

**UNIVERSIDAD MAYOR REAL Y PONTIFICIA DE SAN  
FRANCISCO XAVIER DE CHUQUISACA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
MECA-ELECTRONICAS**

**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**



**MONOGRAFÍA**

**ESTUDIO DEL DISEÑO DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA DE  
ALIMENTOS DERIVADOS DE LA HARINA**

**POSTULANTE: PAREDES VARGAS ROBERTO CARLOS**

“Trabajo presentado para obtener el título de licenciado en Ingeniería electromecánica, otorgado por la Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca.”

**SUCRE-BOLIVIA**

**2024**

## **CESIÓN DE DERECHOS**

Al presentar este trabajo, como uno de los requisitos previos para la obtención del título de licenciado en Ingeniería Electromecánica y habiendo aprobado el diplomado “Diseño mecánico industrial, CAD CAE CNC Y CAM” de la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca autorizo al Centro de Estudios de Postgrado e Investigación o a la Biblioteca de la Universidad, para que haga de este trabajo un documento disponible para su lectura, según normas de la Universidad.

También cedo a la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, los derechos de publicación de este trabajo con fines educativos, manteniendo mis derechos de autor hasta un periodo de 30 meses posterior a su aprobación.

.....

Firma

Fecha.....

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi casa superior de estudios:

Por abrirme sus puertas y acogerme durante todo mi recorrido universitario.

A mis docentes y profesores:

Por ser un faro de luz en todo este sendero de aprendizaje.

A mi familia:

Por apoyarme y confiar siempre en mi persona.

A mis amigos:

Por sostenerme continuamente.

A mis compañeros:

Por acompañarnos mutuamente en todas esas noches frías de estudio.

## **DEDICATORIA**

A mis padres:

Dedicado a ustedes queridos papá y mamá, por todo el esfuerzo y paciencia que pusieron en mi crianza y educación para que nunca me faltara nada, por enseñarme que ante todo siempre se debe hacer lo correcto, que siempre debo tener la frente en alto y nunca agacharla ante nadie y finalmente por hacerme entender que amor es sinónimo de empatía y responsabilidad.

A mi hermano:

Que fue un segundo padre para mí, por enseñarme valores para afrontar la vida y que siempre que recuerdo con mucha nostalgia las tardes que pasábamos juntos, me da la alegría necesaria para reanudar mi camino.

A mis mascotas:

Por acompañarme en las distintas etapas de mi vida, demostrándome siempre su cariño desinteresado y mostrándome que la palabra lealtad es un compromiso diario hasta el final de nuestros días.

## Resumen

La presente monografía muestra los principales aspectos que se tomó en cuenta para el diseño de una máquina extrusora de alimentos derivados de la harina proveniente de la sémola de trigo, donde la materia prima pasa a la máquina para su posterior amasado y transporte mediante un tornillo sin fin hasta ser extruido por los orificios de la boquilla y dando como producto final pastas largas, tomando estándares de inocuidad y que a la vez se alinee con los requerimientos de producción de pequeñas y medianas empresas (PYME) a través de la implementación de la tecnología de extrusión.

Para alcanzar los objetivos planteados se realizó una recopilación de información que nos permitiese conocer y comprender los procesos que debe manejar una máquina extrusora. De esta manera se plantea que tipos de máquinas de extrusión existen y cuál de estas se apegan a nuestros requerimientos, las piezas que conforman la máquina, las variables a tomar en cuenta dentro de su desarrollo como ser: la temperatura, tiempos de extrusión, materiales, etc. Paralelamente contemplando las necesidades del mercado sucense al ser nuestro principal punto de interés, por lo tanto, una vez evaluada dicha tecnología se procedió a su adaptación a volúmenes de producción acordes a nuestra demanda.

El diseño consta de un tornillo simple helicoidal encargado de la extrusión y el transporte del material, el eje será fijado por dos rodamientos que permitirán su libre movimiento, el cual estará dentro de un cilindro que ayudará a la transmisión de calor y presión. Así mismo el producto es extruido por una boquilla o tapa para su posterior corte con una cuchilla. Todo este proceso es alimentado con materia prima a través de la tolva. Para garantizar la higiene e inocuidad que exigen las BPM, FDA, etc. Se usó acero inoxidable 316 de grado alimenticio.

Una vez concluidas todas las etapas de diseño asistido mediante el software Inventor se llegó a la conclusión de que la adaptación de este tipo de tecnologías es viable y que podrán brindar soluciones a las necesidades y requerimientos de nuestro medio, lo que representa una alternativa para las medianas y pequeñas empresas locales dedicadas al rubro alimenticio al ser una máquina de menor coste en comparación a las alternativas del exterior.

## ÍNDICE TEMÁTICO

|                                                                                                   |          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>CAPÍTULO I .....</b>                                                                           | <b>1</b> |
| 1 INTRODUCCIÓN.....                                                                               | 1        |
| 1.1 ANTECEDENTES .....                                                                            | 1        |
| 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....                                                              | 3        |
| 1.2.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....                                                              | 3        |
| 1.3 JUSTIFICACIÓN .....                                                                           | 3        |
| 1.3.1 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA .....                                                               | 3        |
| 1.3.2 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA.....                                                                  | 4        |
| 1.3.3 JUSTIFICACIÓN SOCIAL .....                                                                  | 5        |
| 1.4 METODOLOGÍA .....                                                                             | 5        |
| 1.4.1 MÉTODOS .....                                                                               | 5        |
| 1.4.2 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS .....                                                               | 6        |
| 1.5 OBJETIVOS.....                                                                                | 6        |
| 1.5.1 OBJETIVO GENERAL.....                                                                       | 6        |
| 1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                                                                 | 6        |
| <b>CAPÍTULO II .....</b>                                                                          | <b>7</b> |
| 2 DESARROLLO .....                                                                                | 7        |
| 2.1 MARCO CONTEXTUAL.....                                                                         | 7        |
| 2.1.1 DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS Y REQUERIMIENTOS DE UNA<br>PEQUEÑA O MEDIANA EMPRESA ..... | 7        |
| 2.1.1.1 DEMANDA Y PRODUCCIÓN .....                                                                | 7        |
| 2.1.1.2 PRODUCTO .....                                                                            | 9        |
| 2.2 MARCO TEÓRICO .....                                                                           | 10       |
| 2.2.1 EXTRUSIÓN .....                                                                             | 12       |
| 2.2.1.1 MÉTODOS DE EXTRUSIÓN DE ALIMENTOS.....                                                    | 12       |
| 2.2.2 EQUIPOS DE EXTRUSIÓN PARA ALIMENTOS .....                                                   | 14       |
| 2.2.2.1 EXTRUSORAS DE TORNILLO SIMPLE .....                                                       | 14       |
| 2.2.2.2 EXTRUSORAS DE DOBLE TORNILLO .....                                                        | 16       |
| 2.3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....                                                              | 19       |
| 2.5 CONSIDERACIONES DE DISEÑO .....                                                               | 20       |
| 2.5.1 COMPONENTES DE LA EXTRUSORA .....                                                           | 21       |
| 2.5.1.1 ZONA DE ALIMENTACIÓN (TOLVA) .....                                                        | 21       |
| 2.5.1.2 TORNILLO SIN FIN .....                                                                    | 22       |
| 2.5.1.3 BOQUILLA.....                                                                             | 24       |
| 2.5.1.4 CILINDRO.....                                                                             | 25       |
| 2.5.1.5 SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA .....                                                  | 26       |

|                                                   |           |
|---------------------------------------------------|-----------|
| 2.5.1.6 VARIADOR DE FRECUENCIA .....              | 27        |
| 2.5.2 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO ..... | 29        |
| 2.5.2.1 CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN.....              | 29        |
| 2.5.2.2 TEMPERATURA DE OPERACIÓN.....             | 29        |
| 2.5.2.3 TIEMPO DE EXTRUSIÓN .....                 | 29        |
| 2.5.2.4 DIMENSIONES INICIALES.....                | 29        |
| <b>CAPÍTULO III .....</b>                         | <b>37</b> |
| 3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....             | 37        |
| 3.1 CONCLUSIONES .....                            | 37        |
| 3.2 RECOMENDACIONES .....                         | 38        |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                   | 39        |
| ANEXOS.....                                       | 41        |

### ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABLA 2-1: CONSUMO PER CÁPITA DE PASTAS ALIMENTICIAS EN BOLIVIA, EN KG .....               | 7  |
| TABLA 2-2: VELOCIDAD DE EXTRUSORES.....                                                    | 15 |
| TABLA 2-3: CONDICIONES TÍPICAS DE PROCESADO PARA PRODUCTOS DE ESFUERZO CORTANTE ALTO ..... | 15 |
| TABLA 2-4: COMPARACIÓN DE EXTRUSORAS .....                                                 | 20 |
| TABLA 2-5: DIMENSIONAMIENTO DE CHAVETAS .....                                              | 31 |
| TABLA 2-6: RESUMEN DE DIMENSIONES .....                                                    | 36 |

### ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 2-1: PROYECCIONES DE POBLACION EN EL MUNICIPIO DE SUCRE. ....      | 8  |
| FIGURA 2-2: MAPA DE LA CIUDAD DE SUCRE. ....                              | 10 |
| FIGURA 2-3: TOMA SATELITAL DE LA CIUDAD DE SUCRE.....                     | 10 |
| FIGURA 2-4: ESQUEMA DEL PROCESO DE EXTRUSION.....                         | 11 |
| FIGURA 2-5: EXTRUSORA DE TORNILLO SIMPLE .....                            | 14 |
| FIGURA 2-6: DISPOSICIÓN DE TORNILLOS EN UN SISTEMA DE DOBLE TORNILLO..... | 17 |
| FIGURA 2-7: EXTRUSORA DE DOBLE TORNILLO .....                             | 18 |
| FIGURA 2-8: FLUJOS DE ALIMENTACIÓN .....                                  | 21 |
| FIGURA 2-9: PARTES DE UN TORNILLO EXTRUSOR .....                          | 22 |
| FIGURA 2-10: ZONAS DE UN TORNILLO EXTRUSOR .....                          | 24 |
| FIGURA 2-11: BOQUILLAS. ....                                              | 24 |
| FIGURA 2-12: CILINDRO DE UN EJE. ....                                     | 25 |

|                                               |    |
|-----------------------------------------------|----|
| FIGURA 2-13: SISTEMA DE TRANSMISIÓN. ....     | 26 |
| FIGURA 2-14: VARIADOR DE FRECUENCIA. ....     | 27 |
| FIGURA 2-15: RODAMIENTO ..... ..              | 28 |
| FIGURA 2-16: CHAVETERO ..... ..               | 31 |
| FIGURA 2-17: CILINDRO ..... ..                | 33 |
| FIGURA 2-18: TAPA O BOQUILLA DEL EJE ..... .. | 34 |
| FIGURA 2-19: CUCHILLA ACOPLADA AL EJE..... .. | 34 |
| FIGURA 2-20: TOLVA DE ALIMENTACIÓN ..... ..   | 35 |

## **1 INTRODUCCIÓN**

El presente trabajo de investigación está enfocado en el diseño de una máquina extrusora de alimentos derivados de la harina, en este caso en específico las pastas largas. La máquina está destinada al mercado sucrense, en concreto para las pequeñas y medianas empresas que su producción es netamente artesanal lo que conlleva a que el proceso sea totalmente dependiente de las habilidades y experiencia del operante, provocando una limitante bastante tangible en términos de higiene y de producción, Por lo tanto con la tecnología de extrusión se dará una solución alternativa para poder industrializar sus procesos, generando así un menor o casi nulo contacto humano con los alimentos producidos, llevando el producto final a estándares de inocuidad e higiene. Asimismo, incrementara la producción de las mencionadas anteriormente.

### **1.1 ANTECEDENTES**

En un principio, la realización de alimentos derivados de la harina se hacía de manera artesanal, comenzando con la elaboración de la masa que era totalmente manual para posteriormente darle la forma requerida utilizando moldes para tal efecto.

Nos remontamos a la década de 1870 donde se comenzó a usar los principios de extrusión en la elaboración de salchichas, posteriormente esta tecnología comenzó a extenderse al negocio de los cereales, pastas, snacks a mediados de 1930. A partir de entonces el mercado mundial alimenticio tienen como base algún sistema de extrusión, siendo así la tecnología que actualmente usan empresas nacionales de renombre como ser FAMOSA, LA ESTRELLA, LAZZARRONI, Etc.

Según Mathias-Maverick (2019), el procesamiento de extrusión comercial de productos alimenticios se viene aplicando desde hace más de 60 años. La primera aplicación comercial de este proceso de cocción por extrusión fue a mediados de la década de 1940. El producto final fue la harina de maíz directamente expandida. Actualmente, el proceso de extrusión se ha convertido en un sistema primario de cocción continua en la producción comercial de la mayoría de los alimentos. Existen numerosos ejemplos de operaciones de extrusión en toda su historia, como los alimentos, lo cuales incluyen la producción de alimentos para humanos, alimentos para mascotas, acuícolas, etc.

Rossen y Miller (1973) ofrecieron la siguiente definición práctica: "La extrusión de alimentos es un proceso en el cual un material alimenticio es forzado a fluir bajo una o más variedades de condiciones de mezclado, calentamiento y cizallamiento, a través de un molde que está diseñado para establecer un formato.

Hay distintos tipos de extrusores pero los principales y más populares son los extrusores de tornillo. Emplean tornillos sencillos, tornillos gemelos o múltiples rotando dentro de un cañón estacionario para empujar el material hacia adelante para hacer pasar la masa a través de un orificio especialmente diseñado llamado dado o boquilla.

Los autores Tirado, Gutiérrez y Ruiz (2017) indican que un extrusor monotornillo tiene una única fuerza que mantiene el material girando con el tornillo y avanzando hacia adelante es la fricción contra la superficie interna del barril o cilindro. Este hecho tiende a limitar las formulaciones que es posible extruir con un extrusor monotornillo; las formulaciones con un contenido alto de humedad y ricas en grasas podrían ser difíciles de extruir con un extrusor de esa clase.

En nuestro medio, las empresas pequeñas dedicadas a la fabricación de productos alimenticios en base a harina elaboran este tipo de alimentos, sin embargo están limitados a la hora de incrementar su producción, ya que no cuentan con la tecnología necesaria, pese a que como se dijo líneas arriba, esta tecnología ya existe pero no pueden ser adquiridas ya que no cuentan con los recursos económicos, además las máquinas extrusoras del exterior están diseñadas para grandes capacidades por lo cual no están alineadas con la producción de una pequeña empresa.

Con el diseño se pretende implementar una alternativa de solución para que las empresas puedan incrementar su producción bajo normas rigurosas de inocuidad e higiene que exigen las buenas prácticas de manufactura.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El proceso de producción de estas empresas es artesanal, los requisitos de buenas prácticas de manufactura se cumplen de forma parcial, qué, por falta de recursos económicos no pueden acceder a una máquina con tecnología de extrusión.

### **1.2.1 Formulación del problema**

¿Es posible contribuir al desarrollo de inocuidad y buenas prácticas de manufactura en la producción y transformación de alimentos en pequeñas o medianas empresas mediante el estudio del diseño de una máquina extrusora de alimentos derivados de la harina?

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

El diseño de una máquina extrusora de alimentos será una innovación tecnológica que mejorará e incrementará significativamente los estándares de producción de alimentos derivados de la harina, que a su vez repercutirá positivamente en los aspectos económicos como sociales.

### **1.3.1 Justificación económica**

**Incremento de producción:** Al poner en práctica esta máquina permitirá incrementar la capacidad de producción dando como resultado un incremento en sus ingresos.

**Reducción de desperdicio de materia prima:** Como ventaja de implementar este sistema suprimiríamos la variable del error humano ya que la máquina estará encargada de llevar a cabo esta tarea.

**Mayor control de calidad:** Al suprimir los procesos dentro de la elaboración del producto como ser la fase de amasar y cortar, necesitaremos menor número de operarios dentro de estos procedimientos, por lo tanto, los funcionarios serán reubicados a mecanismos encargados del control de calidad.

**Mejor posicionamiento en el mercado:** Al tener ciertos parámetros de calidad y producción obtendrán un mejor posicionamiento.

**Consumo mínimo de energía:** La máquina usará poca potencia nominal, por ende, la demanda de consumo será relativamente baja.

**Reducción de costes de producción:** Implementando esta tecnología reduciremos gastos como se especificó en párrafos anteriores.

### **1.3.2 Justificación técnica**

Como se mencionó anteriormente una máquina extrusora adaptada a los requerimientos de los pequeños productores, será una innovación tecnológica, no solo para las pymes sino de igual manera para nuestro medio.

**Innovación:** En nuestro medio es muy difícil desarrollar nuevas tecnologías para el beneficio de nuestra población sin embargo adaptar esta tecnología es una idea mucho más realista ya que contamos con toda una bibliografía por detrás que nos respalda.

### 1.3.3 Justificación social

**Salud ocupacional:** En los párrafos anteriores de este documento se mencionó que el trabajo es bastante laborioso, cargar con la masa, cortarla, amasarla supone un trabajo de gran desgaste energético.

Al incluir esta máquina en el proceso de elaboración de pastas, podremos reubicar a los trabajadores a otras áreas donde sus tareas no sean perjudiciales para la salud de estos.

**Beneficio para el consumidor.** Al no estar en contacto directo con el operador durante gran parte del proceso, se podrá garantizar un producto con mayor higiene y de mayor inocuidad. Además, al minimizar los costos de elaboración del producto, el mismo tendrá un precio más competitivo y atractivo para el consumidor.

## 1.4 METODOLOGÍA

El tipo de metodología que se manejó en la elaboración del presente trabajo de investigación y desarrollo de la monografía fue; la investigación metódica, investigación aplicada y la investigación y exposición descriptiva.

### 1.4.1 Métodos

- **Investigación Metódica:** Se hará una investigación sistemática de la bibliografía existente para garantizar que se cumplan los objetivos planteados.
- **Aplicativos:** Se aplicará los conocimientos adquiridos de diseño impartidos en la carrera de ingeniería electromecánica, haciendo así un aporte a la sociedad.
- **Descriptivos:** Se procederá a la descripción de las características de nuestra máquina y él porque es una alternativa de solución.

### **1.4.2 Técnicas e instrumentos**

**Software de diseño:** Una vez determinados los parámetros de diseño se procederá a llevar al programa de diseño asistido AUTODESK INVENTOR ya que en este podremos ver nuestras piezas en tres dimensiones y cómo interactúan entre ellas para su posterior ensamblaje.

Este software también nos ofrece la posibilidad de aplicar el material deseado y mostrar análisis de estrés del material.

## **1.5 OBJETIVOS**

### **1.5.1 Objetivo general**

Desarrollar el estudio del diseño de una máquina extrusora de alimentos derivados de la harina.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Analizar las diferentes tecnologías y métodos de extrusión para determinar la más acorde a los requerimientos del proyecto.
- Desarrollar la máquina de extrusión con estándares de Higiene e inocuidad.
- Realizar un análisis de costos económicos para garantizar la factibilidad en nuestro medio.
- Plantear un diseño de montaje y desmontaje sencillo.
- Establecer la demanda a satisfacer de una pequeña o mediana empresa del mercado sucrense.
- Realizar el diseño y plantear todas las piezas en el software de diseño asistido AUTODESK INVENTOR.

## CAPÍTULO II

### 2 DESARROLLO

#### 2.1 MARCO CONTEXTUAL

El presente proyecto está desarrollado para pequeñas o medianas empresas dedicadas a la elaboración de productos derivados de la harina, siendo así las “pastas largas” el producto seleccionado para este trabajo, destinado a las empresas que quieran dar el siguiente paso e industrializar sus procesos, de la misma manera cabe aclarar que el mismo será diseñado para satisfacer una parte del mercado de la ciudad de Sucre.

##### 2.1.1 Determinación de características y requerimientos de una Pequeña o mediana empresa

###### 2.1.1.1 Demanda y producción

Para entender mejor la demanda de pastas largas en el mercado sucreño se tomó en cuenta el estudio de mercado de la AEMP (Autoridad de Fiscalización de Empresas) y las estadísticas del INE (Instituto Nacional de Estadística).

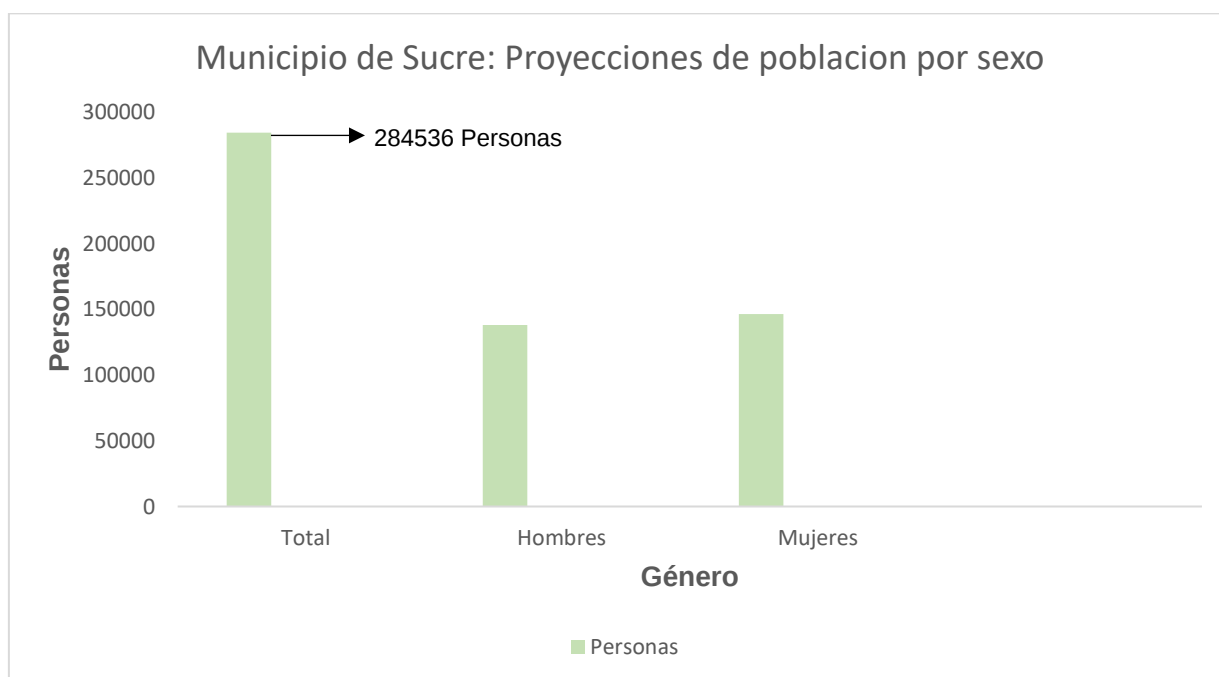
**Tabla 2-1:** Consumo per cápita de pastas alimenticias en Bolivia, en kg

| Año/dep | Santa Cruz<br>Kg/Persona | La Paz<br>Kg/Persona | Cochabamba<br>Kg/Persona | Chuquisaca<br>Kg/Persona |
|---------|--------------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------|
| 2012    | 6.8                      | 8.7                  | 7.0                      | 6.9                      |
| 2013    | 6.8                      | 6.1                  | 8.3                      | 7.4                      |
| 2014    | 7.4                      | 9.5                  | 8.8                      | 9.3                      |
| 2015    | 7.6                      | 11.0                 | 9.9                      | 9.4                      |
| 2016    | 6.2                      | 9.4                  | 9.0                      | 9.1                      |

**Fuente:** INE proyecciones de la población y datos de volumen de ventas de las empresas productoras e importadoras de pastas

En la tabla 2-1, se muestra los consumos per cápita de pastas en los departamentos de Santa Cruz, La Paz, Cochabamba Y Chuquisaca, para los años 2012 al 2016. En esta Tabla, se puede ver que el consumo per cápita del departamento de Chuquisaca se ha ido incrementando desde el 6 kg/persona en el 2012 hasta 9.4 kg/persona en el 2015 y con una pequeña disminución en el consumo en el año 2016. Tomando en cuenta la evolución del consumo dentro de la estadística se tomará como valor un consumo anual por persona de 9 kg.

Esto con respecto a Chuquisaca, sin embargo, la demanda que nos interesa se reduce solo al mercado sucrense con lo cual recurrimos a las cifras poblacionales que registra el INE.



**Figura 2-1:** Proyecciones de población del municipio de Sucre

**Fuente:** Instituto Nacional de Estadística. Revisión 2014

Para alinear los datos del estudio de mercado se tomará en cuenta los datos registrados del INE del año 2017, teniendo 284536 personas en el municipio de Sucre.

Siendo así la demanda anual de 2 560 824 kg de pastas al año, cabe señalar que al ser nuestra máquina destinada para una pyme, nuestro interés se centrara en el 2% de la demanda anual del mercado sucrense, ya que es porcentaje real que se podría satisfacer dado las escalas del proyecto y los topes de producción del mismo, , además es un porcentaje de producción moderado siendo así que las empresas pequeñas recién están dando un salto a un desarrollo de manera industrializada, teniendo en cuenta que en nuestra ciudad ya se encuentran establecidas bastantes marcas nacionales como ser: Lazononi, fideos Paloma, etc. Que ocupan la mayor área de mercado de este sector.

Por lo tanto, aproximadamente se deberá producir anualmente 51 215 kg de pastas al año.

#### **2.1.1.2 Producto**

El producto que se desea extruir es una pasta larga en base a harina de la sémola de trigo, basándonos en los productos de la estrella, lazononi, carozzi se requiere que el largo sea de 250 mm y un espesor de 3 mm, en una presentación 400 g, que necesitara estar en agua hirviendo aproximadamente 9 minutos para ser cocidos.

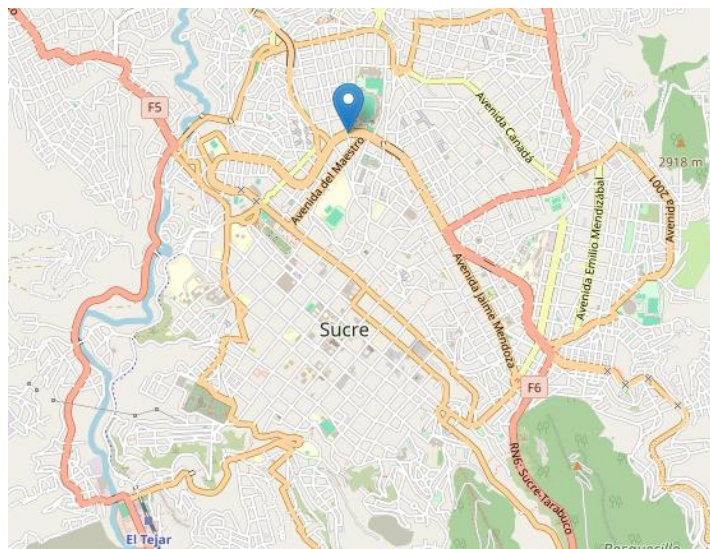
En lo que a materia prima concierne los componentes para la elaboración de pastas son el agua y la sémola, compuesta principalmente por las proteínas del gluten y por almidón. La sémola se obtiene generalmente de trigos duros que se fragmentan en partículas grandes y las harinas de trigos blandos, aunque algunos pueden dar semolinas que también son utilizadas como materia prima en la obtención de pastas. El contenido de agua, que se adiciona en el momento del amasado es de 18-25%, con respecto a las materias primas secas, consiguiéndose entonces una masa con 30-32% de humedad y un producto terminado con 12.5% de agua con respecto a la masa. (Quero, 2016). Otros componentes son:

**Huevo:** aporta consistencia y color a la pasta y la hace más nutritiva. Se adiciona en forma líquida o deshidratada.

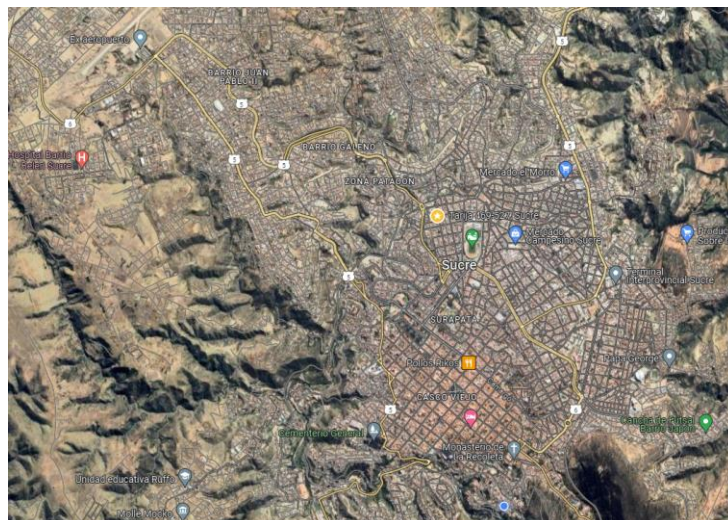
**Suplementos de vitaminas y minerales:** se adiciona compuestos preparados especiales como hierro, y vitaminas del complejo B o complementos naturales como levadura de cerveza y germen de trigo. A este tipo de pastas se le conocen como enriquecidas.

**Suplementos proteínicos:** estos suplementos pueden ser harina de soya, leche descremada en polvo o gluten de trigo. A estas pastas se les denomina fortificadas.

## 2.2 MARCO TEÓRICO



**Figura 2-2:** Mapa de la ciudad de Sucre.  
**Fuente:** Google Maps.



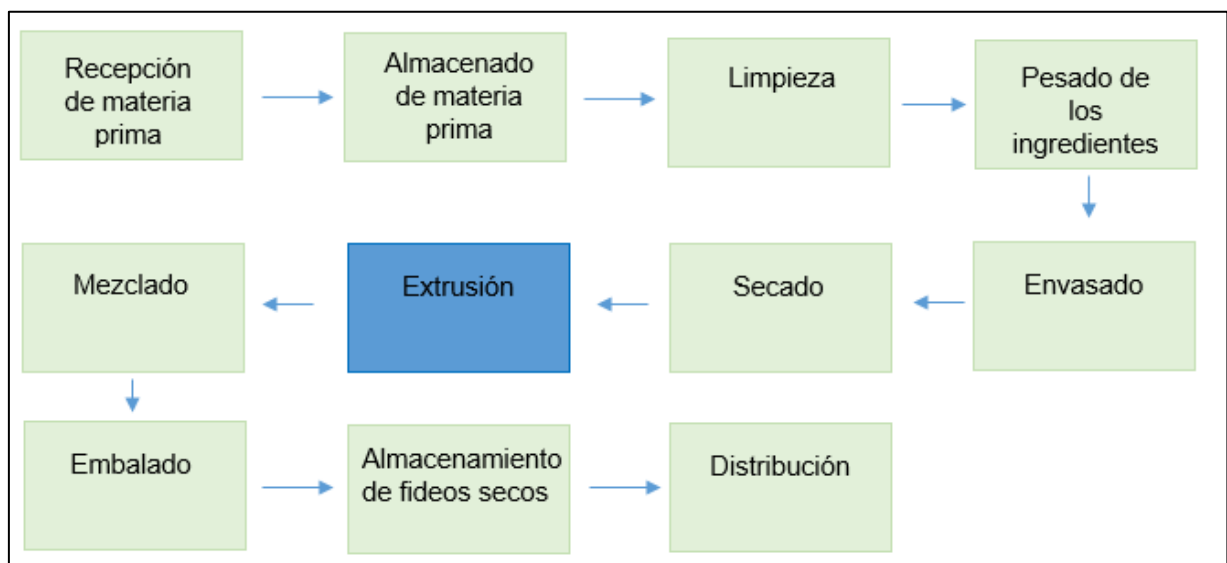
**Figura 2-3:** Toma satelital de la ciudad de Sucre.  
**Fuente:** Google Maps.

El mercado sucreño es bastante amplio cuando se refiere al aspecto alimenticio. Específicamente hablando de las pastas es uno de los productos abanderados en la ciudad de Sucre, se lo ve bastante en los supermercados en diferentes presentaciones, siendo así las más populares los empaques de 400 y 500 g. siendo usados domésticamente como también en los distintos restaurantes a lo largo de la capital, siendo así uno de los alimentos básicos de la canasta familiar.

Por lo tanto, es natural que las empresas pequeñas dedicadas a producir este producto requieran aumentar la producción del mismo, para recibir mayores ganancias y haciendo mucho más eficiente su trabajo.

Pero para industrializar el desarrollo de pastas largas se debe conocer que procesos de este se pueden optimizar.

La figura 2-2. muestra un esquema del proceso productivo de pastas



**Figura 2-4:** Esquema del proceso de extrusión

**Fuente:** Flujo del proceso productivo y escalas de producción Secretaria de gobierno México

Como se puede apreciar en el esquema, existen muchas operaciones para la elaboración del producto final, una de las operaciones más importantes es la extrusión y nos enfocaremos específicamente en esta operación, ya que la función principal del equipo en estudio es la extrusión de la pasta, que es el título principal del presente estudio.

### 2.2.1 Extrusión

M. Beltrán y A. Marcilla (2012) indican en una definición amplia que el proceso de extrusión hace referencia a cualquier operación de transformación en la que un material fundido es forzado a atravesar una boquilla para producir un artículo de sección transversal constante y, en principio, longitud indefinida. Además de los plásticos, muchos otros materiales se procesan mediante extrusión, como los metales, cerámicas o alimentos, obteniéndose productos muy variados como son las pastas alimenticias, etc. Desde el punto de vista de la alimentación, la extrusión es claramente uno de los procesos más importantes de transformación. (p. 79)

Según Guy (2002) la elección de la adecuada configuración del extrusor es crítica para el éxito de la extrusión. El fabricante del equipo de extrusión deberá ser capaz de atender las configuraciones hechas a medida para el procesamiento de un producto específico. Existen muchos tipos de extrusores, y cada uno tiene una gama específica de aplicaciones. Una elección inadecuada del extrusor para la aplicación específica muy raramente da como resultado un proceso operando de forma uniforme. (p. 25)

#### 2.2.1.1 Métodos de extrusión de alimentos

**Extrusión manual:** Es un método poco utilizado que se utiliza en la elaboración más rudimentaria, consiste en el uso de una manivela, gatillo, etc. Que mediante un pistón manual empuja la materia prima hacia un orificio. Estos se ven frecuentemente en la elaboración de mermeladas.

Ventajas:

- Bajo costo
- Fácil manejo

Desventajas:

- Baja producción
- Es necesario un operador

- No es ideal para alimentos solidos
- Grado bajo de Inocuidad

**Extrusión en caliente:** Proceso termo-mecánico, en el cual puede haber desde bajas presiones hasta altas presiones de 25 MPa y temperaturas que van desde los 35 a 100 - 180° C (Colina, 2013). Algunas ventajas que nos ofrece este tipo de proceso son:

- Eliminación microbiana del producto
- Aumento de la vida anaquel del producto
- Gelatinización de los gránulos del almidón
- Alto grado de producción
- Apto para elaboración de productos de alimentos solidos

Desventajas:

- Mayor coste de implementación

**Extrusión en frio:** El producto no aumenta su temperatura, ya que únicamente se le aplica presión. Se emplea para elaborar pasta sin cocimiento, como lo son macarrones, salchichas, y algunas pastas para pastelería y confitería. Molina (2020)

Ventajas:

- Menor tiempo de extrusión a comparación de la extrusión en caliente
- Menor coste de instalación a comparación de la extrusión en caliente debido a no necesitar resistencias

Desventajas:

- No elimina la microbiana del producto

## 2.2.2 Equipos de extrusión para alimentos

En la industria alimenticia las configuraciones más populares son las extrusoras de tornillo simple y de doble tornillo.

### 2.2.2.1 Extrusoras de tornillo simple

La extrusora de tornillo simple es el dispositivo de extrusión más utilizado en la industria de procesamiento de alimentos. La extrusora de tornillo simple también serán de mayor capacidad de producción/coste que cualquier otro método de procesamiento de extrusión. Los productos producidos por la extrusora de un solo tornillo van desde pastas cocidas y ligeras, desde aperitivos de maíz hasta pastas densas, parcialmente cocidas y formadas. (Mathias, 2021)



**Figura 2-5:** Extrusora de tornillo simple  
**Fuente:** Rew (Restaurant Equipment World™)

**Tabla 2-2:** Velocidad de extrusores

| Parámetro                    | Cizallamiento bajo | Cizallamiento medio | Cizallamiento alto |
|------------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| Velocidad del tornillo (RPM) | Menor que 100      | Mayor que 100       | Mayor que 100      |

**Fuente:** Clasificación de extrusores de tornillo único Soto, J., Tarqui, P.y Quiros, E.

En la tabla 2-2 podemos ver que se recomienda usar arriba de 100 revoluciones por minuto para materias primas que necesiten un mediano o alto grado de cizallamiento, que es el caso de nuestra máquina ya que el principal componente de la harina es el almidón (70-75%)

**Tabla 2-3:** Condiciones típicas de procesamiento para productos de esfuerzo cortante alto

| Parámetros               | Unidades | Valor   |
|--------------------------|----------|---------|
| Extrusor                 | rpm      | 300-400 |
| Temperatura del cilindro | °C       | 120-160 |
| Presión del cilindro     | Atm      | 70-150  |

**Fuente:** Extrusores en las aplicaciones de alimentos. Riaz

La tabla 2-3 se aprecia una serie de condiciones típicas en extrusoras para alto grado de cizallamiento, que nos sirve como referencia para escoger valores de velocidades entre los rangos de 300-400 rpm. De igual manera nos muestra los rangos tanto de temperatura como de presiones que se deben manejar en este tipo de procesos de alto grado de cizallamiento, debido también a los rangos de temperatura mostrados en la tabla 2-3 se denota que para la producción de pastas en su gran mayoría trabajan con una extrusión en caliente.

En tema de capacidad de producción las extrusoras monotonillo se destacan en la fabricación de productos alimenticios y son las máquinas de preferencia en este rubro. Teniendo así una de las grandes empresas nacionales como Lazzaroni una línea de producción que contiene este tipo de tecnología con una capacidad de 1400 kg/h y otra de 2000 kg/h (Huanca, 2007).

Desventajas:

- El transporte de material de la extrusora de un solo tornillo se basa principalmente en la fricción, por lo que el rendimiento de alimentación es limitado y la carga inorgánica son difíciles de unir.

- Cuando la presión de la cabeza es alta, la contracorriente aumenta, lo que reduce la productividad.

Ventajas:

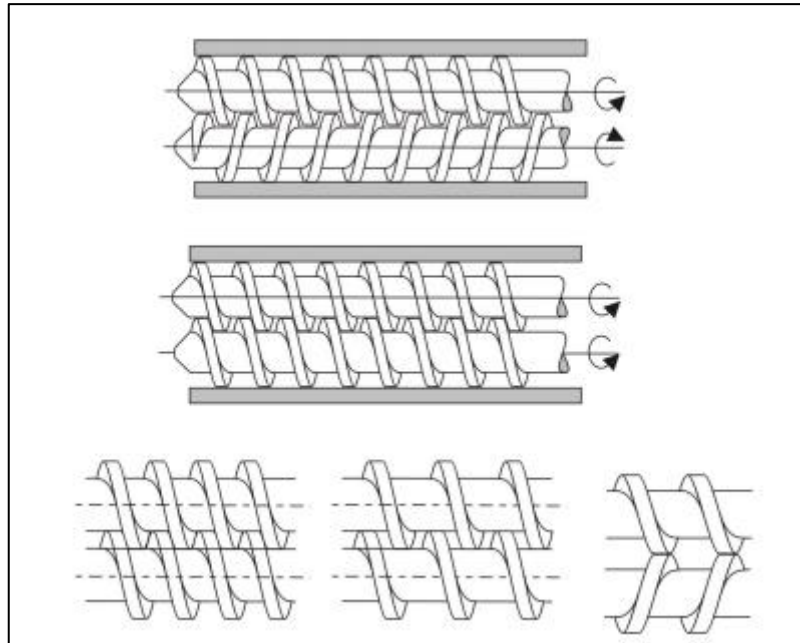
- Mayor capacidad de producción coste-beneficio
- Menor coste de instalación
- Menor desgaste de piezas

#### **2.2.2.2 Extrusoras de Doble tornillo**

Originalmente desarrolladas para el procesamiento de plásticos, las compañías de alimentos comenzaron a usar extrusoras de doble tornillo para productos como caramelos pegajosos y dulces que no se podrían hacer con las máquinas de un solo tornillo. Muy pronto, las extrusoras de doble tornillo se hicieron populares con los fabricantes de alimentos para muchos productos alimenticios especializados. (Mian N. Riaz, 2021)

Dentro de estas existe gran variedad dependiendo de si los tornillos tienen giro contrario (lo más corriente ya que generan mayor fuerza de cizalla) o paralelo, y del grado de interpenetración entre los mismos. (Beltrán, 2012)

En la figura 2-4 se muestran algunas variantes posibles.



**Figura 2-6:** Disposición de tornillos en un sistema de doble tornillo

**Fuente:** Tecnología de Polímeros. M. Beltrán y A. Marcilla

El sistema de tornillos de una extrusora de doble husillo paralelo se divide generalmente en 4 secciones: sección de transporte, sección de fusión (puerto de escape), sección de plastificación (puerto de vacío) y sección de descarga.

**Sección de transporte:** La función es transportar los materiales y evitar el retroceso.

**Sección de fusión:** En esta sección, los materiales se funden y mezclan completamente mediante la conducción de calor y el cizallamiento por fricción.

**Sección de plastificación:** fundir y mezclar aún más los ingredientes del material, con la función de distribuir y dispersar la mezcla.

**Sección de descarga:** transporte y presurización, formando una cierta presión, haciendo que los materiales sean más compactos, y al mismo tiempo una mayor mezcla, para lograr el propósito de extrusión y granulación.



**Figura 2-7:** Extrusora de doble tornillo  
**Fuente:** Superior Machinery

La tendencia de desarrollo de las extrusoras de doble tornillo en el mundo es hacia un alto par, alta velocidad y bajo consumo de energía. El efecto de la alta velocidad es la alta productividad.

Las revoluciones que debe tener un sistema de doble tornillo son las mismas que la tabla 2-2 con la excepción de que este sistema solo podrá funcionar para materiales que necesitan un alto índice de cizalladura.

Este tipo de extrusión está dirigida específicamente para la elaboración de plásticos o caramelos como se describió párrafos más arriba y hay un sinfín de máquinas con diferentes capacidades de producción como ser la serie HT Series de “Nanjing Jieya” que tienen capacidades desde los 3500 a 10000 kg/h.

Ventajas:

- Alto grado de cizallamiento y velocidad
- Procesamiento de materiales de alta viscosidad
- Mayor producción que una configuración a un solo tornillo
- Mejor mezclado
- Al tener más fricción genera más calor

Desventajas:

- Mayor consumo energético
- Desgaste de piezas elevado
- Mayor inversión para su implementación

### 2.3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Con la información recopilada en el acápite 2.1 de este trabajo, denotamos que la demanda anual de la ciudad de Sucre es de 2 560 824 kg de pastas largas, asimismo el enfoque del proyecto se centrara en satisfacer un 2% de esta demanda ya que está dirigido a la producción de una Pyme.

Teniendo así que producir nuestra máquina un aproximado de 51 215 kg de pastas largas, para satisfacer el 2% de la necesidad de mercado, además, con la información obtenida se seleccionó que la materia prima base para nuestro producto será la sémola de trigo.

La relación de capacidad de 25 kg/h versus la potencia eléctrica del motor de inducción de 2 kW, es la más importante, porque determina los costos de producción y define la implementación de la máquina extrusora en las pequeñas empresas.

$$\text{Costo} = \text{Cargo}[\text{potencia}(2 \text{ kW}) + \text{Energía}(2 \text{ kW} * 192\text{h})]$$

$$= 584 \text{ Bs/mes.}$$

$$\text{Producción} = 25 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 192 \text{ h}$$

$$= 4800 \text{ kg/mes.}$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{584 \frac{\text{Bs.}}{\text{mes}}}{4800 \frac{\text{kg}}{\text{mes}}}$$

$$= 121.70 \text{ Bs/Tn.}$$

Para seleccionar nuestro sistema de extrusión comparamos los dos sistemas más populares:

**Tabla 2-4:** Comparación de extrusoras

| Características                                                              | Extrusor simple        | Extrusor doble |
|------------------------------------------------------------------------------|------------------------|----------------|
| Llenado                                                                      | x                      | xx             |
| Transporte                                                                   | x                      | xx             |
| Mezclado                                                                     | x                      | xxx            |
| Compresión                                                                   | xx                     | xx             |
| Amasado                                                                      | x                      | xxx            |
| Plastificación                                                               | xxx                    | xxxx           |
| Transferencia de calor                                                       | xx                     | xx             |
| Generación de calor                                                          | xx                     | xxx            |
| Velocidad de tornillo                                                        | Variable               | Variable       |
| Geometría de tornillo                                                        | Fijo/en parte variable | Variable       |
| Auto limpieza                                                                | -                      | +              |
| Desgaste                                                                     | Bajo                   | Medio          |
| X el número de símbolos indica el grado en que la característica se presenta |                        |                |

**Fuente:** Características distintivas de varios tipos de extrusores Meuser y Wiedmann

Por ende y por las necesidades productivas y económicas se eligió como una mejor opción la extrusora de tornillo simple. Además, toda la bibliografía nos indica que son la mejor opción a la hora de producir alimentos de tipo pastas, ya que se apega más a los requerimientos necesarios, al tener enfoque en una empresa más pequeña, el funcionamiento es más sencillo y su mantenimiento es más simple que el de una extrusora de doble tornillo y por su simpleza es más económica su implementación.

## 2.5 CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Para cumplir con nuestros objetivos se diseña nuestra máquina extrusora bajo las siguientes consideraciones:

- Debe ser capaz de satisfacer la demanda de una pyme con los datos de la demanda mostrados párrafos más arriba
- Mejorar la calidad del producto, contemplando la textura de la pasta, el sabor y los porcentajes de los ingredientes expresados con anterioridad
- Elevar la eficiencia a la hora de elaborar productos

- Mantenimiento sencillo
- Debe ser de un costo menor que las alternativas del exterior

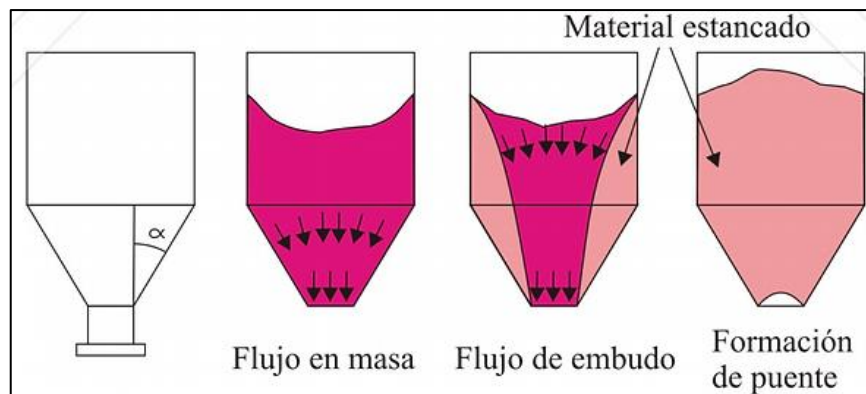
Para cumplir con estas consideraciones el diseño de la máquina contará con los siguientes elementos:

## 2.5.1 Componentes de la extrusora

### 2.5.1.1 Zona de alimentación (Tolva)

El transporte de sólidos en la tolva es, en general, un flujo por gravedad en las partículas, pero se puede dar un flujo en masa.

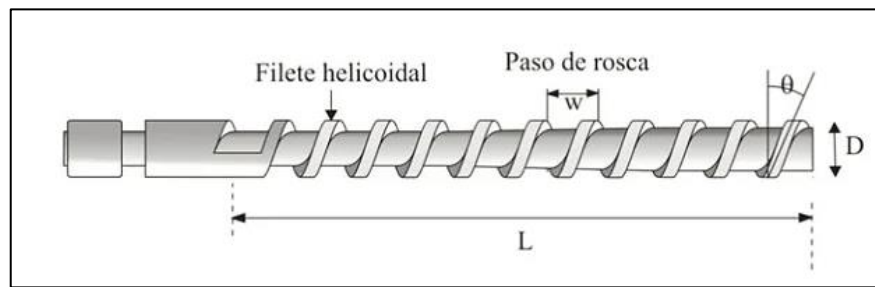
La tolva más popular es la tolva sencilla, esta se refiere a que la tolva no tiene ningún sistema adicional de descarga de material, lo cual, se logra por acción de la gravedad por tanto no hay control de la dosificación del material, este tipo de tolvas resultan muy económicas y pueden utilizarse para almacenar y descargar pequeñas cantidades de material fácilmente (Escobar, 2014)



**Figura 2-8:** Flujos de alimentación

**Fuente:** Tecnología de polímeros. Beltrán y marcilla

### 2.5.1.2 Tornillo sin fin



**Figura 2-9:** Partes de un tornillo extrusor

**Fuente:** Tecnología de polímeros. Beltrán y Marcilla

El tornillo es una de las partes más importantes ya que contribuye a realizar las funciones de transportar, calentar, fundir y mezclar el material. La estabilidad del proceso y la calidad del producto que se obtiene dependen en gran medida del diseño del tornillo. La sección de paso del tornillo no es constante, sino que es mayor en la zona de alimentación. (Beltrán, 2012)

Esta pieza es fabricada normalmente en:

- Acero al Carbono
- Acero Inoxidable Tipo 304 y 316
- Hardox 400-450-500

Y en casos especiales:

- Duplex 2205
- Monel
- Hastelloy

Donde el Acero Inoxidable 304 austenítico es bastante popular ya que combina una buena resistencia a la corrosión y buenas propiedades mecánicas, utilizados ampliamente en transportadores grado alimenticio o donde sea necesario que el producto a granel no sea contaminado. (Bega Helix S.A. de C.V., 2021)

Se utiliza también en la industria Química, industria del queso, y otros productos alimenticios. Es altamente resistente a la corrosión atmosférica, a ácidos como el acético, nítrico, cítrico, etc. A muchos compuestos químicos orgánicos e inorgánicos,

Los parámetros más importantes en el diseño del tornillo son su longitud (L), diámetro (D), el ángulo del filete ( $\theta$ ) y el paso de rosca (W).

### **Filete**

Los filetes que recorren todo el eje son los encargados de transportar el material de un extremo a otro.

### **Paso de rosca**

Es la distancia que separa un alabe de otro alabe.

### **Longitud y diámetro**

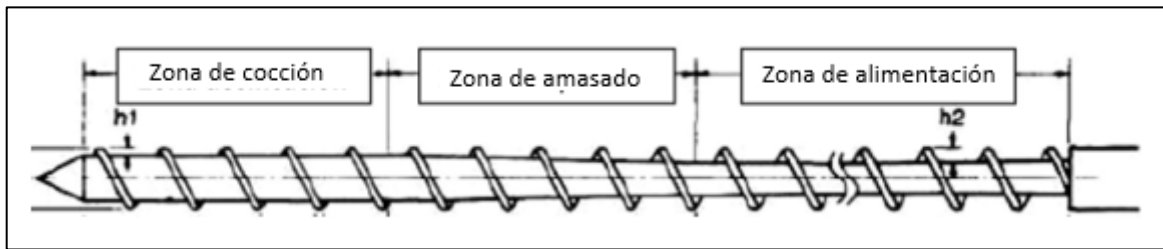
Influyen en el desempeño productivo del equipo y la capacidad de producción. Al incrementar esta dimensión debe hacerlo también la longitud del husillo, ya que el aumento de la productividad debe ser apoyada por una mejor capacidad para fundir (Gutiérrez, 2006)

### **Angulo de inclinación**

Soto, Tarqui, Quiros (2012) se nos explica que Se observa que la eficiencia volumétrica solamente depende del ángulo de la hélice y para los casos más normales de tornillos con el paso igual al diámetro,  $\theta = 17^\circ 40'$ , la eficiencia volumétrica es del 45.4%.

Si  $\theta$  se hace más escarpado, la eficiencia sube sólo a un 48.5%, y disminuye la capacidad de tener una presión frontal útil en el dado. A valores más altos de  $\theta$ , la eficiencia cae drásticamente. (p.35)

Nuestro Tornillo deberá tener 3 zonas divididas en:



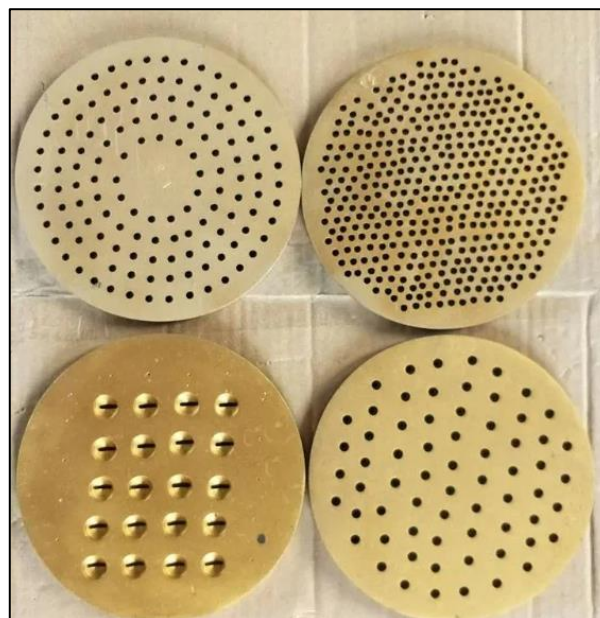
**Figura 2-10:** Zonas de un tornillo extrusor

**Fuente:** Tecnología de polímeros. Beltrán y marcilla

- Zona de alimentación
- Zona de amasado
- Zona de cocción

La temperatura más alta se encontrará en el centro del canal, donde el material está expuesto a mayores cizallas, mientras que en los alrededores se obtendrán temperaturas inferiores si el cilindro está enfriado (Molina, 2024)

### 2.5.1.3 Boquilla



**Figura 2-11:** Boquillas.

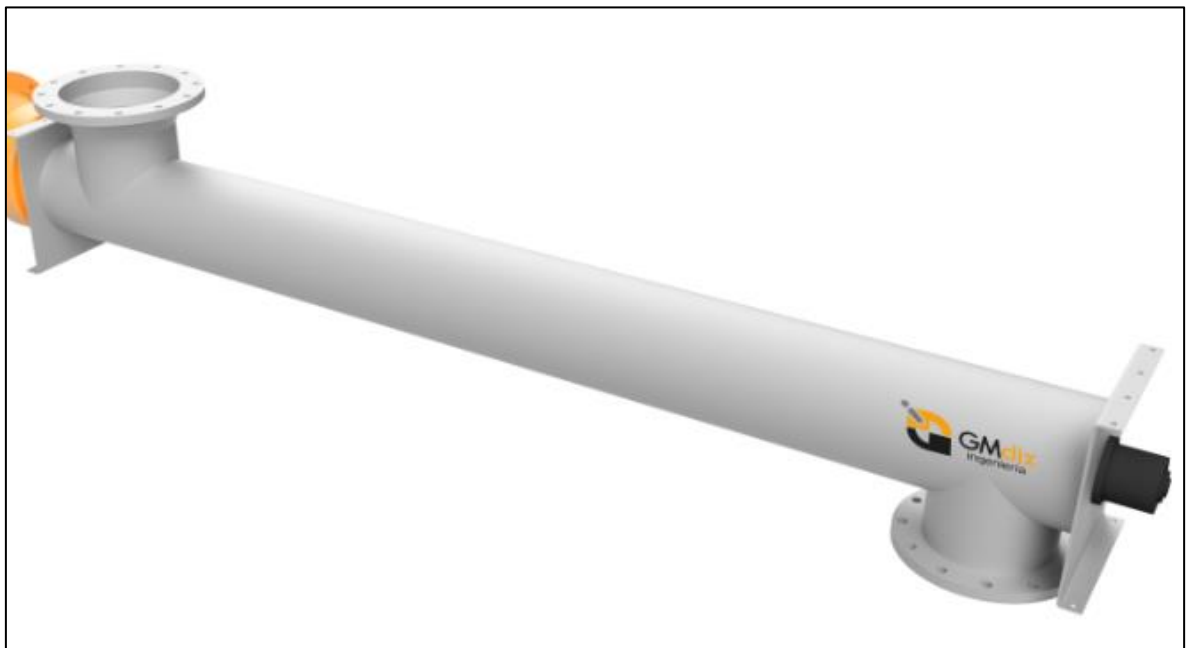
**Fuente:** Aliexpress.

Su función es moldear el material y contribuir a su expansión. Existen distintos diseños para obtener diferentes tipos de resultados (productos).

Existe un gradiente de velocidad en la boquilla en donde la velocidad es máxima en el centro del flujo y cae a 0 en la superficie generalmente. La razón de flujo a través de la boquilla es proporcional a la caída de presión. Inversamente proporcional a la viscosidad y proporcional a una constante geométrica  $K$ , que es la conductancia de la boquilla (reciproco de resistencia).

A las boquillas se podrán acoplar aditamentos como ser una cuchilla para el corte del producto extruido.

#### 2.5.1.4 Cilindro



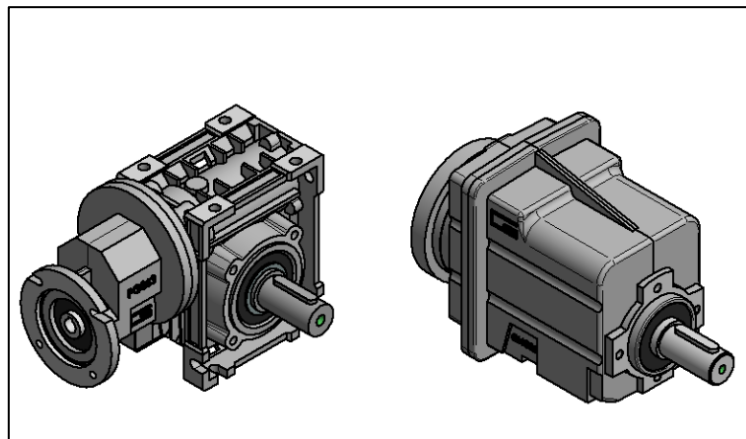
**Figura 2-12:** Cilindro de un eje.

**Fuente:** GMdix.

El cilindro alberga en su interior al tornillo, la superficie del cilindro debe ser muy rugosa para aumentar las fuerzas de cizalla que soportará el material y permitir así que éste fluya a lo largo de la extrusora. Para evitar la corrosión y el desgaste mecánico, el cilindro suele construirse de aceros muy resistentes (Beltrán y marcilla, 2012)

El cilindro por lo general posee sistemas de transferencia de calor. El calentamiento se puede realizar mediante resistencias eléctricas circulares localizadas en toda su longitud.

#### 2.5.1.5 Sistema de transmisión de potencia



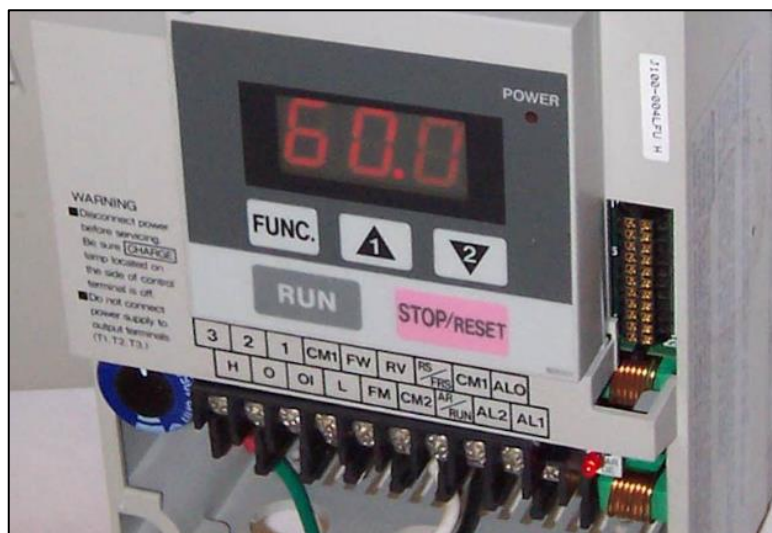
**Figura 2-13:** Sistema de transmisión.  
**Fuente:** DISROD S.A.

La función del sistema de transmisión es impulsar el tornillo y suministrar el par y la velocidad requeridos por el tornillo durante el proceso de extrusión. Suele estar compuesto por un motor, un reductor y un cojinete. Partiendo de la premisa de que la estructura es básicamente la misma, el costo de fabricación del reductor es aproximadamente proporcional a su tamaño y peso. Debido a la gran forma y peso del reductor, significa que se consumen muchos materiales durante la fabricación, y los rodamientos utilizados también son relativamente grandes, lo que aumenta el costo de fabricación.

Durante el proceso de extrusión, la velocidad del tornillo debe ser estable y no puede cambiar con el cambio de la carga del tornillo, para mantener la calidad uniforme de los productos obtenidos. Sin embargo, en diferentes ocasiones, el

tornillo debe tener velocidad variable para lograr el requisito de que un equipo pueda extruir diferentes productos. Por lo tanto, esta parte generalmente utiliza motores de conmutador de CA, motores de CC y otros dispositivos para lograr un cambio de velocidad continuo. (Composición De La Extrusora, 2021)

#### 2.5.1.6 Variador de frecuencia



**Figura 2-14:** Variador de frecuencia.

**Fuente:** S&P Sistemas de Ventilación SLU.

El variador de frecuencia o variador de velocidad es un elemento empleado en equipos que requieren funcionar con velocidades variables, equipos mayormente usados en la industria moderna, como ser las máquinas extrusoras las cuales necesitan un control preciso de velocidad para que su funcionamiento y producción sea el adecuado. (Jaimes, 2012)

El variador de velocidad como su nombre lo indica varia la velocidad de los equipos (motores) y convierte magnitudes variables las magnitudes fijas de tensión y frecuencia este elemento está controlado por un microprocesador de alta tecnología que lo hace fiable y versátil y fácil de instalar, además de tiempo de respuesta a señales de mando rápido y repetible.

El objetivo principal de implementar un variador de frecuencia en el funcionamiento del motor eléctrico de corriente alterna para una extrusora, es controlar o eliminar los paros de arranque que se presentan al inicio de un proceso, evitando daños o

desgastes mecánicos, que llegan a generar la paralización parcial o total de la máquina. (Galarza y Bismark, 2019)

## Rodamiento



**Figura 2-15:** Rodamiento  
**Fuente:** EPIDOR Technical Distribution.

Este elemento mantendrá sujeto al eje sin embargo podrá girar libremente sin ningún impedimento.

El rodamiento debe ser particularmente versátil, tener baja fricción y estar optimizado para un bajo ruido y baja vibración, lo que permitirá altas velocidades de rotación. Deberá admitir cargas radiales y axiales en ambas direcciones y por ultimo de fácil montaje.

## **2.5.2 Determinación de parámetros de diseño**

### **2.5.2.1 Capacidad de producción**

Con la información recabada párrafos más arriba se determinó que para satisfacer el 2% o los 51,215 kg de la demanda anual del mercado sucrense, nuestra máquina deberá producir 25 kg/h, terminando el día con 200 kg de pastas largas tomando en cuenta una jornada laboral de 8 horas. Producción que se adapta a los requerimientos y posibilidades de producción de una pyme.

### **2.5.2.2 Temperatura de operación**

Las temperaturas deberán estar entre 100- 180°C cuando se trata de pastas en base a harina de trigo. Por lo tanto, dentro del cilindro la temperatura deberá mantenerse entre estos rangos (Colina, 2013)

### **2.5.2.3 Tiempo de extrusión**

Nuestra máquina extrusora desde la fase de alimentación hasta la zona de extrusión (boquilla) deberá tardar 2 minutos.

Teniendo así que el proceso de cocción del producto se debe realizar en poco tiempo (10 a 60 s) y es considerado como un proceso de alta temperatura y corto tiempo (HTST). (Molina, 2024).

### **2.5.2.4 Dimensiones iniciales**

Como el presente trabajo tiene como enfoque las pequeñas empresas, el diseño debe seguir la misma línea. Por lo tanto, la máquina no debe tener dimensiones muy grandes ya que normalmente el lugar donde estas pymes se desenvuelven son espacios reducidos.

Según Molina (2020) las variables independientes del diseño son la tolva, el tornillo, la boquilla y el cilindro

Por lo que los demás parámetros serán solo referenciales a la bibliografía o a las características que comparten con máquinas similares. Se comenzará con el núcleo de la máquina, el tornillo.

### **Tornillo extrusor**

Dado que en el presente trabajo no se realiza la ingeniería del proyecto, sin embargo, para el dimensionamiento del tornillo se hizo unos cálculos básicos, para poder generar su respectiva geometría, cabe señalar que estas dimensiones serán paramétricas en caso de que se requiera para un próximo proyecto.

De acuerdo con la bibliografía y las necesidades de producción se dimensiono el tornillo con diámetro del eje en 50 mm. Y sumadas las aspas se dimensiono en 80 mm. Con una longitud de 365 mm donde el eje de diámetro 50 se extiende hasta los 425 mm donde nuestro eje reducirá su diámetro a 25 mm para poder insertarse en los rodamientos siendo su longitud final 590 mm.

Cada zona del tornillo llevara distintos pasos sin embargo la zona de amasado y cocción compartirán la misma longitud de paso esto debido a reducir los costes de producción.

Paso zona de alimentación = 25 mm

Paso zona de amasado y cocción = 13.5 mm

Así mismo estas zonas tendrán distintas longitudes:

Zona de alimentación = 160 mm

Zona de amasado = 120 mm

Zona de cocción = 85 mm

Con estas características se prosiguió a hacer unos cálculos básicos para determinar las dimensiones necesarias. Las ecuaciones que se utilizaron se encuentran en **V. K. Savgorodny (1978)**

Dimensionaremos el ancho del filete a través de la expresión:

$$e = 0.12 * D$$

Que al tener todas las zonas del tornillo el mismo valor de diámetro quedaría de la siguiente forma:

$$e = 0.12 \cdot 80$$

$$e = 9.6 \text{ mm}$$

Previamente se indicó que para la mayoría de tornillos simples su ángulo de inclinación es **17°,40'**. Por lo tanto, nos quedaremos con este valor.

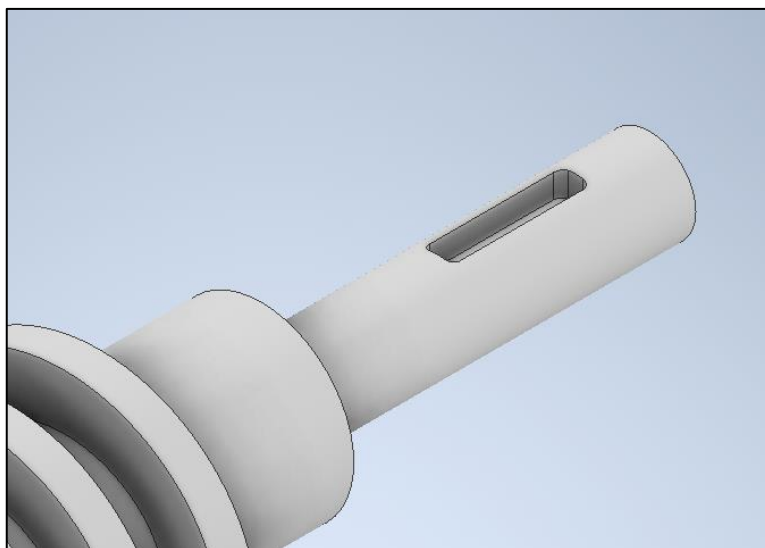
Por otra parte, en el eje de salida se realizó un chavetero según Antezana (2020)

**Tabla 2-5:** Dimensionamiento de chavetas

| Ø Eje d (mm) desde-<br>hasta | Medidas de chaveta<br>b x h(mm) |
|------------------------------|---------------------------------|
| 17-22                        | 6 x 6                           |
| 22-30                        | 8 x 7                           |
| 30-38                        | 10 x 8                          |
| 38-44                        | 12 x 8                          |

**Fuente:** Chavetas y chaveteros Antezana

Con nuestro eje de 25 de salida tomamos los valores de 8 mm en la base y 7 mm de altura. Para la longitud, se recomienda que este sea 1.5 veces el diámetro del eje, resultando así en 37,5 mm.



**Figura 2-16:** Chavetero

**Fuente:** Propia

## **Selección de rodamientos**

Se escogió un Rodamiento rígido de bolas que cumpla las normas ISO estándares, así como las Normas DIN 625 y DIN 620.

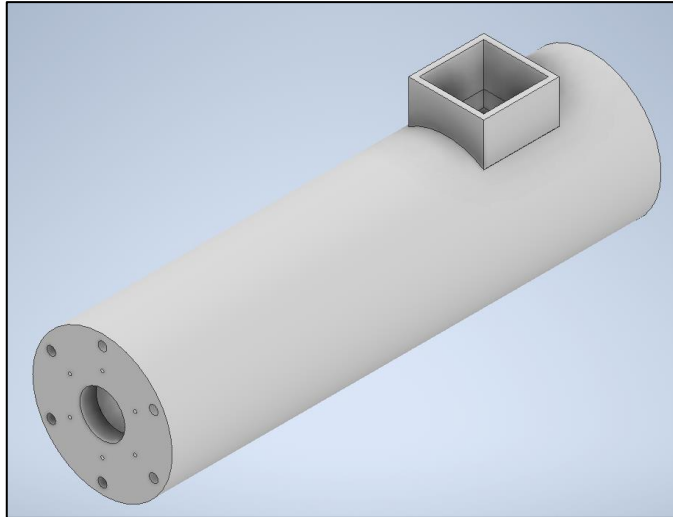
En este caso por las dimensiones se decantó por la serie 61905 un rodamiento particularmente versátil, tiene baja fricción y está optimizado para un bajo ruido y baja vibración, lo que permite altas velocidades de rotación. Admiten cargas radiales y axiales en ambas direcciones, son fáciles de montar y requieren menos mantenimiento que muchos otros tipos de rodamientos.

## **Cilindro**

Para el cilindro se tomó en cuenta las medidas del tornillo dejando 5 mm de holgura entre las aspas y el cilindro para una mejor eficiencia a la hora de transportar la materia y llevarlos hasta el punto de la extrusión.

El diseño de nuestro cilindro permitirá el ingreso del tornillo sin fin para su posterior posicionamiento topando con los rodamientos y las paredes del mismo, de esta manera el esquema planteado nos permite el fácil desarme de este para hacer una limpieza o revisar algún defecto que presente nuestra máquina.

También se tuvo en cuenta que este cilindro es intermediario entre la tolva y el tornillo sin fin, dándole un espacio de 70 x 70 mm y una superficie para que nuestra tolva se pueda acoplar de manera sencilla y sin otro tipo de uniones.



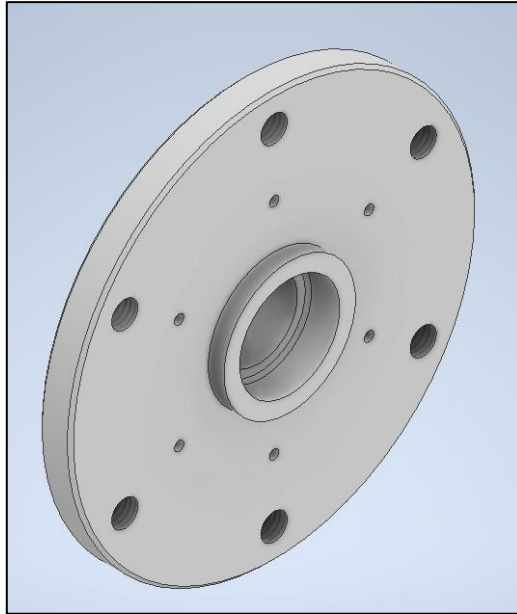
**Figura 2-17:** Cilindro  
**Fuente:** Propia

### **Tapa o boquilla**

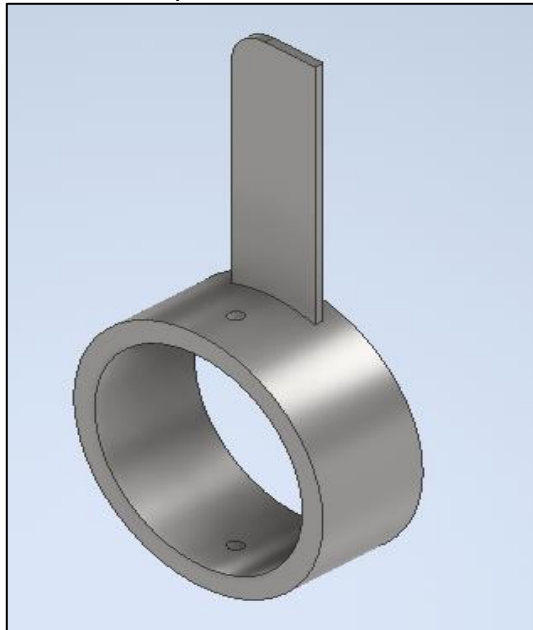
Esta parte es de suma importancia ya que por esta saldrá nuestro producto extrusionado hacia el exterior, se diseñó de acuerdo al producto que se quiere tener, en este caso pastas largas de 3 mm de diámetro, dejando paso al eje tanto en la entrada como en la salida.

Se unirán al cilindro por 6 tornillos de Ø10.5 mm con una profundidad de 30 mm.

Al eje de salida se le añadirá también una cuchilla que girará junto al tornillo y se unirá al mencionado anteriormente con 2 tornillos de Ø 2 mm con una profundidad de 5 mm.



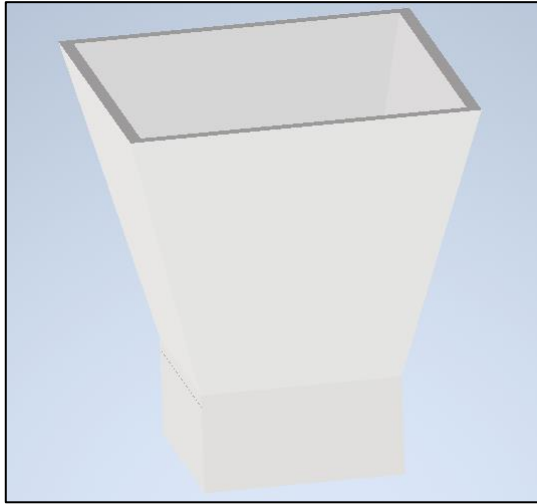
**Figura 2-18:** Tapa o boquilla del eje  
**Fuente:** Propia



**Figura 2-19:** Cuchilla acoplada al eje  
**Fuente:** Propia

## **Tolva**

Esta pieza se diseñó estrechamente relacionada a las dimensiones del cilindro para que esta se pueda acoplar sin ninguna unión externa y proporcional a la línea de diseño que nuestra máquina va tomando.



**Figura 2-20:** Tolva de alimentación  
**Fuente:** Propia

## **Material**

El nivel de exigencia y control dentro de la industria alimenticia son bastante rigurosos, esto para que la salud de los consumidores no se vea afectada.

Por ende, para garantizar un producto estandarizado, toda nuestra máquina estará fabricada en su totalidad en acero Inoxidable 316 de grado alimenticio, ya que este material está aprobado y recomendado tanto por la FDA (Food and Drug Administration) y el reglamento europeo (CE 1935/2004). Teniendo una composición de cromo, níquel, molibdeno y bajo contenido de carbono ofreciendo una mayor resistencia a la corrosión y oxidación.

## Resumen de parámetros de diseño

**Tabla 2-6:** Resumen de dimensiones

| <b>Máquina Extrusora</b>         |                                 |
|----------------------------------|---------------------------------|
| <b>Tornillo sin fin</b>          |                                 |
| Diámetro de eje                  | 50 mm                           |
| Diámetro con aspas               | 80 mm                           |
| Angulo del filete                | 17°40'                          |
| Longitud total                   | 590 mm                          |
| Diámetro de entrada              | 25 mm                           |
| Diámetro de salida               | 25 mm                           |
| <b>Zona de alimentación</b>      |                                 |
| Longitud                         | 160 mm                          |
| Paso                             | 25 mm                           |
| Ancho del filete                 | 9. 6 mm                         |
| <b>Zona de amasado y cocción</b> |                                 |
| Longitud                         | 205 mm<br>(120/85)              |
| Paso                             | 13.5 mm                         |
| Ancho del filete                 | 9.6 mm                          |
| <b>Rodamiento</b>                |                                 |
| SKF 61905                        |                                 |
| <b>Cilindro</b>                  |                                 |
| Diámetro externo                 | 130 mm                          |
| Diámetro interno                 | 90 mm                           |
| Longitud                         | 455 mm                          |
| <b>Boquilla</b>                  |                                 |
| Diámetro interno                 | 25 mm                           |
| Diámetro total                   | 130 mm                          |
| Diámetro espacio de extrusión    | 3 mm                            |
| Diámetro de tornillo             | 10.5 mm                         |
| Numero de tornillos              | 12 (6 de entrada y 6 de salida) |

**Fuente:** Propia

### 3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 3.1 CONCLUSIONES

- **Se desarrolló de manera satisfactoria el estudio de una máquina extrusora de alimentos derivados de la harina**
- Se realizó un análisis acerca de los sistemas de extrusión existentes y se eligió como mejor opción el sistema de extrusión de tornillo simple y por las necesidades productivas y económicas.
- La máquina cumple con los estándares de higiene e inocuidad ya que el producto final no requiere la manipulación de manos humanas hasta el momento de extrusión, además los materiales empleados cumplen con la normativa de la FDA siendo el acero AISI316 de grado alimenticio.
- La máquina efectivamente tiene un precio menor en comparación a las alternativas que se ofrecen en el exterior del país.
- Se afirma que la máquina diseñada será de fácil mantenimiento o reparación gracias a que su desmontaje es sencillo y una gran parte de sus componentes son populares en todo el territorio nacional.
- El diseño de la máquina extrusora satisface la demanda del 2% del mercado suculento pudiendo producir alrededor de 35 kg/h lo que representa una alternativa para las medianas y pequeñas empresas locales para que incrementen su producción.
- El software Autodesk Inventor es una herramienta fundamental a la hora de diseñar todos los elementos que conforman la máquina ya que nos permite ver como las piezas interactúan entre ellas, facilitando así la vista de cómo sería nuestra máquina final.

### 3.2 RECOMENDACIONES

- Dado que el presente proyecto está diseñado para extrusión de productos derivados de la harina, se recomienda que esta provenga de la sémola de trigo ya que el diseño se hizo en base a las características de expansión del almidón que este podría influir en el funcionamiento del tornillo.
- El pre acondicionamiento de la máquina es importante específicamente en la humidificación de la materia prima. Según Molina (2020) Se puede observar que se obtiene una mayor gelatinización con 30% de agua en un tiempo de 25 segundos, por lo que, para obtener estos resultados la pre humidificación debe ser del 30% de agua, esto es porque en las masas de humedad baja utilizadas para la cocción por extrusión, las interacciones físicas iniciales en la formulación causan la disipación de energía friccional y mecánica. Esta fuente de energía sirve para calentar la materia de la masa. Esto se traduce en un menor esfuerzo mecánico para la máquina.
- Se recomienda la limpieza del mismo al finalizar la jornada laboral, esto para que no queden residuos en el interior que puedan alterar la calidad, sabor, textura del producto final
- De acuerdo a la bibliografía usada se recomienda que el motor que se acople a la máquina tenga una potencia nominal de 2 KW.
- Que las resistencias que se acoplaran en la parte media del extrusor alcancen una temperatura comprendida entre los 100-180C°
- Se recomienda el uso de esta monografía como herramienta para investigar el comportamiento de una máquina de estas características para producir diferentes tipos de alimentos.
- La velocidad y la boquilla (orificios de salida) son los que determinan la forma del producto final, por lo tanto, la máquina es capaz de producir diferentes productos además de las pastas largas, como ser macarrones, ricciolis, etc. Siempre y cuando el desarrollo tenga como materia prima base algún tipo de harina proveniente de la sémola de trigo, esto por los factores de expansión del almidón.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AEMP. (2017). *Estudio de mercado de pastas alimenticias en Bolivia*. La Paz-Bolivia: AEMP.

Bega Helix S.A. de C.V. (15 de Enero de 2021). *Bega Helicoidales*. Obtenido de Bega Helicoidales: <https://www.begahelicoidales.com/materiales-fabricar-transportador>

Beltrán, M. y. (2012). *Tecnología de polímeros*. Alicante, España: Universidad de Alicante.

Colina. (2013). *Extrusión*. Iztapalapa : Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa,.

Escobar, A. (2014). *Diseño de una máquina moldeadora de alimentos procesados en forma esférica*. Envigado: Escuela de ingeniería de Antioquia.

Gutiérrez, P. y. (2006). *Metodología para el diseño de tornillos de máquinas extrusoras monohusillo*. Cali, Colombia: Universidad Autónoma de Occidente.

Loren, J. (19 de Octubre de 2011). *Epónimos científicos*. Obtenido de Epónimos científicos: <https://blog.uchceu.es/eponimos-cientificos/principio-de-arquimedes-espiral-de-arquimedes-tornillo-de-arquimedes-crater-de-arquimedes-montes-de-arquimedes-rima-o-fisura-de-arquimedes/>

Mathias, M. (Febrero de 2021). *All Pet food*. Obtenido de All Pet food: <https://allpetfood.net/entrada/proceso-de-extrusion-y-sus-principios-20306/>

Molina, T. (Jueves de Febrero de 2024). *Procesos del manejo mecánico de sólidos*. Obtenido de Procesos del manejo mecánico de sólidos: <https://extrusion-alimentos.wixsite.com/fesc>

Quero, M. (2016). *Presentación Industria de la Pasta*. Viña del Mar: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO.

Savgorodny, V. K. (1973). *Transformación de plásticos (Tecnología de plásticos)*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S.L.

Soto, J. T. (2012). *Prototipo de extrusor de quinua real pra micro, pequeño y medianos productores*. La Paz, Bolivia: Universidad Mayor de Sán Andrés.

Tirado, F. G. (2017). *Extrusión de alimentos*. Trujillo: Escuela de Ingenieria Agroindustrial.

## ANEXOS

### ANEXO A

#### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

| Características de la extrusora de tornillo simple       |             |
|----------------------------------------------------------|-------------|
| Revoluciones por minuto (velocidad de giro del tornillo) | 300-400 rpm |
| Capacidad de producción                                  | 25 kg/h     |
| Longitud del tornillo                                    | 0.59 m      |
| Potencia nominal de la extrusora                         | 2 KW        |

**ANEXO B**  
**PLANOS DE DISEÑO**

## ANEXO C

### COSTOS DE FABRICACION

| Costos                                                    |        |
|-----------------------------------------------------------|--------|
| Materiales (Acero inoxidable 316, tornillos, rodamientos) | 1600\$ |
| Mano de obra (Mecanizado, torneado, soldadura)            | 1200\$ |
| Motor                                                     | 200\$  |
| Total                                                     | 3000\$ |

## ANEXO D

### COTIZACION DE MÁQUINAS SIMILARES

Pasta fresca y pizza:

Mejor precio/producción



MÁQUINA PARA HACER PASTA FRESCA VW6DV.  
EXTRUSORA DE PRODUCCIÓN 38 KG/H

9.843,00 €

**30% DE DESCUENTO** **6.890,10 €**

IVA no incluido |  **Envío gratuito**  
a partir de 290€ + iva en península

Cantidad

1  

 **AÑADIR AL CARRITO**

**¡La mejor relación precio producción!**

Las máquinas para hacer pasta fresca VW6 son fiables, robustas y de alto rendimiento lo que garantiza un producto con un nivel de calidad que se mantiene constante durante años. Son ideales para take away, restaurantes, agroturismos, obradores de pasta y todo el sector hostelero.

#### Características técnicas:

Capacidad de las cubas: 8 kg inferior + 4 Kg superior

Dimensiones: 350x600x1000 mm

Peso: 145 kg

Producción horaria: 38 kg/h

Tamaño de trefilas: 94 mm

Moldes incluidos: 1 trefila de espagueti de 2,5 mm.

Potencia: 1,5 Kw + 0,37 Kw

Voltaje: 400-230V/3/50 Hz (otros voltajes a 60 Hz disponibles)

La casa del chef:

Mejor precio/producción



MÁQUINA PARA HACER PASTA FRESCA VW6.  
EXTRUSORA DE PRODUCCIÓN 26 KG/H

7.105,00 €

**30% DE DESCUENTO** **4.973,50 €**

IVA no incluido |  **Envío gratuito**  
a partir de 290€ + iva en península

Cantidad

1  

 **AÑADIR AL CARRITO**

¡La mejor relación precio producción!

Las máquinas para hacer pasta fresca VW6 son fiables, robustas y de alto rendimiento lo que garantiza un producto con un nivel de calidad que se mantiene constante durante años.

**Características técnicas:**

Capacidad de la cuba: 8 kg

Dimensiones: 350x600x600 mm

Peso: 115 kg

Producción horaria: 26 kg/h

Tamaño de trefilas: 94 mm

Moldes incluidos: 1 trefila de espagueti de 2,5 mm.

Potencia: 1,5 kW

Voltaje: 400-230/3/50 Hz (otros voltajes a 60 Hz disponibles)

## ANEXO E

### CARACTERISTICAS DEL MOTOR

| ELEMENTO               | FASES | VOLTAJE<br>(V) | FRECUENCIA<br>(Hz) | VELOCIDAD<br>(RPM) | POTENCIA<br>(KW) | Cos<br>$\alpha$ |
|------------------------|-------|----------------|--------------------|--------------------|------------------|-----------------|
| Motor<br>SS100L24B34E1 | 3     | 230-400        | 50/60              | 1440               | 3                | 0.83            |