)	Carga aplicada en Newtons	198 N
Carga 2 (ESTRUCTURA)	Carga aplicada en Newtons	230 N
Carga 3 (EJE SIN FIN)	Carga aplicada en Newtons	72,56 N

Fuente: Elaboración propia

Se consideró dos cargas aplicadas en la estructura tal y como se detallará en el apartado 10.

➤ Molde

Para el cálculo del molde se define el caudal volumétrico:

$$Q_v = \frac{Q_m}{\rho}$$

Donde:

Q_m = Caudal másico

ρ = Densidad del arroz (900 kg/m³)

✓ Ecuación de Radio de abertura de la boquilla

$$Ra = \sqrt{\frac{Q_v * \mu * 8 * La}{\Delta P * \pi * 10^3 * 1000}}$$

Tabla de valores obtenidos:

Tabla 13 - Datos del molde extrusor

Datos		Unidades	Resultados
Caudal másico del extrusor	Q_m	Kg/s	0,021
Viscosidad de cizalla del arroz	μ	Kg*s/cm ²	10,2E-3
Presión máxima que se generará con la harina de arroz	ΔP	Kg/cm ²	21,4
Densidad del arroz	ρ	Kg/m ³	900
Largo de la abertura	La	mm	2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14 - Cálculos realizados

Cálculos realizados		Unidades	Resultados
Caudal volumétrico del extrusor	Q_v	m ³ /s	2,33E-5
Radio de abertura de la boquilla	Ra	mm	5,15E-3

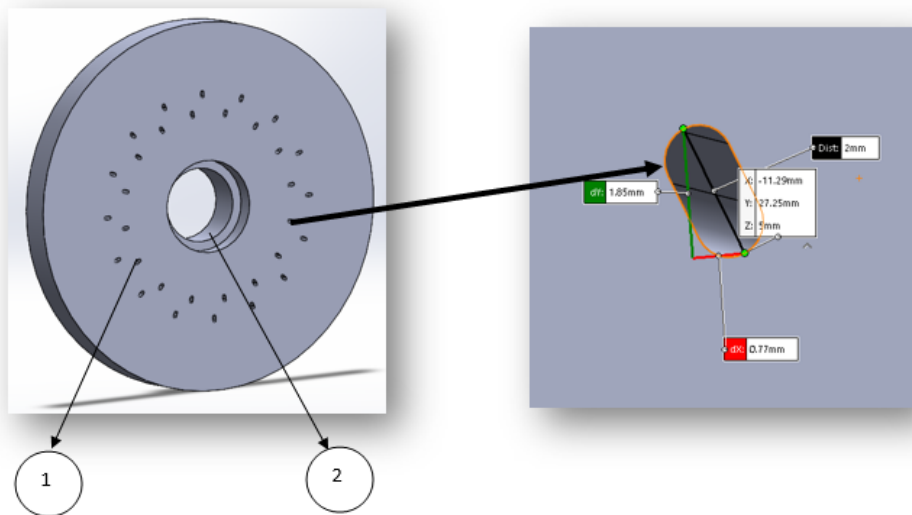


Figura 27 - Intersticios de molde

Fuente: Elaboración propia

1. Perforaciones por donde saldrá la materia prima extruida
2. Eje central en el cual se acoplará el eje de la cuchilla

4.13. Partes detalladas de la máquina extrusora

➤ Estructura base

Parte de la máquina en la cual se ensamblará cada parte de la máquina extrusora, la cual ira anclada a la superficie de la planta instalada y fue la primera pieza a la cual se le hará el estudio estático en el software SolidWorks.

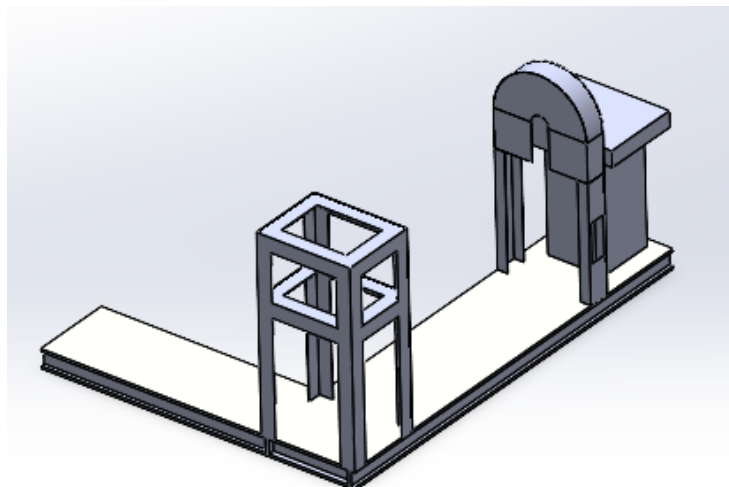


Figura 28 - Estructura de los componentes de la extrusora

Fuente: Elaboración propia

➤ **Tornillo sin fin**

Parte de la máquina, el cual se encarga de comprimir la materia prima y reconstruirla en un grano de arroz fortificado, esta fue la segunda pieza a considerar para el estudio estático y se analizó el eje, ya que es la parte que aplica la carga distribuida para completar el proceso de extrusión.

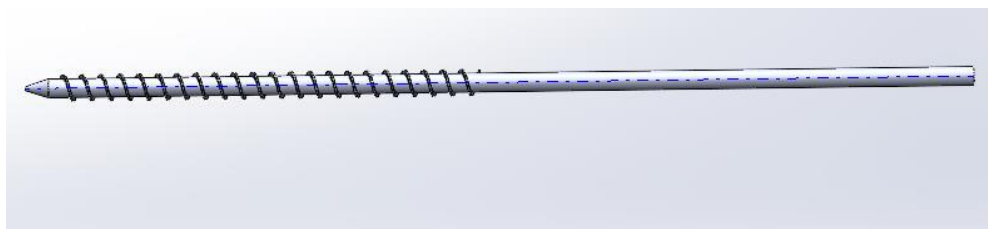


Figura 29 - Mono Husillo extrusor

Fuente: Elaboración propia

➤ **Camisa extrusora**

Parte de la máquina en la cual se genera la compresión de materia prima, generando una temperatura elevada, debido a la fricción y compresión de la harina de maíz.

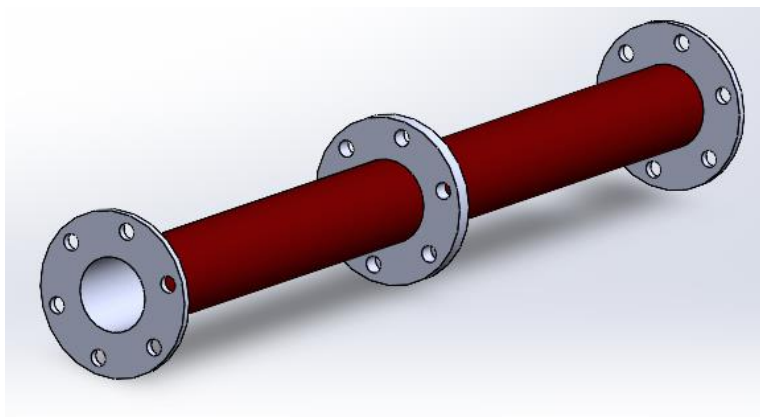


Figura 30 - Camisa extrusora

Fuente: Elaboración propia

➤ **Acondicionador**

Parte de la máquina en la cual se genera la mezcla entre la harina de arroz y las vitaminas añadidas, también se le puede adicionar vapor de agua previo estudio de control de calidad, para definir el nivel de humedad óptimo para generar la consistencia del grano símil.

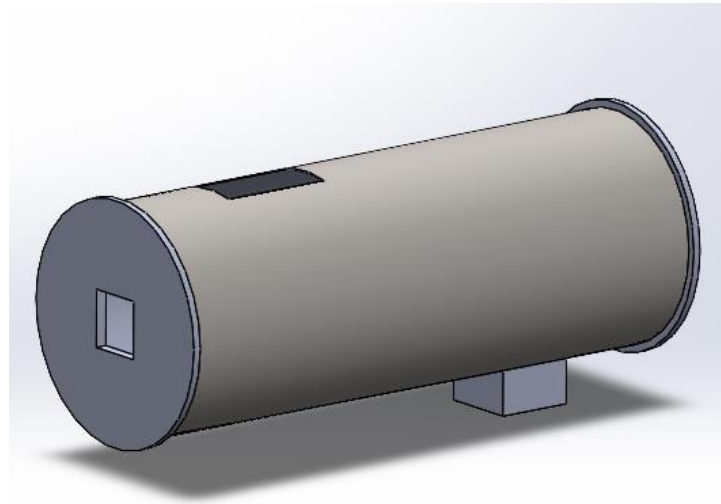


Figura 31 - Cilindro acondicionador

Fuente: Elaboración propia

➤ **Mezclador**

Parte del acondicionador, el cual se encarga de mezclar de manera homogénea y a la vez dosificar a la camisa extrusora, para continuar con el proceso final de extrusión.

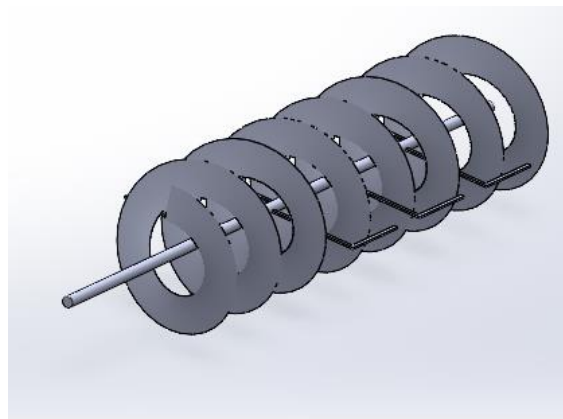


Figura 32 - Sin fin mezclador

Fuente: Elaboración propia

➤ **Cuchilla**

Componente de la máquina, la cual se encarga de cortar de manera continua la masa que se extruye a través del molde, generando el grano de arroz fortificado.

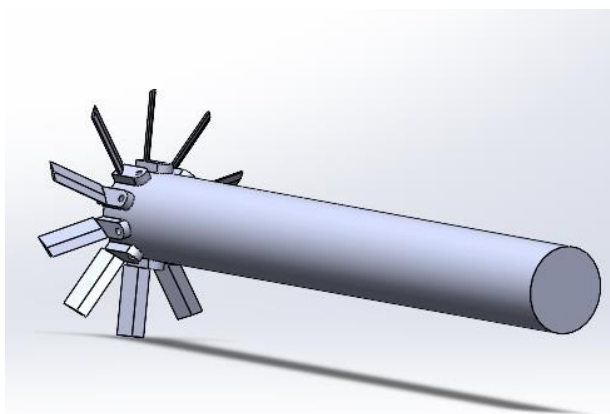


Figura 33 - Cuchilla cortadora de granos

Fuente: Elaboración propia

➤ **Molde**

Parte de la máquina en la cual se comprime la materia prima y es la que le da forma de grano de arroz fortificado.

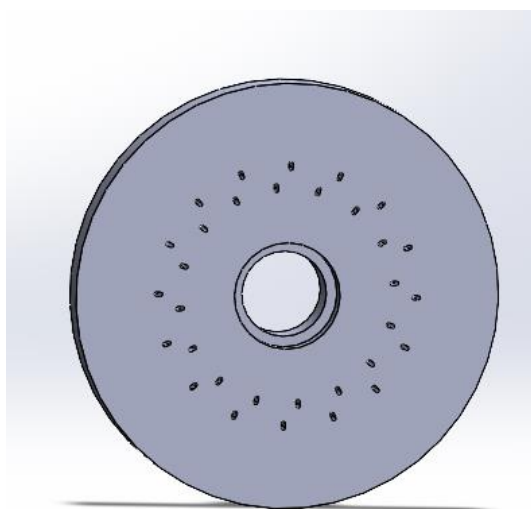


Figura 34 - Molde para grano de arroz entero

Fuente: Elaboración propia

4.14. Sistema eléctrico

4.14.1. Criterios de selección de motor eléctrico

- Lugar de instalación:

Según la norma IEC 60034-1 las condiciones normales de servicio son:

- ✓ La altitud no debe ser superior a 1000 msnm
- ✓ El medio refrigerante (incluido la T° ambiente) no debe exceder los 40° C, y libre de elementos perjudiciales.

- Condiciones de instalación

La norma IEC 60034-5 menciona la siguiente: el grado de protección que tiene una máquina giratoria está nombrado por las letras IP; estas vienen a ser las siglas en inglés “Protección internacional”, estas siglas establecen el grado de protección o de encapsulamiento del motor. Se rige de dos cifras características las cuales indican la protección contra ingresos de cuerpos sólidos y la protección contra ingresos de líquidos.

Las protecciones más comunes son las siguientes:

- ✓ IP 21: Protegido ante contacto de alguna parte del cuerpo humano, también contra ingresos de cuerpos sólidos mayores de 12 mm e ingresos de gotas de agua de manera vertical.
- ✓ IP 22: Protegido ante contacto de alguna parte del cuerpo humano, también contra ingresos de cuerpos sólidos mayores de 12 mm e ingresos de gotas de agua de manera vertical hasta una inclinación de 15°
- ✓ IP 55: Protegido completamente contra contacto, contra almacenamiento de polvos nocivos e ingresos de agua en todas las direcciones.

- La carga

La carga depende de la potencia y la velocidad a la que trabaja el motor, las aplicaciones que tenga el motor define las cargas a las que puede trabajar, estos parámetros definen el comportamiento dinámico del motor con la máquina que quiera accionar.

- La red

Las variables que influyen en la carga son la tensión de servicio, la frecuencia, la capacidad de corriente y el número de fases disponibles, esto depende de la concesionaria que brinda el servicio, en América la frecuencia normalizada es de 60 Hz.

- El arranque

El arranque es uno de los momentos más críticos del motor, ya que sufre un incremento en su corriente entre 5 y 8 veces su corriente nominal. El arranque es el intervalo en el cual el motor hace una transición desde su estado de reposo hasta vencer la inercia de la máquina.

- Eficiencia y potencia del motor

Un motor eléctrico tiene la capacidad de convertir la energía eléctrica suministrada en energía mecánica a lo largo de su eje principal.

De acuerdo a los datos y ecuaciones mencionadas en el apartado 6.9 se define lo siguiente:

➤ **Potencia de motor en Hp:**

$$Hp = \frac{M_T * n}{71620 * 1,014}$$

$$Hp = 11,42 Hp$$

Para el sistema eléctrico se menciona la tabla de datos nominales del motor empleado para el accionamiento de la máquina:

Tabla 15 - Datos técnicos del motor

Máquina	Nro. fases	Voltaje (V)	Frecuencia (Hz)	Velocidad (rpm)	Potencia (Kw)	Corriente (A)	Cos α
Motor Principal	3	380-440	60	1440	7,5	15,6	0,83

Fuente: Motore MARK

Para el motor de la cortadora se consideró un motor de 0,45 kW de acuerdo a las revoluciones en las cuales gira el tornillo sin fin.

4.15. Sistema de transmisión

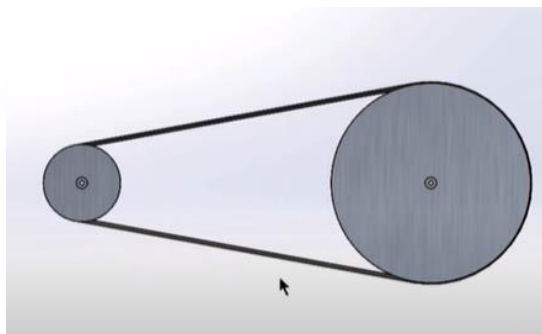


Figura 35 - Sistema de transmisión por poleas

Fuente: Elaboración propia

La siguiente tabla menciona los valores de correas trapeciales:

Tabla 16 - Datos para dimensionamiento del sistema de transmisión

Datos	Unidades	Resultados
Potencia del motor para cada correa	Hp	5,25
Numero de correas		2

Dimensiones	Unidades	Resultados
a	mm	32
b	mm	19
Perímetro mínimo de la correa	mm	3115
Diámetro polea conducida	mm	380
Diámetro polea motriz	mm	190
Relación de transmisión	mm	2:1
h	mm	30
c	mm	37
Ángulo de los flancos de la garganta	Grados	34

Fuente: Elaboración propia

Según [13] cada correa o faja trapecial D 120 transmitirá una potencia de 5,25 Hp, generando una multiplicación por las dos correas se llega a un resultado de 10,5 y el motor que se seleccionó es de 10 Hp por lo consiguiente se define que la correa 120D es la adecuada para el proceso.

4.16. Analizar los componentes de la máquina en el software CAD – CAE

El análisis del modelado de la máquina centrifugadora se realiza mediante el software CAD SolidWorks, este software permite simular y analizar los componentes que el diseño mecánico lo requiera, por ende, permite la obtención de datos de forma más rápida y eficiente.

El software utiliza una herramienta de simulación, la cual es SolidWorks Simulation, esta extensión permite calcular el rendimiento de piezas mecánicas con cargas constantes, hasta análisis de ensamblaje con cargas dinámicas, los resultados que exporta el programa son tensiones, desplazamientos y deformaciones unitarias producidas en el comportamiento de la pieza y material asignado.

4.17. Análisis estático

Es necesario hacer un análisis estático a dos piezas en las cuales influyen las cargas aplicadas en el accionamiento de la máquina extrusora, a fin de observar deformaciones y tensiones que influyen en la pieza.

Las cargas aplicadas se describen en el apartado 6, los resultados obtenidos por el software se mencionan en la siguiente tabla:

Tabla 17 - Resultados informe SolidWorks

EJE Monohusillo	Tensión (von Mises) [Pa]		Desplazamiento [mm]		Factor de seguridad [FDS]
	Min	Max	Min	Max	
Análisis Estático	5,982e- 06N/mm ² (MPa)	5,225e+00N/mm ² (MPa)	0.000e+00mm	5,176e- 02mm	1,014e+02

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 34 se puede visualizar que la mayor tensión ocurre en la parte externa inferior, donde estarán ubicadas las poleas, las cuales generarán el accionamiento para el funcionamiento del proceso de extrusión. En la figura 35 se observa el valor de los desplazamientos, los cuales son mínimos.

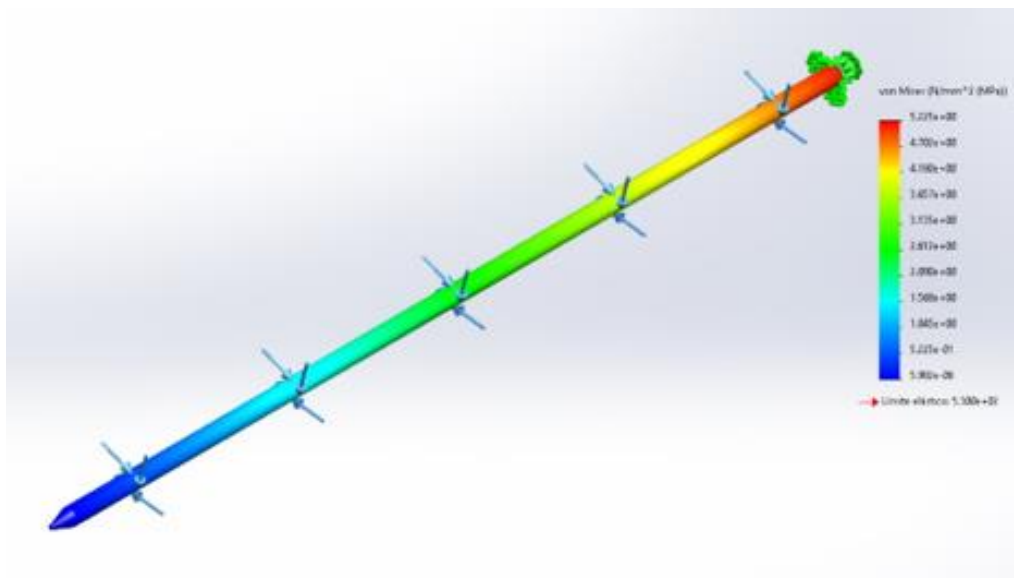


Figura 36 - Tensión de von Misses

Fuente: Software SolidWorks 2019

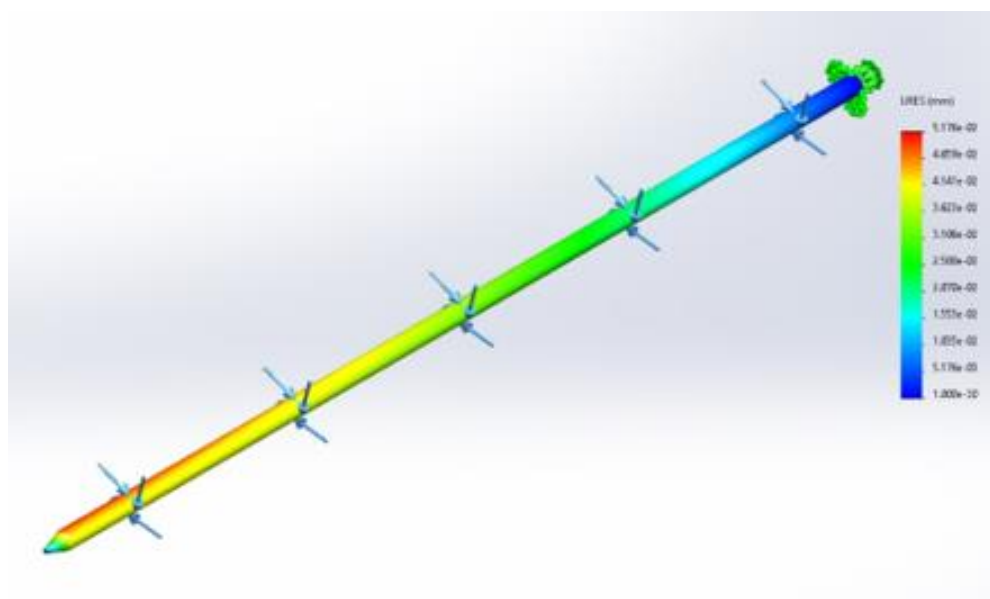


Figura 37 - Desplazamientos

Fuente: Software SolidWorks 2019

4.18. Análisis estructural de la base

Este análisis es necesario para determinar el comportamiento que sufre la estructura ante las cargas aplicadas por el resto de componentes que conforman la máquina.

Es importante esquematizar el diagrama de cuerpo libre D.C.L para determinar las cargas que actúan sobre la estructura.

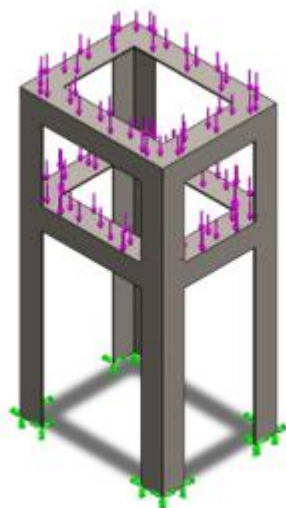


Figura 38 - D.C.L de las cargas aplicadas a la estructura

Fuente: SolidWorks 2019

Se definen las cargas aplicadas en puntos de apoyo, los cuales aplican carga a la estructura, esto se muestra en la figura 37.

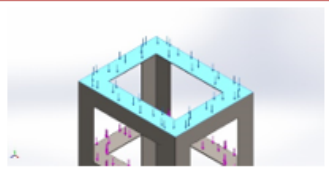
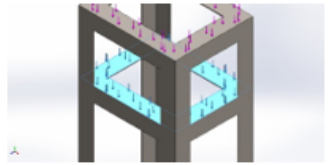
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 198 N
Fuerza-2		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 230 N

Figura 39 - Cargas aplicadas

Fuente: Software SolidWorks

Después de identificar las cargas, se procede a ejecutar el análisis estructural y se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 18 - Resultados informe SolidWorks

Estructura base	Tensión (von Mises) [Pa]		Desplazamiento [mm]		Factor de seguridad [FDS]
	Min	Max	Min	Max	
Análisis Estructural	7,083e- 03N/mm ² (MPa)	1,861e+00N/mm ² (MPa)	0,000e+00mm	1,922e- 02mm	1,343e+02

Fuente: Elaboración propia

4.19. Costos de materiales para la máquina extrusora
Evaluación económica

Análisis de precios

Tabla 19 - Evaluación económica

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA MOLDEADORA DE GRANO ENTERO DE ARROZ VITAMINADO A PARTIR DE ARROZ PARTIDO ÑELEN EN LA REGIÓN LAMBAYEQUE				
Ítem	Descripción	Cant.	Precio S/.	Precio total S/.
1	Motor trifásico ABB 10 Hp	1	1936,12	1936,12
2	Eje de acero SAE-1045 de 4"	1	1055,75	1055,75
3	Eje de acero SAE-1045 de 2 1/2"	1	406,06	406,06
4	Perfil angular 2"x1/4"	2	141,24	282,48
5	Perfil en C 50x25x2 mm	2	59,71	119,42
6	Plancha de acero 1,5 mm	1	135,83	135,83
7	Plancha de acero 3 mm	2	255,24	510,48
8	Pintura anticorrosiva blanca	2	26,10	52,2
9	Thiner envasado	1	17,40	17,40
10	Lijas de agua #320 - #80	20	1,45	29
11	Panel de operación	1	170	170
12	Pernos, tuercas y arandelas		140	140
13	Masilla plástica	1	10	10
14	Cable #10 AWG	10	4	40
TOTAL				4864,74 S/.
COSTO DEL DISEÑO				
Ítem	Descripción	Cant.	Precio S/.	Precio total S/.
1	Diseño ingenieril	1	2400	2400
2	Dibujo y análisis en SolidWorks	1	1200	1200
3	Impresiones y ploteo de planos	1	160	160
TOTAL				3760 S/.
Costo total de la máquina				
Costo total de los materiales+ Costo del diseño		8624,74 S/.		

V. CONCLUSIONES

- Se definió el funcionamiento operacional de la máquina extrusora en el proceso de moldeado de arroz fortificado, también se mencionó las etapas del proceso que recibe la materia prima hasta el proceso final, el cual es la obtención del grano completo de arroz.
- Se identificó los parámetros tales como: factor de diseño, temperatura del cilindro del extrusor, presión del cilindro, caudal de alimentación, humedad añadida dentro del extrusor, humedad del producto extruido y densidad aparente del producto, los cuales son influyentes en el proceso de extrusión de arroz, estos parámetros estuvieron constituidos por variables independientes al proceso mencionado y se realizó una mención al sistema de extrusión por doble husillo, el cual varió su proceso, ya que se usa para materias primas con un porcentaje mayor de humedad.
- Se modeló la máquina extrusora con sus distintos componentes que conforman el ensamble completo de la máquina, este diseño se realizó mediante una matriz morfológica de Zwicky y se determinó la mejor solución de diseño al concepto N°05, entre las partes principales que componen la máquina son: Acondicionador, mezclador, camisa extrusora, mono husillo extrusor, molde y la encargada del proceso final; la cuchilla cortadora, el diseño se logró usando el software SolidWorks.
- Para este objetivo se determinó dos piezas que son de gran importancia en el proceso de la elaboración de arroz fortificado, las cuales son: la estructura del acondicionador y el eje del tornillo sin fin, este estudio se validó a través del software CAD SolidWorks, mediante un análisis estático, el cual definió que los componentes soportarían las cargas a las cuales estarán sometidas.
- Finalmente se hizo una evaluación económica de la inversión que se necesitará para su construcción inicial; el cálculo obtenido fue descrito por dos etapas; la de materiales y la de diseño para la fabricación; esto dio un monto de 8624,74 S/; el cálculo se realizó con materiales de la zona y fabricación en taller de metalmecánica.

VI. Recomendaciones

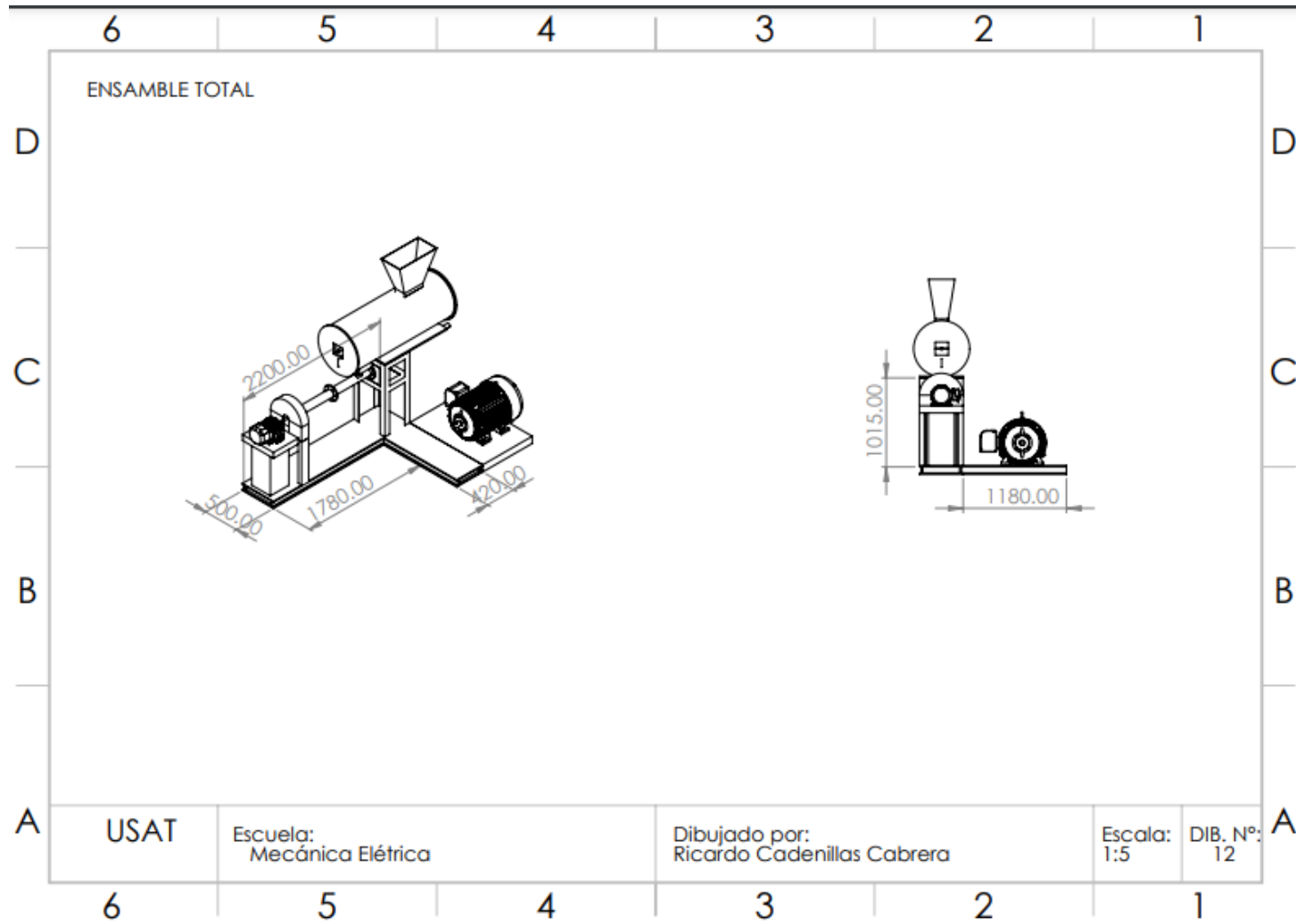
- Considerando que es una máquina que no está difundida académicamente, se recomienda a través de la universidad a promover mayor investigación acerca de este proceso, e investigar la parte experimental, con el propósito de validar los diseños desarrollados en este trabajo de investigación.
- Se recomienda indagar más sobre extrusores portátiles, ya que actualmente se decretó una ley que exige una línea de producción de enriquecimiento de arroz en las plantas de pilado, la cual contribuiría con la salud y combatir enfermedades a través del cereal más consumido hoy en día.
- Se incentiva a la investigación acerca de los procesos de extrusión en alimentos, ya que la es una manera de transformar materias primas granuladas en alimentos sólidos que contengan nutrientes y sean más saludables para el consumo humano.
- Se recomienda realizar estudios de regiones con más índice de enfermedades nutricionales; en la cual podremos aportar con el beneficio de convertir merma de harina de arroz en granos que posteriormente apliquen vitaminas y nutrientes que combata dicha problemática.

VII. Referencias

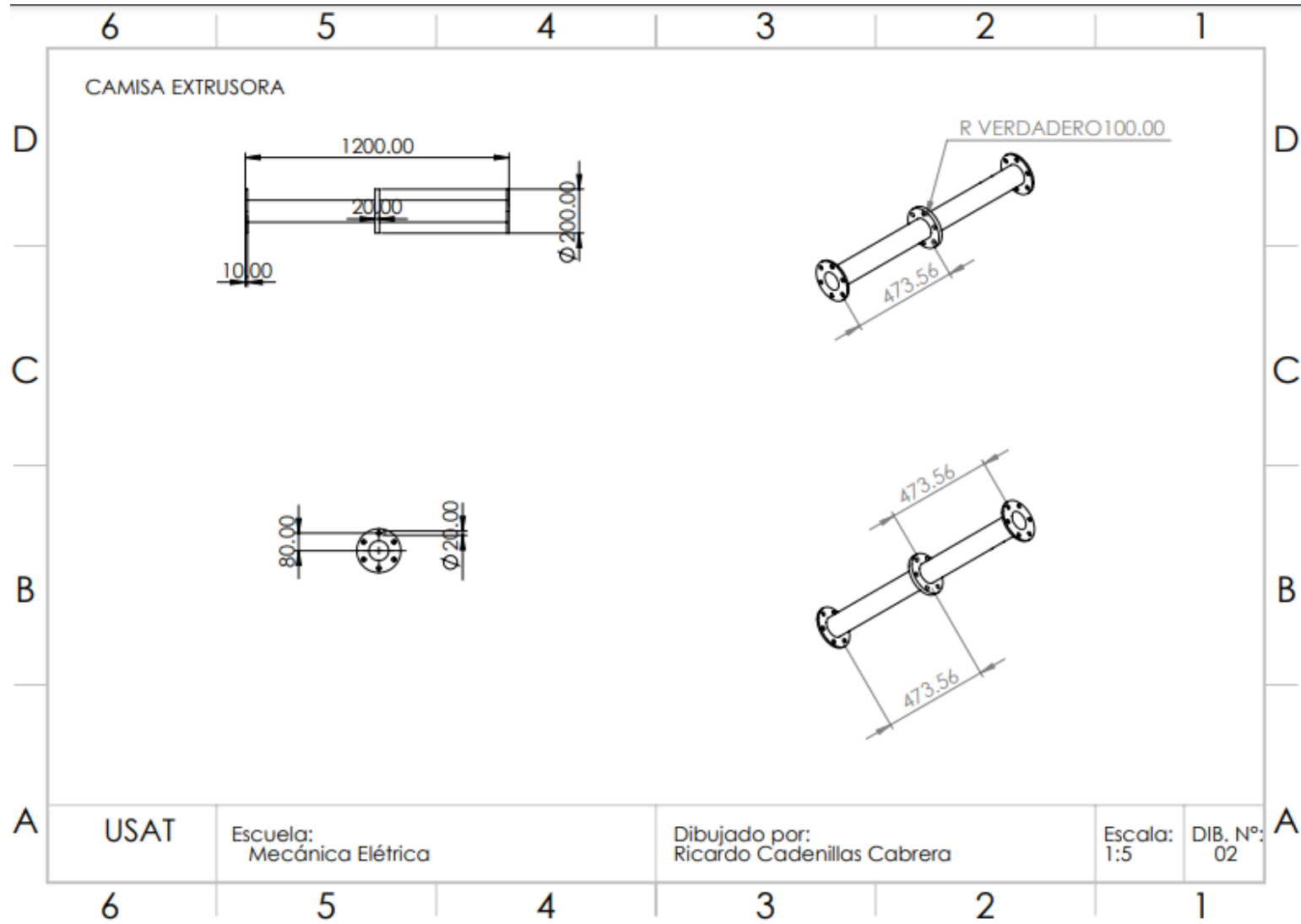
- [1] M. F. CASTAÑO LONDOÑO y V. LOPERA VALENCIA, *REQUERIMIENTOS GENERALES PARA EL REDISEÑO DE LA SILLA BIDESTADORA ONPIE*, UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA , 2019.
- [2] M. V. P. Caldas, «COMPARACION DE TRES SISTEMAS DE TRANSPLANTE MANUAL DE ARROZ,» Lima, 2017.
- [3] L. D. Bernardi, «Perfil del mercado de Arroz,» 2016.
- [4] I. B. García, «Harinas extruidas en la industria alimentaria,» Madrid, 2017.
- [5] R. G. B. y J. K. Nisbett, *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*, México, 2008.
- [6] W. Callister, «Ciencia e ingeniería de los materiales,» Reverté S.A., Barcelona, 2009.
- [7] M. D. Montalvo, «OPTIMIZACION DE PROCESOS DE EXTRUSIÓN PARA ALIMENTO ACUICOLA,» Guayaquil, 2017.
- [8] W. A. Salas, «APLICACIÓN DEL SISTEMA HACCP EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE ALIMENTOS DE RECONSTITUCIÓN INSTANTÁNEA A BASE DE CEREALES EXTRUIDOS,» Lima , 2003.
- [9] M. R. Guia, «PROCESO DE EXTRUSIÓN Y PELLETIZACIÓN DE ALIMENTOS,» Lima, 2018.
- [10] K. M.V, «FOOD EXTRUSION,» New Jersey USA.
- [11] C. Sharma, «Fundamentals of Extrusion processing,» New Zealand, 2017.
- [12] R. González, «Extrusión-Cocción de cereales,» Brasilia, 2002.
- [13] C. A.L, «Máquinas,» España Madrid, 1988.
- [14] B. M. y. A. Marcilla, «Tecnología de polimeros».
- [15] E. Q. Sillo, «PROTOTIPO DE EXTRUSOR PARA QUINUA,» La paz - Bolivia, 2012.

VIII. Anexos

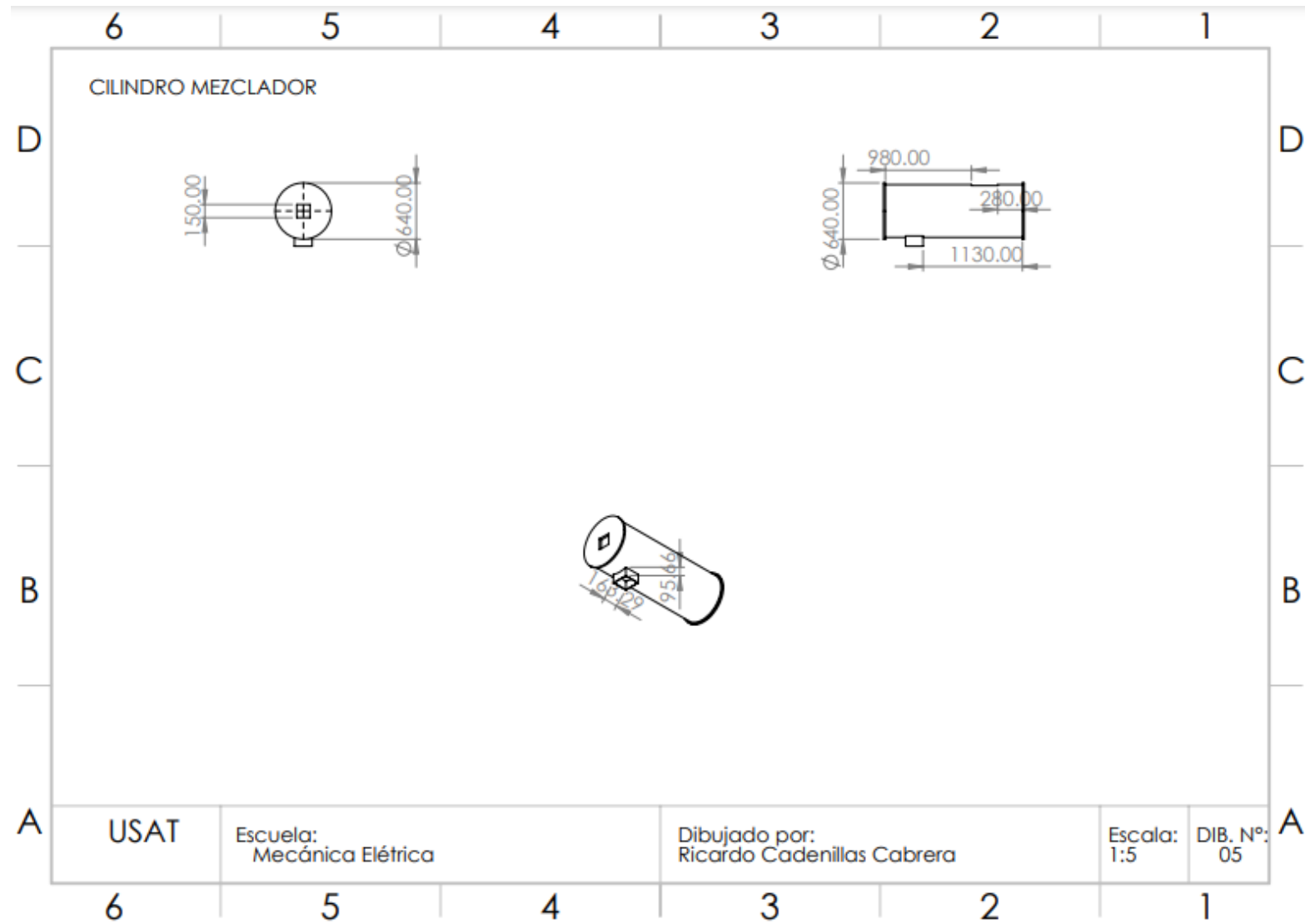
- Planos del ensamblaje de la máquina extrusora



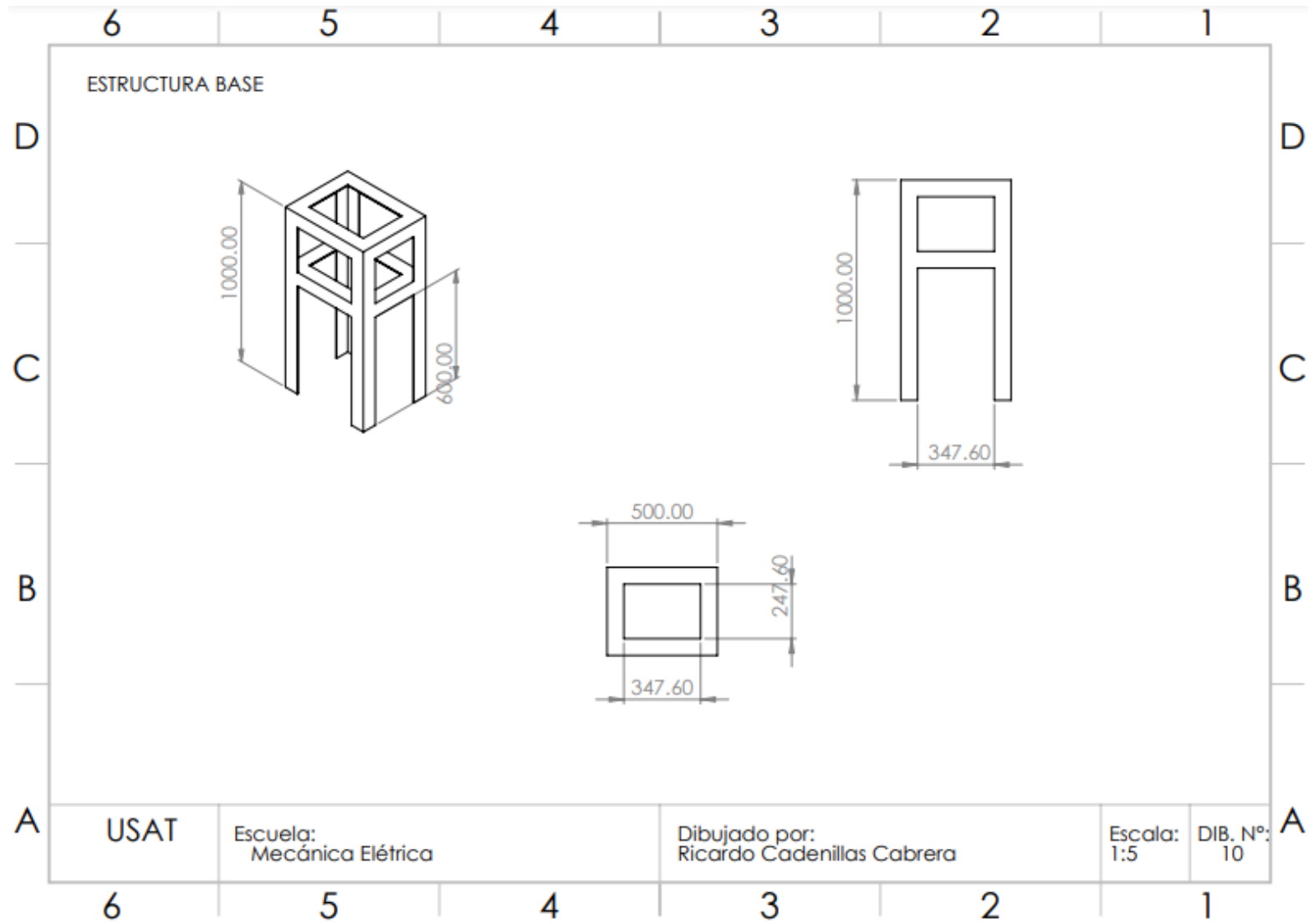
- Plano camisa extrusora



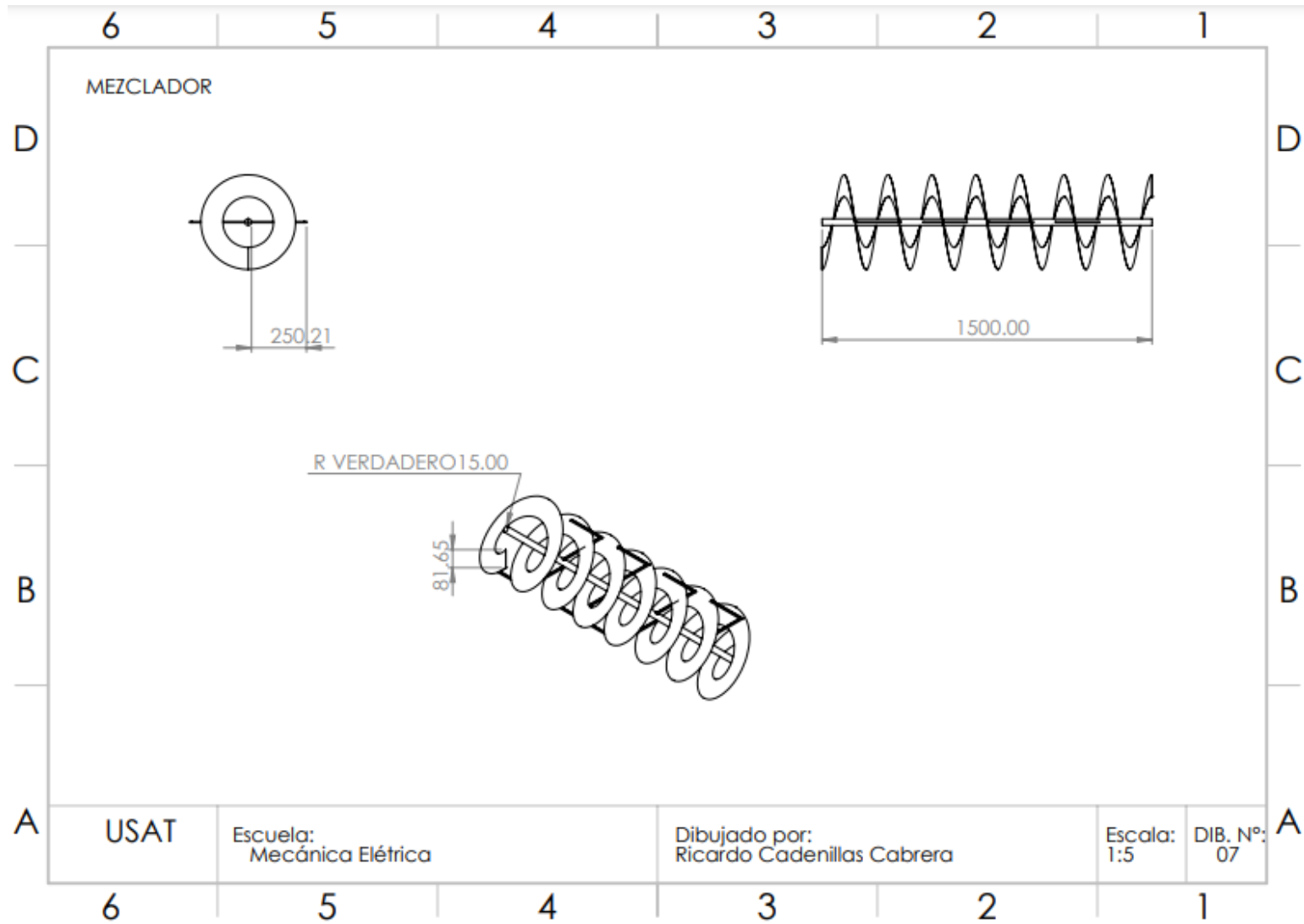
- Plano del cilindro mezclador



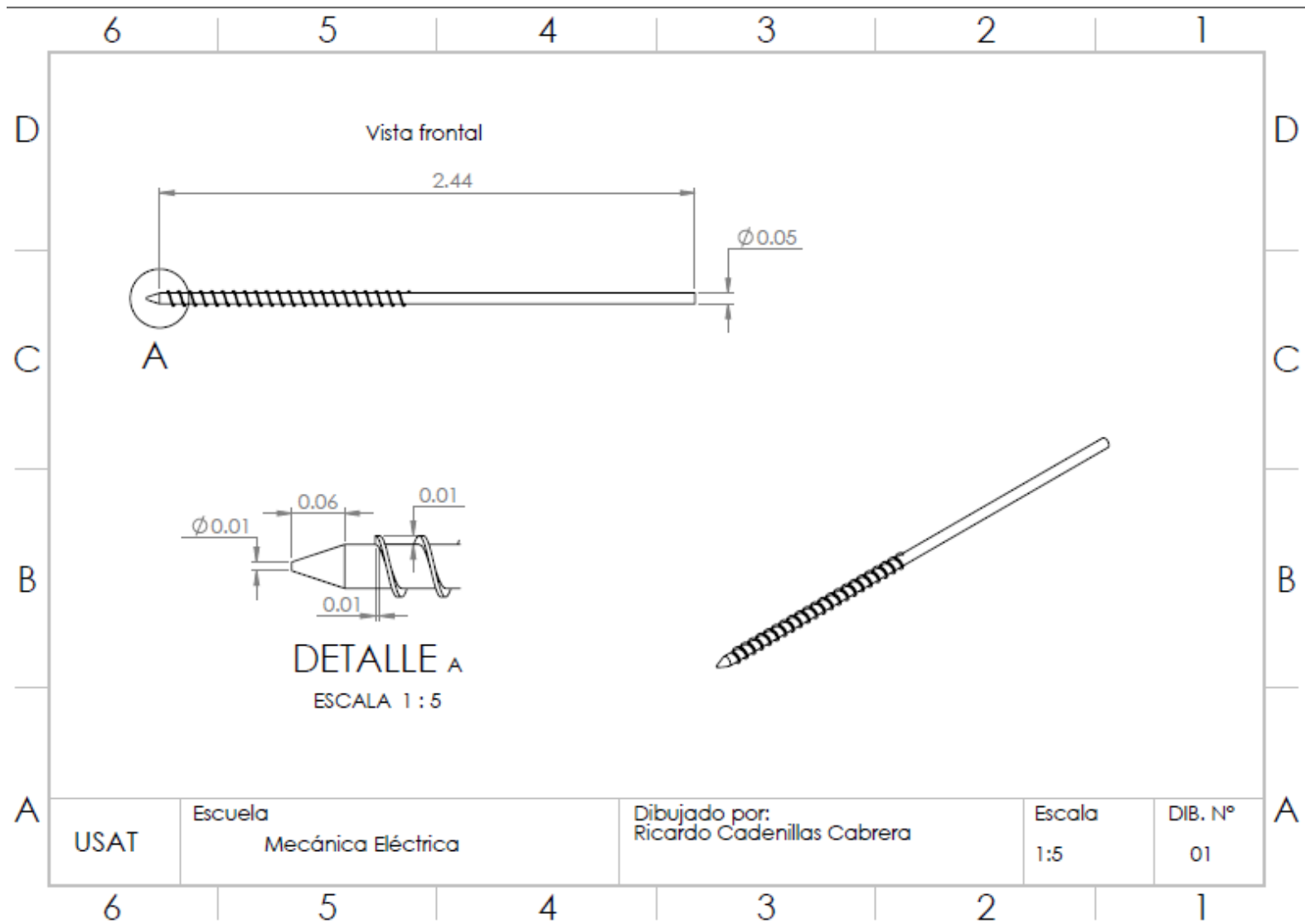
- Plano estructura base



- Sin fin mezclador



- Tornillo sin fin



- Molde

