

**PRODUCCIÓN DE MEZCLADORES Y/O PITILLOS BASADOS EN ALMIDÓN  
TERMOPLÁSTICO MEDIANTE EL PROCESO DE EXTRUSIÓN**

**LAURA DANIELA TENJO HERNÁNDEZ**

**EDISSON LEONARDO ROJAS GUERRERO**

**ESCUELA TECNOLÓGICA INSTITUTO TÉCNICO CENTRAL**

**FACULTAD DE PROCESOS INDUSTRIALES**

**2024**

**PRODUCCIÓN DE MEZCLADORES Y/O PITILLOS BASADOS EN ALMIDÓN  
TERMOPLÁSTICO MEDIANTE EL PROCESO DE EXTRUSIÓN**

Presentado por:

**LAURA DANIELA TENJO HERNÁNDEZ**

**EDISSON LEONARDO ROJAS GUERRERO**

Asesores:

Ing. Ángela Aurora Beltrán Osuna

Ing. Jorge Enrique Hower Carreño

Ing. Luis Carlos Bautista Jaime

Trabajo de grado presentado para optar al Título de:

Ingeniero de Procesos Industriales

**ESCUELA TECNOLÓGICA INSTITUTO TÉCNICO CENTRAL.**

Facultad de Procesos Industriales

2024

NOTA DE ACEPTACIÓN

APROBADO

Fabian Práspica

Firma presidente de Jurados

[Handwritten Signature]

Firma Jurado 1

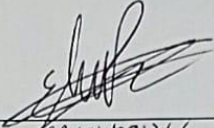
Fabian Práspica

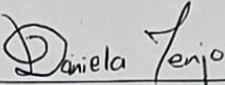
Firma jurada 2

Bogotá D.C., 07 de marzo de 2024

**NOTA ACLARATORIA.**

El estudiante acepta que el trabajo de grado elaborado, es de su propia autoría y excluye de responsabilidad a la Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central, de cualquier conflicto que se llegare a presentar en relación al contenido de su trabajo.

  
C.C. 1014231766, Firma del Estudiante

  
C.C. 1016107717.  
Firma del Estudiante

En Bogotá, a los 07 días del mes Marzo de dos mil 24



## DEDICATORIA

Primero a Dios, a la institución Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central por ser nuestra *Alma mater* en la trayectoria de pregrado y crecimiento profesional. A nuestros padres y hermanos por el acompañamiento que nos brindaron durante toda la carrera. A los colegas y compañeros de clase en todos los semestres y a todas las personas que con una frase de aliento nos impulsan a continuar adelante en el crecimiento educativo, personal y profesional. Por último, pero no menos importante a la mascota Lukas por las noches en vela y a nosotros mismos por apoyarnos el uno al otro.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a todo el docente perteneciente al programa de pregrado de la facultad de procesos industriales.

Agradezco en especial a la profesora Ángela Aurora Beltrán Osuna por su apoyo en la etapa de pregrado y su asesoría en el trabajo de grado.

Agradezco en especial al profesor Jorge Enrique Hower Carreño por su apoyo en la etapa de pregrado y su asesoría en el trabajo de grado.

Agradezco en especial al profesor Luis Carlos Bautista Jaime por su apoyo en la etapa de pregrado y su asesoría en el trabajo de grado.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Página</b>
RESUMEN .....	vii
ABSTRACT .....	viii
INTRODUCCIÓN .....	ix
1. OBJETIVOS .....	1
1.1 Objetivo general: .....	1
1.2 Objetivos específicos: .....	1
2. MARCO TEÓRICO .....	2
2.1 Almidón termoplástico .....	2
2.1.1 Tipos de almidón .....	2
2.1.2 Estructura química .....	4
2.1.3 Plastificación del almidón .....	6
2.1.4 Retrogradación .....	7
2.2 Proceso de extrusión .....	7
2.2.1 Partes de la extrusora .....	8
2.2.2 Extrusora Lab Twin Screw Bimek Ltda. ....	11
2.2.3 Variables del proceso .....	14
2.3 Viabilidad .....	15
2.3.1 Viabilidad técnica .....	15
2.3.2 Viabilidad comercial .....	15
2.3.3 Viabilidad jurídica .....	15
2.3.4 Viabilidad financiera .....	16
3. FORMULACIÓN Y PLASTIFICACIÓN DEL ALMIDÓN .....	17
3.1 Materiales .....	17
3.2 Equipos .....	18
3.3 Metodología .....	20
3.4 Resultados y análisis .....	21
3.4.1 Producción de mezcladores .....	22



3.4.2 Producción de pitillos:.....	37
3.5 Variables que influyen el producto .....	39
4. PROCESO PRODUCTIVO .....	43
4.1 Materia prima y maquinaria .....	44
4.2 Descripción del proceso productivo .....	50
4.3 Distribución de planta.....	53
4.4 Capacidad de planta proyectada .....	56
4.5 Tiempos de procesos .....	57
4.6 Número de operarios requeridos.....	65
4.6.1 Diagrama de flujo analítico del operario.....	65
4.6.2 Cálculo de número de operarios.....	65
5. VIABILIDAD ECONÓMICA .....	67
5.1 Costo de fabricación de mezcladores .....	67
5.2 Precio de Venta y Ventas Netas.....	70
5.3 Cálculo de utilidades .....	71
5.4 Tiempo de retorno y punto de equilibrio .....	74
5.5 Benchmarking QFD .....	76
6. RECOMENDACIONES.....	81
7. REFERENCIAS.....	82
8. ANEXOS .....	86

## LISTA DE TABLAS

	Página
<b>Tabla 1</b> <i>Composición del almidón dependiendo de su origen vegetal.</i> .....	3
<b>Tabla 2</b> <i>Relación de amilosa / amilopectina en distintos granos.</i> .....	4
<b>Tabla 3</b> <i>Materiales practica inicial.</i> .....	17
<b>Tabla 4</b> <i>Ficha técnica almidón.</i> .....	18
<b>Tabla 5</b> <i>Ficha técnica glicerina.</i> .....	18
<b>Tabla 6</b> <i>Formulaciones utilizadas para la extrusión de mezcladores y pitillos de almidón.</i> .....	20
<b>Tabla 7</b> <i>Extrusión de polietileno (LDPE) para la producción de mezcladores.</i> .....	21
<b>Tabla 8</b> <i>Determinación del perfil de temperaturas para la plastificación del almidón.</i> .....	23
<b>Tabla 9</b> <i>Características de los mezcladores obtenidos en el Ensayo No. 1 (formulación 60/40).</i> .....	25
<b>Tabla 10</b> <i>Perfil de temperaturas para el Ensayo No.2 (preliminar) (formulación 70/30).</i> .....	28
<b>Tabla 11</b> <i>Características de los mezcladores del Ensayo No. 2 (preliminar) (formulación 70/30).</i> .....	28
<b>Tabla 12</b> <i>Perfil de temperaturas para el Ensayo No.2 (repetición) (formulación 70/30).</i> .....	29
<b>Tabla 13</b> <i>Características de los mezcladores del Ensayo No. 2 (repetición) (formulación 70/30).</i> .....	30
<b>Tabla 14</b> <i>Influencia velocidad de halado Ensayo No. 2 (repetición) (formulación 70/30).</i> .....	31
<b>Tabla 15</b> <i>Características de los mezcladores obtenidos en el Ensayo No. 3 (formulación 80/20).</i> .....	33
<b>Tabla 16</b> <i>Influencia del halador en el diámetro del mezclador Ensayo No. 3 (formulación 80/20).</i> .....	33
<b>Tabla 17</b> <i>Perfil de temperaturas para el Ensayo No.3 (formulación 80/20).</i> .....	33
<b>Tabla 18</b> <i>Perfil de temperaturas para el Ensayo No.4 (formulación 70/30).</i> .....	37
<b>Tabla 19</b> <i>Características de los pitillos obtenidos en el Ensayo No. 4 (preliminar) (formulación 70/30).</i> .	37
<b>Tabla 20</b> <i>Características de los pitillos obtenidos en el Ensayo No. 4 (repetición) (formulación 70/30).</i> ..	38
<b>Tabla 21</b> <i>Cálculo de superficies de elementos en planta.</i> .....	54
<b>Tabla 22</b> <i>Cálculo de capacidad instalada de producción.</i> .....	56

<b>Tabla 23</b> <i>Toma de tiempos de operación.</i> .....	58
<b>Tabla 24</b> <i>Ritmo de trabajo del operario</i> .....	58
<b>Tabla 25</b> <i>Cálculo de los tiempos requeridos para las diferentes etapas del proceso productivo.</i> .....	61
<b>Tabla 26</b> <i>Cálculo del número de cajas necesarias por jornada laboral.</i> .....	62
<b>Tabla 27</b> <i>Diagrama de flujo analítico del proceso productivo.</i> .....	63
<b>Tabla 28</b> <i>Diagrama de flujo analítico del operario.</i> .....	64
<b>Tabla 29</b> <i>Cálculo de mano de obra requerida.</i> .....	65
<b>Tabla 30</b> <i>Costos asociados con la materia prima.</i> .....	67
<b>Tabla 31</b> <i>Cálculo de costos fijos.</i> .....	68
<b>Tabla 32</b> <i>Cálculo de costos variables.</i> .....	69
<b>Tabla 33</b> <i>Cálculo del total de costos.</i> .....	70
<b>Tabla 34</b> <i>Cálculo del precio unitario de venta.</i> .....	71
<b>Tabla 35</b> <i>Costo final de la unidad (producto y empaque)</i> .....	71
<b>Tabla 36</b> <i>Cálculo de inversión de maquinaria, equipos y estanterías</i> .....	72
<b>Tabla 37</b> <i>Cálculo de inversión mobiliaria.</i> .....	72
<b>Tabla 38</b> <i>Cálculo del costo total de inversión.</i> .....	73
<b>Tabla 39</b> <i>Cálculo de Impuestos.</i> .....	73
<b>Tabla 40</b> <i>Estado de pérdidas y ganancias.</i> .....	74
<b>Tabla 41</b> <i>Cálculo del tiempo de retorno de la inversión.</i> .....	75

## TABLA DE ILUSTRACIONES

	Página
<b>Ilustración 1</b> <i>Morfología de los gránulos de almidón</i> .....	3
<b>Ilustración 2</b> <i>Estructura del granulo del almidón</i> .....	5
<b>Ilustración 3</b> <i>Tipos de husillos sencillos para la extrusión de polímeros</i> .....	8
<b>Ilustración 4</b> <i>Ficha técnica extrusora doble tornillo ETITC</i> .....	11
<b>Ilustración 5</b> <i>Extrusora Doble Tornillo Lab Twin Screw Bimek Ltda</i> .....	12
<b>Ilustración 6</b> <i>Diagrama línea de extrusión Bimek Ltda</i> .....	13
<b>Ilustración 7</b> <i>Línea de extrusión Bimek Ltda. (Laboratorio J304)</i> .....	19
<b>Ilustración 8</b> <i>Boquillas para la producción de mezcladores (circular) y pitillos (anular)</i> .....	19
<b>Ilustración 9</b> <i>Panel de control para el funcionamiento de la unidad extrusora</i> .....	19
<b>Ilustración 10</b> <i>Filamentos de polietileno</i> .....	22
<b>Ilustración 11</b> <i>Residuo almidón termoplástico</i> .....	25
<b>Ilustración 12</b> <i>Muestras almidón termoplástico extruido</i> .....	26
<b>Ilustración 13</b> <i>Muestras almidón termoplástico extruido</i> .....	35
<b>Ilustración 14</b> <i>Longitudes de los perfiles de mezcladores de almidón termoplástico extruido</i> .....	36
<b>Ilustración 15</b> <i>Salida de almidón termoplástico extruido</i> .....	39
<b>Ilustración 16</b> <i>Ficha técnica de los mezcladores de almidón</i> .....	43
<b>Ilustración 17</b> <i>Ficha técnica de los pitillos de almidón</i> .....	44
<b>Ilustración 18</b> <i>Máquinas Jumbo Steel para extrusión de pitillos / mezcladores</i> .....	46
<b>Ilustración 19</b> <i>Empaquetadora de grupo de paja JS 603</i> .....	46
<b>Ilustración 20</b> <i>Transportador elevador sinfín flexible</i> .....	47
<b>Ilustración 21</b> <i>Mezclador atemperado tipo V</i> .....	48
<b>Ilustración 22</b> <i>Molino triturador</i> .....	48

<b>Ilustración 23</b> <i>Estantería industrial de tres entrepaños.</i> .....	49
<b>Ilustración 24</b> <i>Transpaleta Manual Ameise® 2000.</i> .....	49
<b>Ilustración 25</b> <i>Estiba plástica.</i> .....	49
<b>Ilustración 26</b> <i>Diagrama de flujo general del proceso productivo.</i> .....	50
<b>Ilustración 27</b> <i>Diagrama de flujo sinóptico del proceso productivo (ASME).</i> .....	51
<b>Ilustración 28</b> <i>Plano distribución de planta.</i> .....	55
<b>Ilustración 29</b> <i>Diagrama Casa de la Calidad.</i> .....	77

## RESUMEN

Los bioplásticos, también conocidos como polímeros biopolímeros, son materiales que, a diferencia de los plásticos convencionales, provienen de fuentes naturales y renovables. Entre ellos, el almidón es uno de los candidatos más promisorios para el reemplazo de productos plásticos de un solo uso, ya que es muy abundante en la naturaleza y además es biodegradable y biocompostable. En este proyecto se utiliza almidón de maíz para la fabricación de pitillos y mezcladores de bebidas, como una alternativa para el reemplazo de materiales plásticos de origen petroquímico. Se utilizan tres formulaciones básicas con una relación entre almidón y glicerina del 60/40, 70/30 y 80/20 %p/p, y se procesa en una extrusora de doble tornillo, con cinco zonas de calentamiento, fijando un perfil de temperaturas de 130/135/140/140/140 °C. Es posible operar la máquina extrusora con una frecuencia del motor desde 3,5 hasta 25 Hz, obteniéndose flujos de salida desde 0,7 hasta 40,6 g/min, dependiendo de la formulación usada. Con la boquilla cilíndrica, se obtienen satisfactoriamente mezcladores de almidón termoplástico, de diferentes diámetros desde 5,4 hasta 2,43 mm, variando la frecuencia del halador desde 2,1 hasta 12 Hz, dependiendo de las condiciones de operación. Por otra parte, con la boquilla anular, se obtienen perfiles tubulares con un diámetro promedio de 11 mm, y espesor de pared 1,5mm cuya formulación debe mejorarse y/o las dimensiones de la boquilla ajustarse para poder obtener prototipos con las características de pitillo deseadas.

Con el fin de simular un proceso productivo se realizó un flujograma de proceso con la normatividad ASME, además de una hoja de proceso donde se desglosa cada una de las operaciones del proceso productivo para la extrusión del mezclador bioplástico. Dentro de éstas se puede encontrar los núcleos que ocupan dicho proceso y los recorridos que debe realizar la materia prima detallada en el diseño de planta, teniendo en cuenta los tiempos de producción para llegar a un producto final.

Por último, se realiza un análisis económico y viabilidad del proyecto, identificando los costos variables y fijos que conlleva la realización y puesta en marcha del proceso productivo. Se realiza un presupuesto detallado de la maquinaria, el personal, materia prima, equipos de oficina, y el retorno de la inversión.

**Palabras claves:** *almidón termoplástico, extrusión, plásticos de un solo uso, doble tornillo.*

## ABSTRACT

Bioplastics, also known as biopolymer polymers, are materials that unlike conventional plastics, come from natural and renewable sources. Among them, starch is one of the most promising candidates for the replacement of single-use plastic products since it is abundant in nature and is also biodegradable and biocompostable. In this project, corn starch is used to manufacture straws and drink mixers, as an alternative to replace plastic materials of petrochemical origin. Three basic formulations are used with 60/40, 70/30 and 80/20% w/w starch/glycerin ratio. These are processed in a twin-screw extruder, with five heating zones, setting a temperature profile of 130/135/140/140/140 °C. It is possible to operate the extruder with a motor frequency from 3.5 to 25 Hz, obtaining output flows from 0.7 to 40.6 g/min, depending on the formulation used. With the cylindrical nozzle, thermoplastic starch mixers of different diameters from 5.4 to 2.43 mm were successfully obtained, varying the frequency of the hauler from 2.1 to 12 Hz, depending on the operating conditions. On the other hand, with the annular nozzle, tubular profiles were obtained with an average diameter of 11 mm, and a wall thickness of 1.5 mm, whose formulation must be improved and/or the dimensions of the nozzle adjusted to obtain straw prototypes with the desired characteristics.

In order to simulate a production process, a process flowchart was made with the ASME regulations, in addition to a process sheet where each of the operations of the production process for the extrusion of the bioplastic mixer is broken down. Among these it can be found the nuclei that occupy this process and the routes that the raw material must take detailed in the plant design, taking into account the production times to reach a final product.

Finally, an economic and feasibility analysis of the project is carried out, identifying the variable and fixed costs involved in carrying out and starting up of the production process. A detailed budget for machinery, personnel, raw materials, office equipment was made, as well as the source of financing used the return of the investment.

**Keywords:** *Thermoplastic starch, extrusion, single-use plastics, twin screw.*

## INTRODUCCIÓN

Los polímeros sintéticos derivados del petróleo, usados ampliamente por todo el mundo para el embalaje, envase y uso habitual en reuniones y fiestas, presentan una problemática ambiental que afecta los ecosistemas, la economía y la salud pública en el mundo, ya que estos polímeros son concebidos con la idea de ser usados solamente una vez y luego de ello ser desechados antes de siquiera pensar en el reciclaje o en su buena disposición para evitar afectar el ambiente. Estos polímeros que no son reciclados pueden llegar a los recursos hídricos, perjudicando a los animales acuáticos que hacen parte de la cadena alimenticia, aumentando el consumo de microplásticos para los seres vivos. Estos polímeros de un solo uso tardan mucho tiempo en descomponerse cuando son desechados en el ambiente, ya que por ejemplo las botellas plásticas tardan 450 años en descomponerse, los pitillos y mezcladores tardan 100 años en descomponerse, y las bolsas plásticas tardan hasta 400 años en descomponerse (Roper Portillo, 2021).

Actualmente, sólo se ha reciclado el 9% de los 9000 millones toneladas de plástico producidos históricamente, cerca de un 12% han sido incinerados generando huella de carbono y el restante 79% se está acumulando en los basureros, los vertederos, o el medioambiente; en el mundo se compran aproximadamente 1 millón de botellas plásticas cada minuto y son usados 5 billones de bolsas plásticas de un solo uso. Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en el año 2019 fue reportado el aprovechamiento de los residuos plásticos con un 15%, este porcentaje fue equivalente a 211.167 toneladas de plástico aprovechadas en ese año (Más Colombia, 2022).

Como una alternativa a estos plásticos de un solo uso se ha empezado a utilizar los biopolímeros. Estos que cuentan con características similares a los plásticos que ya utilizamos actualmente, pero la principal diferencia es que los biopolímeros los podemos encontrar en la naturaleza, a partir de fuentes renovables, sin tener que depender en la extracción petrolera para su



adquisición. De allí surge el término biobasados que se refiere a su procedencia de la biomasa, y pueden ser parcial o totalmente formados por ella, estos biopolímeros los podemos encontrar en diferentes hidratos de carbono tales como: el azúcar, almidón, celulosa, lignina, biograsa o aceites (Fkur Plastics, 2024). Algunos biopolímeros cuentan con la propiedad de ser biodegradables, ya que al finalizar su ciclo de vida estos pueden ser descompuestos por los microorganismos, esta característica depende principalmente de su estructura química. El almidón es el carbohidrato más abundante de la naturaleza, y al ser un biopolímero biodegradable y biocompostable es un excelente candidato para la fabricación empaques plásticos de un solo uso.

En el presente trabajo se propone el uso de almidón termoplástico para la producción de mezcladores para bebida y/o pitillos, en reemplazo de productos de origen petroquímico. Este trabajo de grado es parte del proyecto de investigación PDI62 de la convocatoria del 2022 de la ETITC, titulado “Producción de mezcladores y/o pitillos basados en almidón termoplástico mediante el proceso de extrusión”, aprobado por la Vicerrectoría de Investigación, Extensión y Transferencia; y presentado por el semillero Biopolymers, perteneciente al grupo de investigación GEA. En este documento se presentan inicialmente los objetivos del proyecto de investigación. El segundo capítulo expone los conceptos básicos para la comprensión del almidón como un material polimérico, y su procesamiento a través del proceso de extrusión; al igual que se exponen los conceptos básicos para el entendimiento del proceso productivo y su evaluación económica. El tercer capítulo presenta los resultados obtenidos durante la producción de los mezcladores y/o pitillos, desde el punto de vista del material, teniendo en cuenta su formulación y naturaleza química. El cuarto capítulo se centra en el análisis de los resultados desde el punto de vista de la máquina, teniendo en cuenta los requisitos mecánicos y/u operativos de la línea de extrusión. El quinto capítulo presenta la evaluación de la factibilidad económica del proceso a escala industrial, el sexto capítulo presenta las conclusiones y finalmente el séptimo capítulo las recomendaciones del trabajo para futuras investigaciones en la ETITC.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 Objetivo general:**

Producir mezcladores y/o pitillos a partir de almidón termoplástico mediante extrusión, planteando las bases de un proceso productivo rentable y sostenible.

### **1.2 Objetivos específicos:**

- Determinar una formulación básica a partir de almidón, y las condiciones de procesamiento para obtener una adecuada plastificación del polímero, para que pueda ser procesado a través de una operación clásica de extrusión.
- Conocer el proceso productivo, equipos e insumos para el desarrollo del biopolímero.
- Desarrollar la evaluación económica para la viabilidad de producción del biopolímero industrialmente.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Almidón termoplástico

Los biopolímeros se generan por sistemas biológicos o sintetizados químicamente a partir de recursos naturales renovables en la naturaleza, tienen un origen natural, ya sea del sector agrícola, síntesis química o de microorganismos. Los biopolímeros poseen falencias por su origen, por ejemplo, su debilidad mecánica y física; por lo contrario, algunos de sus beneficios pueden ser su fácil adquisición, ya que es un recurso renovable, y su rápida degradación en el ambiente. Realizando una formulación adecuada con un aditivo y/o plastificante pueda mejorar las falencias anteriormente nombradas.

El almidón es uno de los biopolímeros naturales más abundantes, ampliamente utilizado por sus propiedades de biodegradabilidad, disponibilidad y su bajo costo de adquisición. Se puede encontrar en gran variedad de tejidos vegetales tales como las semillas, los tubérculos, los frutos y las hojas, el almidón constituye una gran parte de los carbohidratos combustibles de la dieta humana. Esta materia prima se remonta a las técnicas utilizadas para su preparación conocidas desde el antiguo Egipto y descritos por diversos autores clásicos romanos (Calvo, s.f.). Actualmente, la industria alimenticia es uno de los más grandes consumidores de almidón por ser el más económico de los materiales gelificantes. También es utilizado ampliamente en la industria farmacológica, ya que puede modificarse su estructura química para fortalecer propiedades tales como su fragilidad, estabilidad térmica, deterioro de las propiedades mecánicas, tendencia a la retrogradación e incompatibilidad con algunos solventes (León-Méndez *et al*, 2020).

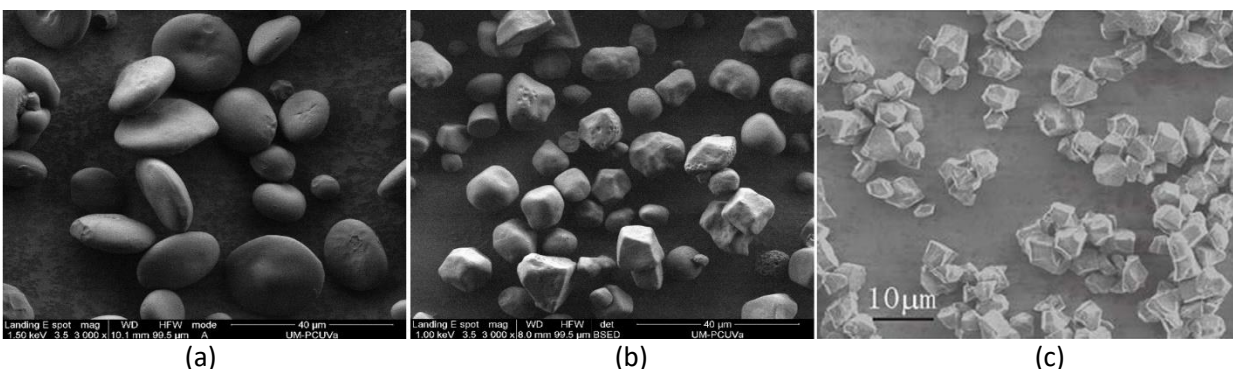
#### 2.1.1 Tipos de almidón

Los almidones más utilizados en la industria son obtenidos de las semillas de cereales: maíz, trigo, algunos tipos de arroz, algunas raíces y tubérculos, de la papa y la mandioca. El almidón se encuentra almacenado en las plantas como gránulos de diferentes formas y tamaños, como se muestra

en la Ilustración 1. El almidón químicamente es la combinación entre dos polisacáridos: la amilosa y la amilopectina, cuya proporción varía dependiendo de su origen, como se presenta en las Tablas 1 y 2.

### Ilustración 1

*Morfología de los gránulos de almidón.*



*Nota.* Vista microscópica de diferentes tipos de almidón: a) trigo, b) maíz, c) arroz. Reproducida de *Environmental scanning microscope showing round and polyhedral maize starch granules*, de Román Rivas, 2018 (<https://uvadoc.uva.es/handle/10324/32026>)

### Tabla 1

*Composición del almidón dependiendo de su origen vegetal.*

Fuente	Tamaño	Forma
Maíz Ceroso/Normal	2-30	Esférica/ poliédrica
Amilo-maíz	2-30	Irregular
Trigo (gránulos B)	2-10	Esférica
Trigo (gránulos A)	15-35	Lenticular
Arveja	5-10	Rentiforme
Cebada (gránulos B)	2-5	Esférica
Cebada (gránulo A)	15-25	Lenticular
Sorgo	5-20	Esférica
Papa	5-100	Lenticular

*Nota.* Unidad de medida µm (micras) Reproducida de *Composición del almidón dependiendo de su origen vegetal<sup>1</sup>*, de Cowieson, 2018 ([www.dsm.com/anh/es\\_ES/feedtalks/unlocking-potential-dietary-starch.html#](http://www.dsm.com/anh/es_ES/feedtalks/unlocking-potential-dietary-starch.html#))

**Tabla 2**

*Relación de amilosa / amilopectina en distintos granos.*

Fuente	Amilosa (%)	Amilopectina (%)
Maíz	24	76
Maíz - ceroso	1	99
Maíz -alto contenido de amilosa	75	25
Trigo	25	75
Arroz	18	82
Arroz - ceroso	1	99
Sorgo	25	75
Sorgo - ceroso	1	99

*Nota.* Reproducida de *Relación de amilosa / amilopectina en distintos granos*, de Cowieson, 2018

([www.dsm.com/anh/es\\_ES/feedtalks/unlocking-potential-dietary-starch.html#](http://www.dsm.com/anh/es_ES/feedtalks/unlocking-potential-dietary-starch.html#))

Como se observa en la Ilustración 1, la morfología de los gránulos de almidón puede variar dependiendo de su forma, su estructura, química, composición y tamaño con respecto a su procedencia. El diámetro de estos gránulos se encuentra entre 1 a 100 micras (Tabla 1) y su forma puede ser irregular o regular. Las propiedades mecánicas de cada material basado en almidón varían dependiendo de la proporción entre amilosa y amilopectina (Tabla 2), debido a las diferencias químicas y estructurales entre ambas moléculas, como se detalla a continuación.

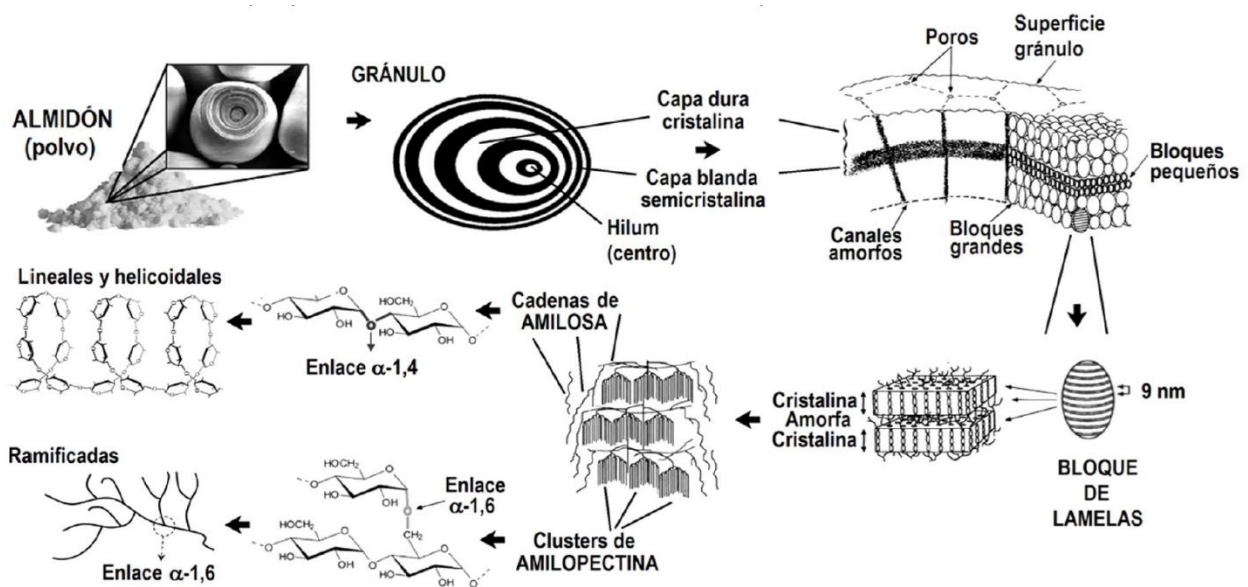
### **2.1.2 Estructura química**

La amilosa es un polímero en el cual se presenta mayormente enlaces de tipo glucosídico a (1-4) con un leve grado de ramificación. Presenta un peso molecular de entre  $10^5$  a  $10^6$  g/mol<sup>3</sup>. Presenta una estructura helicoidal que en su interior tiene átomos de hidrógeno, mientras que en su zona exterior se encuentra el grupo hidroxilo, con la presencia de hidrógenos en su interior, le confiere la característica de ser hidrófobo. La amilopectina es una macromolécula ramificada unida por enlaces glucosídicos a (1-6) su peso molecular es aproximadamente mil veces mayor que el de la amilosa y se encuentra entre

$1 \times 10^7$  a  $5 \times 10^8$  g/mol, esta cuenta con algunas zonas cristalinas como una doble hélice y también zonas amorfas por sus regiones ramificadas (Hernández-Medina *et al*, 2008). Al observar los gránulos a través del microscopio se evidencia una morfología tipo cebolla con muchas capas internas (Ilustración 2), en algunos casos que no están rodeadas por ninguna otra envoltura, y la amilosa y la amilopectina se encuentran en forma radial; estas capas pueden conformar una estructura amorfa (zonas claras) y una parcialmente cristalina (zonas oscuras), dependiendo de la posición de las cadenas, las de amilosa usualmente situadas en los alrededores y asociadas en forma de hélice. La resistencia mecánica y flexibilidad del material están asociadas a las zonas cristalinas, y dependerán de la proporción entre la amilosa y la amilopectina, su grado de ramificación y su peso molecular, entre otros.

## Ilustración 2

Estructura del granulo del almidón.



*Nota.* Composición química y organización estructural de las cadenas del almidón, donde se muestran las estructuras cristalinas y amorfas del biopolímero. Adaptado de *Overview of starch granule structure*, Xie F. *et al.*, 2017 (<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128094396000078>)

### **2.1.3 Plastificación del almidón**

El almidón es un biopolímero, biodegradable, biocompostable y biobasado, excelente candidato para ser usado como reemplazo de los materiales plásticos convencionales, de origen petroquímico. Sin embargo, el almidón no puede fundirse como los demás materiales termoplásticos (reciclables), ya que la organización de los gránulos (Ilustración 2) es tan alta que, si el almidón en polvo se calienta, se degrada y se quema, sin fundir. Por lo tanto, su producción a nivel industrial presenta varios retos tecnológicos, dado que se debe entender su comportamiento químico para poder realizar una formulación con los demás ingredientes, que le permitan plastificarse adecuadamente. Esto es, que las cadenas de almidón se desorganicen de las compactas estructuras de los gránulos, para lo cual se debe agregar un solvente y/o plastificante para que las moléculas del almidón se solubilizan, y poder así obtener una mezcla termoplástica.

Una de las principales técnicas para el procesamiento de polímeros es la extrusión, ya que es la más conocida, estudiada y económica, y ayudaría a acelerar el cambio a materiales más sostenibles, ya que muchas compañías no utilizan biopolímeros en sus productos porque deberían cambiar toda la maquinaria de la línea de producción si aplican otras nuevas técnicas asociadas con los nuevos biopolímeros. Por ejemplo, una correcta plastificación del almidón se logra usualmente al disolverlo y calentarlo en agua, agregándolo luego en un recipiente (técnica de moldeo por solvente), pero requiriendo altos tiempos de secado (1-2 días). También se puede aplicar la solución, a través de una boquilla, sobre una cinta que se mueve a una velocidad constante en un túnel de calentamiento, buscando la producción y el secado continuo de una película de almidón termoplástico (técnica de *tape casting*), pero esta técnica está en evaluación y aún no se usa en la industria de polímeros en la actualidad. Así, el reto tecnológico consiste en encontrar una formulación apropiada para la plastificación correcta del almidón, pero utilizando una máquina de extrusión; en cuyo caso se debe reducir al máximo la adición de agua (ya que ésta generaría vapores indeseados en la máquina); y con

base en la formulación que se encontrará, producir mezcladores de bebidas y pitillos a partir de la extrusión.

#### **2.1.4 Retrogradación**

La retrogradación del almidón es un cambio que se da cuando el almidón gelatinizado se enfría lentamente y las moléculas de amilosa se alinean para formar varios enlaces de puentes de hidrógeno entre las cadenas paralelas adyacentes. Luego de este proceso, al alcanzar una temperatura ambiente, la amilosa se recristaliza y gran parte se insolubiliza; la amilopectina, por una parte, gelifica las moléculas de amilosa que son exudadas del gránulo durante la gelatinización y su recristalización de la amilopectina. Este proceso de retrogradación es más tardado cuando la humedad es mayor, esta producción de retrogradación requiere de varios constituyentes como el enfriamiento, el pH y la presencia de solutos como líquidos, sales y azúcar (Todo en Polímeros, s.f.).

#### **2.2 Proceso de extrusión**

Este proceso es utilizado para la creación de objetos con perfiles de sección transversal fija, en este proceso la materia prima es empujada o jalada a través de la boquilla de la extrusora. Algunas de las ventajas de este proceso son la capacidad de crear secciones transversales muy complejas y además poder trabajar materiales frágiles y que dentro de la máquina extrusora el material es sometido a esfuerzo de compresión y fricción logrando así un acabado superficial muy bueno. En el proceso de extrusión existen dos principales formas del proceso, las cuales son la extrusión continua utilizada para la construcción de piezas por una longitud muy grande, y la extrusión semicontinua para la producción en masa de muchas piezas. Algunos de los materiales que pueden ser extruidos son, cerámica, cemento, productos alimenticios, metales y polímeros (USEON, 2021).

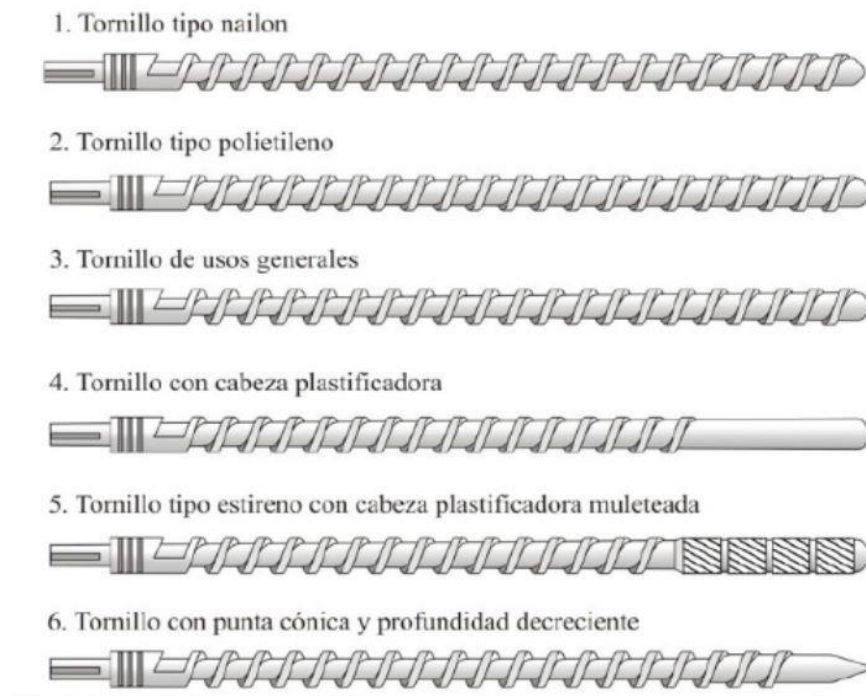


### 2.2.1 Partes de la extrusora

Uno de los principales componentes de la extrusora es el husillo. Este es un tornillo sin fin modificado con tres zonas de diferentes diámetros, que se encuentra alojado en el cañón girando concéntricamente a una alta temperatura con una distancia milimétrica entre estos dos elementos. Su principal función es realizar el empuje del material de la materia prima dentro de la máquina extrusora la cual a través de la fricción más la temperatura aplicada en el cañón contribuye a la mezcla y el transporte del material a través de la máquina. A través de la ingeniería se han fabricado diferentes tipos de tornillos eficientes para algunos tipos de material los cuales cuentan con diferencias en su mecanización con el fin de ser más efectivos al realizar su función. La Ilustración 3 presenta algunos tipos de tornillos específicos para diferentes materiales.

#### Ilustración 3

*Tipos de husillos sencillos para la extrusión de polímeros.*



*Nota.* Reproducido de Tipos de husillos, Extrusores y sus tipos, de Husillos Industriales, 2018

([www.husillos.com.mx](http://www.husillos.com.mx)).

Existen dos tipos de configuraciones de la máquina extrusora las cuales consisten en el uso de un solo husillo y la extrusión de doble husillo, su funcionamiento y campo de aplicación son diferentes y cada una cuenta con ventajas y desventajas dependiendo de su utilización.

Dentro de las diferencias de la configuración de la máquina extrusora relacionada con la cantidad de tornillos que componen en su interior se encuentran las siguientes diferencias:

1. Capacidad de plastificación diferente: la diferenciación de la máquina extrusora de un solo husillo tiene que ver con la capacidad de flujo de material, la cual es de 1200 kg/h con la característica de que la materia prima permanece más tiempo dentro de la máquina. Por otro lado, la máquina extrusora de doble husillo tiene una capacidad menor hasta 900 kg/h y cuenta con un menor tiempo de residencia dentro de la máquina.
2. Diferente mecanismo de transporte de material: la extrusora de un único husillo tiene como medio de transporte un flujo de arrastre, el cual se da entre el tornillo y el barril por fricción, en caso de ser un material fundido se dará a través de un arrastre viscoso. En el caso de la extrusora de doble husillo tiene un transporte de desplazamiento positivo a medida que gira el tornillo, la materia prima es halada hacia adelante por los hilos de engrane este desplazamiento depende de la cercanía entre el borde de un tornillo y las partículas del otro tornillo.
3. Mezcla de material: la extrusora de doble tornillo cuenta con la ventaja de una mezcla completa, una gran capacidad de fusión y transferencia de calor uniforme.
4. Usos: La extrusora de un solo tornillo es usada principalmente para la producción de tuberías, láminas, perfiles, o pellets simples. En cambio, la extrusora de doble tornillo es generalmente usada para la modificación química y física de un producto, como podría ser el endurecimiento de la materia, extrusión reactiva, adición de aditivos, relleno y refuerzo (Riaz, 2015).

Uno de los procesos más importantes de la extrusión es el control de temperatura en los cilindros, ya que a través del calentamiento de este contribuye a la fundición y flujo del material a través de la extrusora. Este se logra utilizando resistencias eléctricas las cuales están localizadas a lo largo del barril donde se encuentra alojada la materia prima, este sistema de calentamiento proporciona entre el 20 y el 30% del calor necesario para la fundición. A su vez es necesario que el cilindro o barril cuente con un sistema de enfriamiento cada zona de calentamiento del tornillo suele tener un ventilador, que permite controlar la temperatura dentro del cilindro eliminando el calor mediante el flujo de aire. Estos ventiladores entran en funcionamiento, por ejemplo, durante el arranque de la máquina, regulando la temperatura a la cual fue programada la máquina para el proceso de extrusión.

También se cuenta con el motor, que es el componente se encarga de suministrar la energía para la rotación del tornillo. Generalmente estos motores cuentan con tecnología DC (corriente continua) los cuales brindan un mayor rango de giro al tornillo, bajo nivel de ruido y precisión de control de velocidad, por lo general la velocidad que produce el motor es bastante elevada que la requerida por el tornillo, por lo tanto, es necesario la utilización de cajas que reducen la velocidad hasta en un 20:1

Otro componente fundamental de la extrusora es la placa rompedora. Después que la materia viaja en espiral a través del cilindro y el tornillo, es necesario relajar los esfuerzos entre las cadenas de polímero, y borrar la memoria de giro del material dentro de la máquina. Para ello debe pasar después por una placa rompedora, que está hecha generalmente de cobre o bronce en forma cilíndrica, con orificios a través de ella, dándole así fluidez al material extruido al momento de pasar a hacia la boquilla.

Finalmente, la boquilla, también llamada dado, es por dónde sale el material extruido, y está compuesta por dos zonas. La primera es conocida como cámara de relajación la cual cumple con el propósito de desacelerar el material e incrementar el tiempo de residencia con el fin de disminuir el

esfuerzo impreso sobre la placa rompedora o los filtros. La segunda es la cámara de descarga la cual generalmente tiene diferentes dimensiones para así moldear o dar forma al material saliente de la extrusora.

### **2.2.2 Extrusora Lab Twin Screw Bimek Ltda.**

La máquina extrusora de doble tornillo fue adquirida por la ETITC a Bimek Ltda., mediante el proyecto de investigación PDI62 de la convocatoria del 2022, titulado *“Producción de mezcladores y/o pitillos basados en almidón termoplástico mediante el proceso de extrusión”*, aprobado por la Vicerrectoría de Investigación, Extensión y Transferencia. La línea de extrusión fue recibida y se encuentra actualmente en el Laboratorio J304. La Ilustración 4 a 6 presentan los detalles de la máquina adquirida por la ETITC.

#### **Ilustración 4**

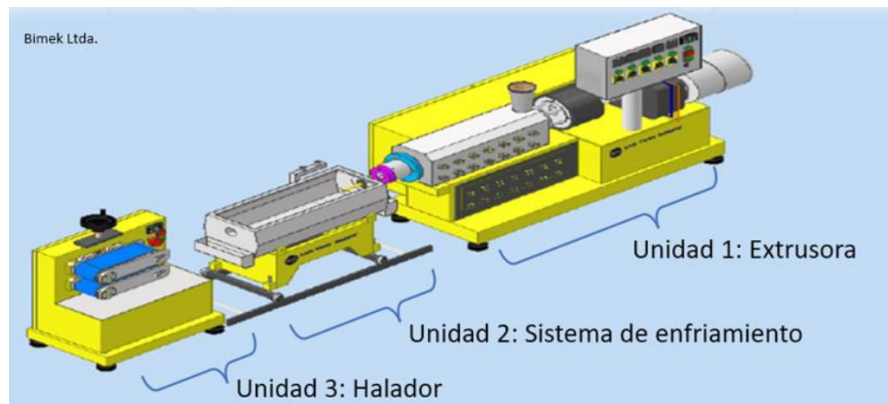
*Ficha técnica extrusora doble tornillo ETITC.*

FICHA TECNICA		
EXTRUSORA DOBLE TORNILLO LABORATORIO		
CLIENTE	ESCUELA TECNOLÓGICA INSTITUTO TÉCNICO CENTRAL	FTTW012023
DESCRIPCION	ESPECIFICACION	OBSERVACION
<b>EXTRUSORA DOBLE TORNILLO LABORATORIO</b>		
TORNILLO EXTRUSOR	ANSI 4140 LD 28:1	DISEÑO UNIVERSAL PARA PET., PS, ABS, NYLON Y POLIOLIFINAS
BARRIL	ANSI 4140	ENDURECIMIENTO
ZONAS DE CALEFACION BARRIL	5	RESISTENCIA DE ABRAZADERA DE 400W Y - 20V
SENSOR TEMPERATURA	5	MARCA ONRO REF ESCN 220V
TERMOPAR	5	TIPO J
MOTORR PRINCIPAL	3 HP	TRIFASICO 220 VOL
CONTROL TORQUE	VARIADOR PRINCIPAL	MARCA DELTA MS 300
VOLTAJE ALIMENTACION	220 VOL	3 LINEAS + NEU
DIMENSIONES LINEA EXTRUSION L X A X A	1200*680*60	
TEMPERATURA	0 A 350 C	
VELOCIDAD EXTRUDER	10 A 120 RPM	
FUNCION		HOMOGENIZAR PLASTIFICAR POLIMEROS Y BIOPOLIMEROS
<b>MOLDE</b>		
CABEZAL	ACERO 4140	
CABEZAL 3 SECCIONES	4140	TRES SECCIONES TORPEDO MACHO Y BOQUILLA
BOQUILLA	ACERO 4140	DIAM 10,5 MM
MACHO	ACERO 4140	DIAM 7,5 MM
<b>TINA</b>		
REFRIGERACION		AGUA
DESPLAZAMIENTO		300 mm atrás y adelante
CONTROL NIVEL		DIAMETRO 1/2 NPT
BOMBA DE RECIRCULACION AGUA		1 / 1 0 HP 110 VOLT
<b>HALDOR</b>		
RODILLOS HALADORES GARFILADOS	DIAM 60 MM	CROMADOS
BANDA SINFIN	ANCHO 60 MM	PVC CORRUGADO
APERTURA Y CIERE	MANUAL	AJUSTABLE DE 0- 40 MM
AJUSTE	MANUAL	0- 40MM
MOTORR PRINCIPAL	1/2 HP	TRIFASICO 220 VOL
CONTROL TORQUE	VARIADOR PRINCIPAL	MARCA DELTA MS 300
VOLTAJE ALIMENTACION	220 VOL	3 LINEAS
DIMENSIONES L X A X A	420*420*360 MM	
VELOCIDAD RODILLOS	10 A 60 RPM	
FUNCION		CORTADO DE LOS FIDEOS EN TAMAÑO DE 3.2 MM
<b>ESPECIFICACIONES GENERALES</b>		
ZONAS DE CALEFACION BARRIL		3 RESISTENCIAS BANDA BLINDADA 8 X 250 W CADA UNA
ZONAS DE CALEFACION CABEZAL BOQUILL		2 RESISTENCIA DE BANDA DE 400W Y - 20V
SENSOR TEMPERATURA		5 MARCA AUTONOS REF ESCN 220V
TERMOPAR		4 TIPO J
POTENCIA ELECTRICA KW		3
TORNILLOS EXTRUSORES		2 GEMELOS COOROTANTES
PAR TORSOR POR TORNILLO		25 Nm
CONTROLES VE VELOCIDAD	VARIADOR PRINCIPAL	MARCA DELTA MS 300
VOLTAJE ALIMENTACION	220 VOL	3 LINEAS + NEU
DIMENSIONES LINEA EXTRUSION L X AN X AL	2079 mm X 632mm X 980 mm	
TEMPERATURA	0 A 350 C	RANGO DE TEMPERATURA A CONTROLAR

Nota. Ficha técnica extrusora doble tornillo laboratorio ITC. Reproducida de *Ficha técnica y planos eléctricos*, de Bautista L.C. y Hower Carreño J.E., 2023.

### Ilustración 5

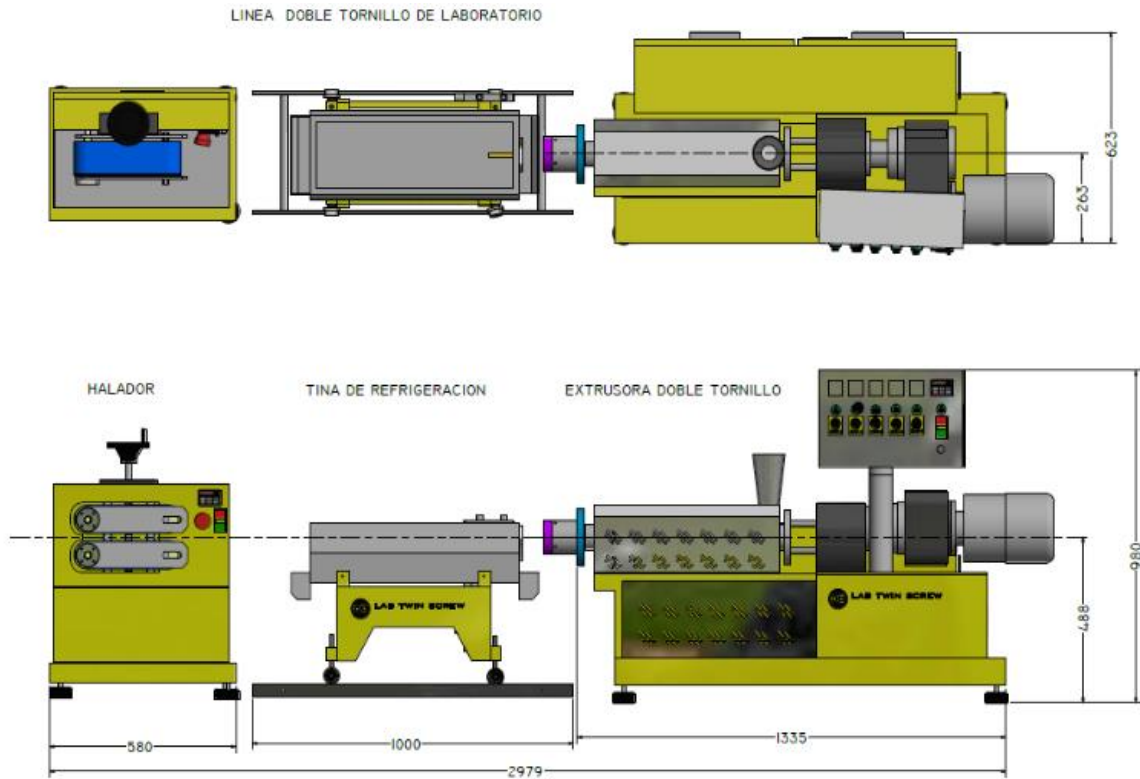
*Extrusora Doble Tornillo Lab Twin Screw Bimek Ltda.*



Nota. Sistema de extrusión ubicado en el Laboratorio J304. Reproducida de *Diagrama del equipo compuesto por tres unidades que conforman la línea de extrusión*, de Beltrán-Osuna A.A., 2023.

### Ilustración 6

*Diagrama línea de extrusión Bimek Ltda.*



Nota. Planos de la línea de extrusión. Reproducida de *Planos Línea*, de Beltrán-Osuna A.A., 2023.

La Ilustración 6 muestra la línea de extrusión, compuesta por la extrusora, el sistema de refrigeración, y la oruga o halador. Esta última es una máquina que cumple con la principal función de imprimir tensión sobre el material extruido para así definir parte del espesor del mezclador; con una velocidad constante, generalmente esta oruga es de tipo neumático usando elementos que atrapan, jalan e imprimen fuerza de tracción (Quiminet S.A.,2012). La configuración de velocidad de esta máquina es establecida de acuerdo con la velocidad de la salida del dado de la extrusora, al aumentar la velocidad de la oruga superior a la de la salida de la extrusora hará que el grosor del producto disminuya , ya que imprimirá más tensión y viceversa.

### **2.2.3 Variables del proceso**

Durante el proceso de la extrusión existen diferentes variables que influyen en la calidad de la mezcla, las dimensiones del producto y sus propiedades mecánicas, entre las cuales se encuentran:

- **Temperatura:** Es una magnitud escalar que identifica el grado de calor o frío de un objeto teniendo en cuenta que a mayor temperatura mayor será el grado de calor, esta magnitud escalar esta medida por una función creciente en el grado de excitación o agitación de las partículas de un material. Entre más vibran y se agitan las partículas del material mayor será el calentamiento del objeto, en este caso la unidad de medida será en grados centígrados. Para el proceso de extrusión la temperatura dicta el grado de viscosidad del material con el que fluye a través del barril de la extrusora y afectando el esfuerzo del motor y la velocidad con la que sale el material extruido. (Enciclopedia quimica.es, 2024)
- **Velocidad de giro:** Con el fin de especificar este término es necesario establecer la definición de la velocidad angular; en palabras coloquiales, este indica que tan rápido gira un objeto con relación a un punto de apoyo, es decir, la velocidad con la que cambia de posición de ángulo u orientación con respecto al tiempo. La velocidad angular de giro indica que tan rápido gira un cuerpo rígido sobre su centro de rotación. Esta variable acelera o retrasa el tiempo que la mezcla de material permanece en la máquina extrusora y está dada por la frecuencia de giro del tornillo sin fin dentro de la máquina (UNIGAL, 2021).
- **Composición química:** La composición química consiste en la mezcla de dos o más componentes químicos en mayor o menor concentración con el fin de alcanzar las propiedades fisicoquímicas que se desea alcanzar para el material compuesto del material (Enciclopedia quimica.es, 2024).

## **2.3 Viabilidad**

La viabilidad económica consiste en un análisis del costo beneficio que conlleva el crear un nuevo proyecto y/o producto. Este análisis nos brinda información referente a una proyección futura si dará pérdidas o ganancias, y ese factor influye en la decisión final de poner en marcha o no el proyecto. Este análisis es muy utilizado por economistas y financieros en todas partes; la relevancia de este estudio de viabilidad económica en todo proyecto de inversión es necesario para demostrar a los socios, a las entidades bancarias o entidades que presten financiación económica para la aprobación y ejecución de este proyecto (Morales, 2021).

La viabilidad de un proyecto no solamente está basada en la rentabilidad o la ganancia que se obtendrá del mismo. En ese sentido, se pueden identificar los siguientes tipos de viabilidad que se deberá tener en cuenta para analizar la factibilidad de este, los cuales son:

### ***2.3.1 Viabilidad técnica***

Este hace referencia a la capacidad tecnológica involucrada en el proyecto. Esta viabilidad transmite seguridad y control al inversor, para ello se tendrá en cuenta el conocimiento de proceso de fabricación, los medios técnicos necesarios, el capital humano requerido y sus cualidades, las materias primas necesarias, el control de calidad, etc. En conclusión, define si es posible desde el punto de vista tecnológico el desarrollo eficiente del proyecto (Rodríguez Ariza, 2015).

### ***2.3.2 Viabilidad comercial***

Este evalúa los actores económicos del proyecto y determina su beneficio financiero utilizando la herramienta del análisis, coste y beneficio.

### ***2.3.3 Viabilidad jurídica***



Es necesario realizar la investigación de los requisitos legales necesarios tanto en las actividades para llevar a cabo como en los resultados del proyecto

#### ***2.3.4 Viabilidad financiera***

El proyecto puede ser factible financieramente hablando al realizar un análisis del beneficio esperado haciendo frente a todas las obligaciones financieras en las que se puede incurrir para la iniciación y la sostenibilidad del proyecto (Infinita.es, 2022). Además, es evidente la necesidad de considerar la inversión que se realizara para adquirir los recursos indispensables de toda empresa, sin importar la razón social. Estas inversiones forman el capital necesario con el que la compañía debe contar para iniciar su operación.

Para llegar a realizar un estudio óptimo y cercano a la realidad de la viabilidad del proyecto es necesario contar con datos del programa de producción y venta calculados en los estudios técnicos y análisis de producción. Debe incluirse volúmenes de producción, precio del producto, determinación de costos de producción y el cálculo de la inversión inicial del proyecto. También es importante calcular presupuestos de venta o ingresos, gastos operativos, gastos administrativos, costos y adicionalmente estado de resultados (Martins, 2023).

### 3. FORMULACIÓN Y PLASTIFICACIÓN DEL ALMIDÓN

El presente capítulo presenta los resultados obtenidos para el proceso de fabricación de mezcladores y/o pitillos desde el punto de vista del material, incluyendo las formulaciones escogidas para la extrusión del almidón, y las condiciones requeridas para su plastificación. Se presenta además el análisis de todas las variables involucradas en el proceso, que modifican el flujo y comportamiento fisicoquímico del biopolímero, determinando así las propiedades mecánicas finales del producto.

#### 3.1 Materiales

Para el arranque inicial de la máquina y prueba de su funcionamiento se utilizó una materia prima usada habitualmente en la industria de los plásticos con el fin de realizar un acercamiento a la practica real de uso de la máquina. Para ello se usaron los siguientes materiales mostrados en la tabla 3 donde se muestran las especificaciones de cada uno.

**Tabla 3**

*Materiales practica inicial.*

Material	Referencia	Empresa	Proporción
Polietileno de baja densidad (LDPE) con masterbach naranja	me301	MasterAndino S.A	20 g masterbach por cada 1000 gramos de LDPE
masterbach azul mezclado con polietileno lineal de baja densidad (LLDPE)	LB1810E2	Formelene®	20 g masterbach por cada 1000 gramos de LLDPE

Para la obtención de los prototipos mediante extrusión se utilizan básicamente dos sustancias químicas:

Almidón es de origen natural, proveniente de un proceso de molienda húmeda. Químicamente, se clasifica como un carbohidrato de grado alimenticio, exento de sustancias tóxicas o nocivas. El cual se muestran sus características en la tabla 4, a continuación:

**Tabla 4***Ficha técnica almidón.*

Almidón (fécula de maíz)	
Referencia	3631
Empresa	SmartCol S.A.S.
Marca	Corrumez
Humedad (bulto de 25 kg)	12%
pH	5.5
Observación	concentración proteína total 0,39%; SO <sub>2</sub> de 9 ppm

Además también se utilizó:

**Tabla 5***Ficha técnica glicerina.*

Glicerina grado industrial	
Contenido (p/p)	80%
Empresa	SC Químicos

### 3.2 Equipos

La línea de extrusión adquirida por la ETITC se encuentra actualmente instalada y funcional en el Laboratorio J304 (Ilustración 7), y cuenta con tres unidades (de izquierda a derecha): i) la máquina extrusora, donde se funde y plastifica el polímero; ii) el sistema de refrigeración, donde se enfría el polímero y; iii) el halador, que permite mantener la tensión a lo largo de toda la línea, para obtener el perfil plástico sólido. Para la fabricación de los mezcladores se utiliza una boquilla de tipo circular, que permite obtener un perfil cilíndrico continuo. Por otra parte, para la fabricación de pitillos se debe hacer el intercambio de boquillas, cambiando el núcleo y el cuerpo para obtener un perfil anular (ver

Ilustración 8). Las principales condiciones de operación son controladas en el panel frontal donde se realiza el encendido y apagado de la máquina, se establecen las temperaturas de cada zona, y se controla la frecuencia del motor de la extrusora mediante la perilla del variador de velocidad digital.

### Ilustración 7

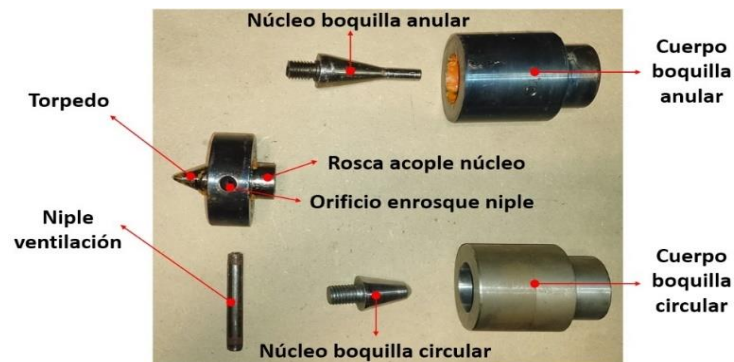
*Línea de extrusión Bimek Ltda. (Laboratorio J304).*



*Nota.* Línea de extrusión en funcionamiento durante el procesamiento de mezcladores bio-degradables.

### Ilustración 8

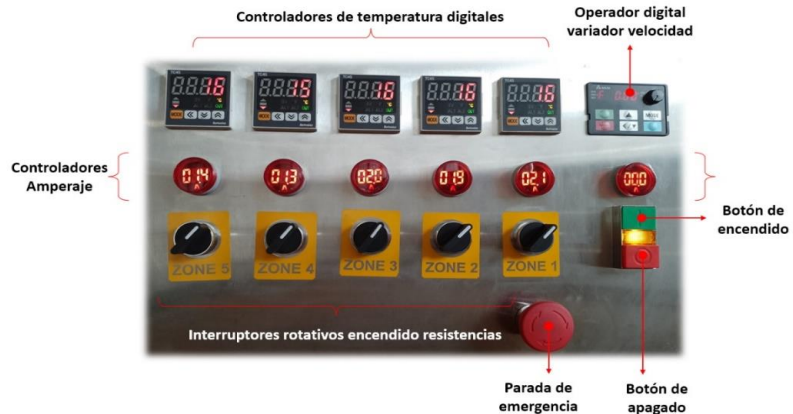
*Boquillas para la producción de mezcladores (circular) y pitillos (anular).*



*Nota.* Boquillas utilizadas durante la experimentación para la producción de los mezcladores y pitillos.

### Ilustración 9

*Panel de control para el funcionamiento de la unidad extrusora.*



*Nota.* Panel de control para el funcionamiento de la unidad extrusora Bimek ITC.

### 3.3 Metodología

Se determina una formulación básica para la plastificación de almidón con glicerina, y se realizan varios ensayos de extrusión acorde con el diseño experimental que se muestra en la Tabla 6:

**Tabla 6**

*Formulaciones utilizadas para la extrusión de mezcladores y pitillos de almidón.*

Ensayo No.	Producto	Formulación (% p/p)	
		Almidón	Glicerina
1	Mezclador	60	40
2	Mezclador	70	30
3	Mezclador	80	20
4	Pitillo	70	30

*Nota.* (% p/p) significa porcentaje de peso de soluto dividido en peso de una solución

Para la preparación de las mezclas de almidón y glicerina se utilizaron ambas sustancias tal como se adquirieron, sin ninguna modificación ni condiciones de almacenamiento especial. Para cada ensayo de extrusión se prepara 1 kilogramo de mezcla, pesando ambos ingredientes y mezclándolos manualmente durante al menos 15 minutos, hasta lograr una mezcla homogénea. Las mezclas preparadas fueron almacenadas en bolsas plásticas, y almacenadas a condiciones ambiente hasta su uso. Los productos obtenidos fueron caracterizados midiendo su peso, longitud y diámetro externo, acorde con las condiciones de procesamiento escogidas, como se presenta en la siguiente sección.

### 3.4 Resultados y análisis

Para la producción de los mezcladores y los pitillos mediante el proceso de extrusión, se realizaron inicialmente dos jornadas de capacitación con los fabricantes de la máquina, para aprender a manejar la línea de extrusión. Posteriormente, se realizaron otros experimentos para asegurarse que la máquina funcionaba apropiadamente, utilizando un termoplástico convencional de fácil extrusión (ej.: polietileno, PE), mezclado con masterbach. El masterbach es una mezcla concentrada de aditivos y colorantes que facilita el procesamiento, y se utiliza de forma convencional en todas las líneas de producción de plásticos industriales. La Tabla 7 presenta los resultados obtenidos del experimento realizado para la producción de mezcladores (boquilla cilíndrica) de polietileno de baja densidad (LDPE) y masterbach naranja, las condiciones de operación escogidas permitieron la operación de la línea de extrusión de forma estable. Las 6 muestras se obtienen inmediatamente una después de la otra, y se observa que se logra obtener un producto de características estables, con un diámetro promedio de 3,4 mm y un flujo de salida promedio de 19,0 g/min.

**Tabla 7**

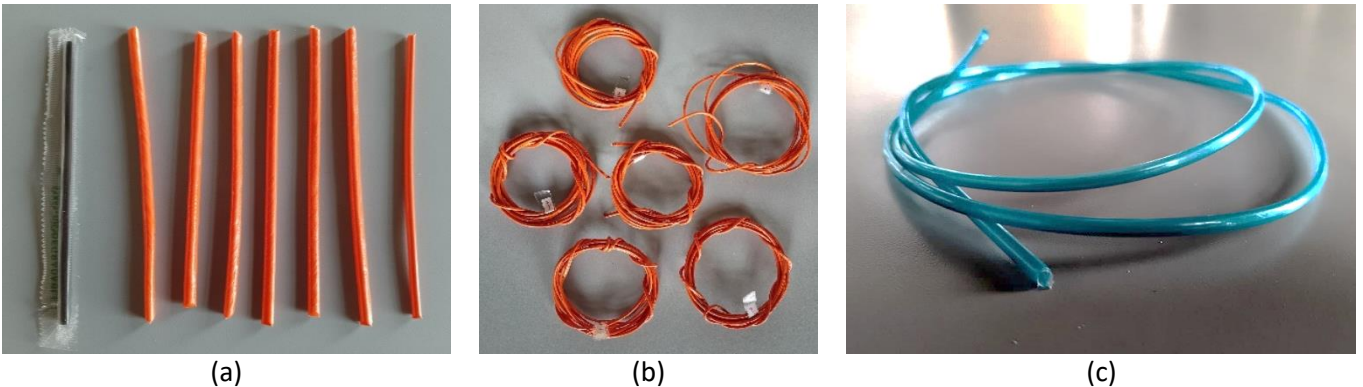
*Extrusión de polietileno (LDPE) para la producción de mezcladores.*

Muestra No.	Tiempo (min)	Diámetro mezclador (mm)				Peso (g)	Flujo salida (g/min)
		Inicio	Mitad	Final	Promedio		
1	1	3,3	3,3	2,9	3,15	16,1	16,1
2	1	3,7	3,2	3,4	3,44	20,3	20,3
3	1	3,2	3,2	3,5	3,29	17,4	17,4
4	1	3,5	3,3	3,5	3,45	20,8	20,8
5	1	3,7	3,7	3,5	3,63	20,3	20,3
6	1	3,6	3,5	3,3	3,47	19,3	19,3

*Nota.* Parámetros de ensayo de mezcladores (boquilla cilíndrica) de polietileno de baja densidad (LDPE) y masterbach naranja (frecuencia motor-extrusora = 3 Hz; frecuencia halador = 15 Hz, temperatura de salida boquilla = 140 °C)

## Ilustración 10

*Filamentos de polietileno.*



*Nota.* Prototipos: a) mezcladores en LDPE, b) muestras de flujo recolectadas, c) pitillo flexible en LLDPE.

En la Ilustración 10 se muestran los prototipos de mezcladores obtenidos, los cuales son cortados a mano a la misma longitud de un mezclador convencional. Se realiza además un experimento adicional con LLDPE y masterbach azul, utilizando la boquilla anular para la producción de pitillos. La Ilustración 10 muestra el pitillo obtenido, que es un perfil tubular de pared delgada y muy flexible, dada las características del material. Estos dos experimentos permiten así la familiarización con la operación de la línea de extrusión, al igual que se comprueba el correcto funcionamiento de la máquina y las geometrías de las boquillas para la obtención de los prototipos de almidón termoplástico. El perfil de temperaturas para el procesamiento de los plásticos comerciales (LDPE y LLDPE) viene establecido para cada polímero en su hoja técnica, mientras que para el almidón termoplástico dicho perfil de temperatura se desconoce y debe establecerse como se expone a continuación.

### **3.4.1 Producción de mezcladores**

La formulación básica de porcentajes de 60% almidón y 40 % glicerina se toman con base en la revisión bibliográfica (Ossa Peick, 2016)

- **Ensayo No.1: Formulación almidón/glicerina 60/40 % p/p**

Inicialmente, se procede a establecer las condiciones de extrusión apropiadas para el procesamiento del almidón. Dichas condiciones son completamente diferentes para cada polímero, y dependen especialmente de las características fisicoquímicas del material, pero también de la geometría de la máquina y los requisitos del producto que se requiera. Entre todas, la principal variable que define el procesamiento del polímero es la temperatura, y para el caso específico de extrusión, el perfil de temperaturas: la temperatura asignada a cada una de las cinco zonas de la máquina: 1) inicio tornillo, 2) mitad tornillos, 3) final tornillos, 4) cabezal y 5) boquilla. Acorde con otros reportes (Ossa Peick, 2016) para la plastificación del almidón de yuca con una extrusora de doble tornillo se obtiene utilizando el perfil: 130/135 /140/145/145, para las cinco zonas ya descritas. Sin embargo, se debe tener en cuenta que: i) para cada almidón puede obtenerse un perfil diferente, dependiendo también de la geometría específica de cada extrusora; ii) el almidón de maíz comienza su gelación (hinchamiento y desorganización de los cristales, Ilustración 1 y 2) a una temperatura cercana a los 80°C, iii) la temperatura de la primera zona debe permitir la entrada del polímero en estado sólido al tornillo, y iv) el perfil de temperaturas debe buscar siempre el calentamiento mínimo necesario para que el polímero logre fluir, pero evitando su degradación y ahorrando costos de operación. Por lo tanto, se decide investigar el perfil de temperatura más apropiado, para lo cual se realizan tres experimentos con diferentes perfiles (ver Tabla 8), para una frecuencia del motor de la extrusora constante de 4,0 Hz.

**Tabla 8**

*Determinación del perfil de temperaturas para la plastificación del almidón.*

Temperatura	Tiempo (min)	Zona 1 (°C)	Zona 2 (°C)	Zona 3 (°C)	Zona 4 (°C)	Zona 5 (°C)	Amperaje (A)
Set	0	85	110	125	120	115	---
Real	5	85	113	125	120	114	6,7
Real	10	86	113	136	121	115	6,8
Real	15	86	117	130	120	114	6,9
Real	20	86	112	125	120	113	6,9
Real	25	86	114	137	121	115	6,9
Real	30	85	115	129	121	115	7,0
Set	30	95	120	130	125	120	---



Real	35	98	136	136	128	115	7,1
Real	40	96	125	128	126	119	7,1
Real	45	95	118	143	122	122	7,1
Real	50	95	125	136	122	115	7,1
Real	55	94	119	130	123	119	7,1
Real	60	94	140	139	126	117	7,2
Set	60	105	130	140	130	120	---
<b>Temperatura</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Zona 1 (°C)</b>	<b>Zona 2 (°C)</b>	<b>Zona 3 (°C)</b>	<b>Zona 4 (°C)</b>	<b>Zona 5 (°C)</b>	<b>Amperaje (A)</b>
Real	65	111	146	142	122	120	7,3
Real	70	107	133	134	123	120	7,3
Real	75	105	127	133	124	118	7,3
Real	80	104	135	160	120	117	7,3
Real	85	107	138	155	122	120	7,3
Real	90	110	143	158	125	121	7,4

La Tabla 8 presenta tres perfiles diferentes de temperatura para la plastificación del almidón, que se probaron para la plastificación del almidón de maíz, esperando por la estabilización de temperaturas durante 30 minutos, y fijando inmediatamente después un nuevo perfil. Se observa como al fijarse una nueva temperatura (Tset) para iniciar el segundo (t= 30 min) y el tercer experimento (t= 60 min) las temperaturas aumentan bruscamente (t=35 min y t=65 min); lo anterior está condicionado a la falta de precisión de los controladores, pero los valores disminuyen y luego permanecen cerca al valor fijado  $\pm 5$  °C. El aumento de temperatura entre cada uno de los tres perfiles probados es de 5-10 °C, buscando obtener el perfil que plastificara el almidón a las menores temperaturas posibles; sin embargo, para ninguno de los tres perfiles se logra obtener salida de material de la extrusora. En cambio, se obtuvo un aumento perceptible del amperaje del motor, a pesar de que se mantuvo constante la frecuencia de giro. Dicho aumento implica un aumento en el esfuerzo de la máquina, debido a la mala plastificación del almidón o la falta de flujo dentro de la máquina. La acumulación de almidón también puede evidenciarse en el descontrol de los perfiles de temperatura, sobre todo en la zona 3 alcanzando, por ejemplo, temperaturas 20 °C superiores a las fijadas (t=80-90 min). En dicho punto se decide abrir el cabezal de la extrusora para comprobar el punto de taponamiento y se observó

que la boquilla sí estaba llena de material, como se muestra en la Ilustración 11. Se observa que el almidón sí se encontraba plastificado para el último perfil de temperatura usado (zonas 1 a 5: 105/130/140/130/120) pero que su temperatura no era suficientemente alta para permitir el flujo (debido a una alta viscosidad). En cambio, se observa una zona de color oscuro (donde se observa que el material que muestra la degradación del almidón debido al alto tiempo de residencia dentro de la máquina. Además se observa que la geometría del canal interno de la boquilla no era la más apropiada, con una sección demasiado angosta y larga, que junto con una temperatura insuficiente, impidió el flujo del material justo a la salida de la boquilla, razón por la cual se decidió realizar una modificación a la geometría interna de la boquilla, reduciendo la longitud del canal, y aumentando su diámetro 1 mm (hasta un diámetro final de 4,8 mm), para mejorar el flujo del almidón a la salida de la boquilla.

**Ilustración 11**

*Residuo almidón termoplástico.*



*Nota.* Almidón termoplástico encontrado dentro de la boquilla de extrusión: a) lado externo en contacto con el cuerpo de la boquilla, b) lado interno en contacto con el núcleo de la boquilla.

**Tabla 9**

*Características de los mezcladores obtenidos en el Ensayo No. 1 (formulación 60/40).*

Muestra No.	Tiempo (min)	Diámetro mezclador (mm)				Longitud (cm)	Peso (g)		Flujo salida (g/min)
		Inicio	Mitad	Final	Promedio		0 h	48 h	

1	1,8	3,5	4,0	4,1	3,87	355	45,1	74,5	25,1
2	1,8	4,2	3,8	3,6	3,87	884	73,0	151,7	40,6
3	4,2	4,0	4,0	4,1	4,03	396	53,4	74,5	12,7
4	7	4,8	4,6	4,0	4,47	700	86,3	161,0	12,3

*Nota.* Frecuencia motor extrusora = 15 Hz.

### **Ilustración 12**

*Muestras almidón termoplástico extruido.*



*Nota.* Apariencia de los perfiles de almidón termoplástico extruido (formulación 60% almidón /40 % Glicerina) y su progresión en el tiempo (de arriba abajo) hasta su estabilización.

Una vez realizados los cambios propuestos, se procede a realizar la extrusión de la formulación almidón/glicerina 60/40 % p/p para la producción de mezcladores, como se muestra en la Ilustración 12. Se observa la progresión de la apariencia en el tiempo, comenzando por los más oscuros (Ilustración 12a y 12b) que se obtienen al salir el material degradado del ensayo previo fallido, el cual se va aclarando de color a medida que nuevo material ingresa a la extrusora. También se observa la disminución en el tiempo de puntos de impurezas de almidón degradado (Ilustración 12c y 12d). Sin embargo, al utilizarse el nuevo perfil de temperaturas (130/135/140/145/145) y debido a la precisión de los controladores de temperatura, se observa nuevamente un aumento de las temperaturas en las zonas centrales del tornillo hacia los 160 °C. Esto conlleva la generación de burbujas a la salida de la extrusión (Ilustración 12d y 12e), debido en parte a la descomposición del carbohidrato, pero también a que la glicerina

empieza a inflamarse por encima de dicha temperatura. Este fenómeno se controló disminuyendo la temperatura de las dos últimas zonas en 5 °C (zonas 4 y 5 140 °C), y esperando el tiempo suficiente para la estabilización del perfil, que, junto con la alimentación de nuevo material en la extrusora, fue posible obtener un perfil estable, de color claro, sin imperfecciones aparentes (Ilustración 12f). La Tabla 9 presenta los resultados obtenidos para la extrusión de mezcladores con la formulación almidón/glicerina 60/40 % p/p y sus principales características (diámetro, peso y longitud).

A pesar de que los perfiles descritos en la Tabla 9 se obtienen a una frecuencia del motor de la extrusora constante, se encuentra que el flujo de salida varía. Esto es debido a que las muestras 1 y 2 de la Tabla 9 corresponden a los perfiles 'd' y 'e' descritos en la Ilustración 12. Por ende, los flujos de dichas muestras se ven afectados por la presencia de aire dentro de las burbujas formadas en la superficie del perfil, con un flujo de 25,1 g/min para el perfil 'd' (con algunas burbujas) y de 40,6 g/min para el perfil 'e' (con muchas burbujas). Por otra parte, las muestras 3 y 4 de la Tabla 9, corresponden al mismo perfil final (estabilizado sin burbujas, Ilustración 12f), obteniéndose un flujo másico muy similar (promedio de 12,5 g/min). No obstante, la textura y la consistencia de los perfiles obtenidos con esta formulación es flexible y blanda (ej.: barra de silicona), por lo cual no es apropiada para la producción de los mezcladores, ya que no posee la estabilidad mecánica para la mezcla de bebidas. Finalmente, cabe notar que las muestras obtenidas se guardan a condiciones ambientes, pero se observa con el tiempo que son higroscópicas. Así, la Tabla 9 presenta además los pesos de cada muestra obtenidos recién extruidos (t=0 h) comparados con los obtenidos dos días después (t=48 h), y se encuentra un aumento del peso entre el 40% y el 100% (las muestras 2 y 4 muestran un mayor incremento, asociado con su mayor longitud). Este comportamiento higroscópico se asocia al alto porcentaje de glicerina en la formulación, efecto que se ve reducido en las demás formulaciones, como se explica a continuación.

- **Ensayo No.2: Formulación almidón/glicerina 70/30 % p/p**

Se realiza un experimento preliminar con la formulación 70/30, para el cual se registran las temperaturas de la extrusora, como se resume en la Tabla 10. Se observa que durante todo el

experimento las temperaturas de cada zona permanecen relativamente estables ( $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); sin embargo, especialmente para las zonas centrales el valor de estabilización sobre pasa el valor fijado para la zona 2 ( $T_{set} = 135\text{ }^{\circ}\text{C} \Rightarrow T_{estabilización} = 140\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y la zona 3 ( $T_{set}=140\text{ }^{\circ}\text{C} \Rightarrow T_{estabilización} = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Este fenómeno podría estar relacionado con la desorganización y desempaquetamiento de las cadenas de polímero, que generan calor en la zona de fusión (central) dentro del tornillo, junto con el calor generado por el esfuerzo de corte de la extrusora y la fricción del polímero con el barril. El amperaje de la extrusora permanece estable, y no se observa un pico de calentamiento, evitándose siempre temperaturas elevadas ( $>150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Por lo tanto, se obtiene un perfil de color claro, homogéneo y sin imperfecciones evidentes.

**Tabla 10**

*Perfil de temperaturas para el Ensayo No.2 (preliminar) (formulación 70/30).*

Temperatura	Tiempo (min)	Zona 1 ( $^{\circ}\text{C}$ )	Zona 2 ( $^{\circ}\text{C}$ )	Zona 3 ( $^{\circ}\text{C}$ )	Zona 4 ( $^{\circ}\text{C}$ )	Zona 5 ( $^{\circ}\text{C}$ )	Amperaje (A)
Set	0	130	135	140	140	140	---
Real	5	134	137	148	139	139	5,3
Real	10	132	137	149	141	139	5,6
Real	20	130	140	150	142	138	5,3
Real	30	132	140	150	138	139	5,5

**Tabla 11**

*Características de los mezcladores del Ensayo No. 2 (preliminar) (formulación 70/30).*

Muestra No.	Halador (Hz)	Tiempo (min)	Diámetro mezclador (mm)				Longitud (cm)	Peso (g)		Flujo salida (g/min)
			Inicio	Mitad	Final	Promedio		0 h	24 h	
1	4,5	3,5	4,5	4,4	4,8	4,57	206	27,7	30,1	7,9
2	4,5	5,8	4,4	4,7	4,5	4,53	404	47,0	50,1	8,1
3	12,0	4	4,5	3,8	4,6	4,30	400	56,6	58,4	14,1

*Nota.* Frecuencia motor, extrusora = 20 Hz.

La Tabla 11 presenta las condiciones de operación y las características del perfil obtenido en el ensayo preliminar (frecuencia del motor de la extrusora de 20 Hz). Se observa que las muestras 1 y 2 son repeticiones, obtenidas usando la misma velocidad del halador, y a pesar de tomarse en tiempos

diferentes, se obtiene un flujo de salida similar (promedio de 14,5 g/min), y diámetros similares (promedio de 4,5 mm). De igual forma se observa el fenómeno ya descrito de higroscopia de las muestras, pero en un grado mucho menor. Mientras que para la tercera muestra (Tabla 11) se obtiene un mayor flujo de salida, y un diámetro ligeramente menor para el mezclador.

**Tabla 12**

*Perfil de temperaturas para el Ensayo No.2 (repetición) (formulación 70/30).*

Temperatura	Tiempo (min)	Zona 1 (°C)	Zona 2 (°C)	Zona 3 (°C)	Zona 4 (°C)	Zona 5 (°C)	Amperaje (A)
Set	0	130	135	140	140	140	---
Real	0	140	138	144	142	138	8,7
Real	5	134	136	142	141	137	8,7
Real	10	132	141	150	141	136	8,8
Real	15	141	139	143	142	137	8,6
Real	20	134	136	140	143	141	8,4
Real	25	141	142	148	142	136	6,7
Real	40	144	146	148	143	140	6,5
Real	50	132	139	149	142	143	6,4

Se realiza una repetición del ensayo No.2 (formulación 70/30), más completo, registrando la estabilización del perfil de temperaturas (Tabla 12) y estudiando la influencia de la frecuencia del motor de la extrusora y del halador en las características del prototipo de mezclador, como se resume en la Tablas 11, respectivamente. En la Tabla 12 se observa que en la repetición, el perfil de temperatura presenta un comportamiento similar al visto en el experimento preliminar, con las zonas 2 y 3 estabilizándose a temperaturas 5 °C y 10 °C mayores a las fijadas, respectivamente. La Tabla 12 presenta además un complejo fenómeno de caída de amperaje que fue evidente durante la operación, y que no sucede sino por inducción del operario. Se observa que para el tiempo 0 el amperaje del motor empieza en 8,9A y va disminuyendo ligeramente con el tiempo, por ejemplo, hasta 8,4A a los 20 minutos. Esto se debe, en parte, a la desorganización de los cristales de almidón (Ilustración 1 y 2) debido al esfuerzo de corte de la máquina que, junto con el calor de la fricción, va disminuyendo el esfuerzo de la máquina. Pero también es debido a dos características fundamentales típicas de las mezclas de almidón: i)

comportamiento pseudo plástico: a mayor velocidad de deformación (ej.: revoluciones del motor) se requiere cada vez menos esfuerzo de la máquina (disminución del amperaje debido a la disminución de la viscosidad de la mezcla); y ii) comportamiento tixotrópico: que ocasiona un descenso del esfuerzo de flujo en el tiempo (a pesar de que se mantenga una velocidad de deformación constante). Estos dos fenómenos deben influir en este fenómeno de caída de amperaje, que puede ser ocasionado aleatoriamente. Es decir, solo hasta que el operario lentamente aumenta la frecuencia del motor, y si el perfil de temperatura es el apropiado, entonces a pesar de que se gire la perilla aumentando la velocidad del motor (Ilustración 9), el valor del amperaje sufre una caída pronunciada. Dicha caída es la que permite aumentar la frecuencia del motor a valores mayores a 3-4 Hz, sin que se sobrepase el límite de 10 A (sugerido por el fabricante). Este comportamiento se observa en todos los ensayos con almidón y con todas las formulaciones (mientras se use la boquilla para el mezclador), pero a propósito se registra solamente en este ensayo. Es decir que, por ejemplo, para el ensayo No.2 preliminar con la formulación 70/30 (Tabla 10) ya se había observado dicha caída de amperaje cuando se inició el experimento (t=0). Este fenómeno no se observó experimentalmente si se usaba la boquilla anular

**Tabla 13**

*Características de los mezcladores del Ensayo No. 2 (repetición) (formulación 70/30).*

Muestra No.	Frecuencia (Hz)		Tiempo (min)	Peso almidón (g)	Flujo entrada (g/min)	Diámetro (mm)				Longitud (cm)	Peso (g)		Flujo salida (g/min) (t=0)
	E	H				i	m	f	prom		0 h	24 h	
1	10	2,1	5	32	6,4	3,8	3,8	3,8	3,80	117	18,6	21,2	3,7
2	15	2,8	5	34	6,8	4,1	4,3	3,9	4,10	117	23,1	25,3	4,6
3	20	4,3	5	50	10,0	4,7	4,8	4,8	4,77	116	27,0	28,8	5,4
4	20	4,3	5	60	12,0	4,7	4,8	4,6	4,70	123	27,3	29,8	5,5
5	25	6	6	163	27,2	4,3	3,9	4,5	4,23	387	78,0	80,0	13,0

*Nota.* E: Extrusora; H: Halador; i: inicio; m: mitad; f: final; prom: promedio.

La Tabla 13 presenta el estudio de la influencia de la frecuencia del motor de la extrusora sobre las características del mezclador para la repetición del ensayo No.2 (formulación 70/30). Se observa que a medida que se aumenta la frecuencia del motor de la extrusora (de 10 a 25 Hz) se debe aumentar también

la frecuencia de giro del halador, para mantener el perfil lineal a la salida de la boquilla, hasta su enfriamiento y completa solidificación. Los datos muestran además que, con el aumento de la frecuencia de la extrusora, se aumenta también el diámetro del mezclador (de 3,8 a 4,7 mm); excepto para la última muestra (No. 5), cuando el diámetro disminuye (4,23 mm), pero se obtiene la mayor longitud (3,87 m). La Tabla 13 registra dos tipos de flujos másicos. El flujo de entrada se calcula midiendo el tiempo gastado agregando el almidón a la tolva (hasta completar una marca determinada), buscando mantener una alimentación constante. El flujo de salida se calcula pesando cada muestra obtenida, y dividiendo su peso en el tiempo de recolección de la muestra. Se observa que los flujos de entrada son siempre mayores a los de salida, aproximadamente el doble en cada caso. Este resultado era esperado, ya que el polvo debe compactarse a la entrada para el ingreso a los tornillos, y dentro de la máquina se compacta aún más debido al cambio de geometrías de los tornillos, expulsando el aire hacia atrás, aumentando la fricción y generando la fusión del sólido; mientras que a la salida ya se obtiene el polímero compactado sólido. Es importante anotar que un plástico convencionalmente se alimenta en forma de gránulos de 1-5 mm de diámetro (en inglés 'pellets') que aseguran una alimentación continua y autónoma de la máquina. En cambio, en este proyecto fue necesario que una persona empujara el almidón dentro de la tolva de alimentación, hacia abajo mediante una vara de madera, para asegurar el avance del polvo en la máquina. Esto implica que la alimentación de la máquina estuvo supeditada a la fuerza y constancia del operario. Este hecho podría explicar además la discrepancia entre el flujo másico de salida promedio de 8,0 g/min obtenido para el ensayo No.2 preliminar (muestras 1 y 2, Tabla 11) con el flujo másico de salida de 5,45 g/min obtenido para el ensayo No.2 repetición (muestras 3 y 4, Tabla 13) para la misma frecuencia del motor y del halador (20 Hz y 4,5 Hz, respectivamente), con los perfiles de temperatura constantes.

**Tabla 14**

*Influencia velocidad de halado Ensayo No. 2 (repetición) (formulación 70/30).*

Muestra No.	Halador (Hz)	Tiempo (min)	Diámetro mezclador (mm)				Longitud (cm)	Peso (g)		Flujo salida (g/min)
			Inicio	Mitad	Final	Promedio		0 h	24 h	
1	3	1	3,4	3,5	3,6	3,50	42	6,6	6,7	6,6
2	3,5	1	3,1	3,1	3,1	3,10	50	6,3	6,3	6,3



3	4	1	2,9	3,1	3,0	3,00	63	6,8	6,9	6,8
4	4,5	1	2,7	2,9	2,9	2,83	64	6,9	7,1	6,9

*Nota.* Frecuencia motora, extrusora = 10 Hz.

La Tabla 14 presenta el estudio de la influencia de la frecuencia del halador sobre las características del mezclador para la repetición del Ensayo No.2 (formulación 70/30). Se observa que un aumento en la velocidad de halado lleva a una disminución del diámetro promedio de salida del mezclador, al igual que un aumento en la longitud del perfil obtenido. Se observa además una ligera tendencia ascendente en el flujo de salida, a pesar de que la frecuencia del motor de la extrusora permanece constante a 10 Hz. Experimentalmente, no fue posible realizar la toma de la muestra No. 5, ya que una frecuencia de halado de 5,0 Hz ocasionaba la ruptura del perfil de almidón. La consistencia de todos los mezcladores obtenidos fue más rígida que para la formulación 60/40, sin embargo, las mejores características mecánicas se obtuvieron para la formulación 80/20, como se describe a continuación.

- **Ensayo No.3: Formulación almidón/glicerina 80/20 % p/p**

La Tabla 15 presenta el estudio de la influencia de la frecuencia del motor de la extrusora sobre las características del mezclador para la repetición del ensayo No.3 (formulación 80/20). Se observa claramente que, a medida que se aumenta la frecuencia del motor de la extrusora, se debe aumentar también la frecuencia del halador para mantener la tensión en la línea, y evitar la deformación del perfil a la salida. Los flujos de salida (obtenidos con el peso del producto) son mucho menores a los flujos de entrada (obtenidos con el peso del almidón agregado), debido al fenómeno de compresión ya descrito.

Además, se observa, por ejemplo, en la muestra 4 que los flujos de entrada y salida son muy similares, debido a la dependencia de la fuerza y técnica de la alimentación del almidón por parte del operador, detallada previamente. La Tabla 15 permite además comprobar la repetibilidad del ensayo, por ejemplo, comparando las muestras 1 y 2, con características de operación y de producto muy similares. Comparando los resultados obtenidos para la formulación 70/30 (Tabla 13) con la formulación 80/20 (Tabla 15) se observa una clara disminución del flujo con el aumento de la frecuencia del motor de la extrusora. Por ejemplo, para 10 Hz, se reduce el flujo de salida de 3,7 (70/30) a 2,3

g/min (80/20), para una disminución del 38%; para 25 Hz se obtiene la misma tendencia, obteniéndose una disminución del flujo del 29%. Esto es debido a la disminución del plastificante (glicerina) que aumenta el esfuerzo de la máquina, obligando a una reducción de la capacidad productiva debido al aumento de viscosidad del polímero resultante.

**Tabla 15**

*Características de los mezcladores obtenidos en el Ensayo No. 3 (formulación 80/20).*

Muestra No.	Frecuencia (Hz)		Tiempo (min)	Peso almidón (g)	Flujo entrada (g/min)	Diámetro (mm)				Longitud (cm)	Peso (g)		Flujo salida (g/min) (t=0)
	E	H				i	m	f	prom		0 h	24 h	
1	10	1,3	5	30	6,0	3,9	4,0	4,3	4,07	57	11,7	11,9	2,3
2	10	1,3	5	40	8,0	4,4	4,6	4,7	4,57	57	14,3	14,6	2,9
3	15	1,8	5	59	11,8	5,1	4,0	5,1	4,73	107	26,5	26,9	5,3
4	20	2,1	3	21	7,0	5,1	4,9	5,0	5,00	60	18,1	18,3	6,0
5	25	2,4	3	49	16,3	5,4	5,6	5,2	5,40	77	27,5	27,7	9,2

*Nota.* E: Extrusora; H: Halador; i: inicio; m: mitad; f: final; prom: promedio

**Tabla 16**

*Influencia del halador en el diámetro del mezclador Ensayo No. 3 (formulación 80/20).*

Muestra No.	Halador (Hz)	Tiempo (min)	Diámetro mezclador (mm)				Longitud (cm)	Peso (g)		Flujo salida (g/min)
			Inicio	Mitad	Final	Promedio		0 h	24 h	
6	2,5	1	4,5	4,4	4,4	4,43	18	8,1	8,1	8,1
7	2,5	1	4,6	4,6	4,6	4,60	32	8,2	8,2	8,2
8	3	1	3,6	3,6	3,7	3,63	43	7,2	7,1	7,2
9	3	1	3,2	3,1	3,0	3,10	42	5,3	5,1	5,3
10	3,5	1	3,0	2,7	3,0	2,90	106	10,0	10,0	10,0
11	4	1	3,1	3,0	2,9	3,00	59	6,6	6,7	6,6
12	4,5	1	2,9	2,9	2,8	2,87	66	6,6	6,6	6,6
13	5	1	2,4	2,3	2,6	2,43	71	5,2	5,1	5,2

*Nota.* Frecuencia motor, extrusora = 10 Hz.

**Tabla 17**

*Perfil de temperaturas para el Ensayo No.3 (formulación 80/20).*

Temperatura	Tiempo (min)	Zona 1 (°C)	Zona 2 (°C)	Zona 3 (°C)	Zona 4 (°C)	Zona 5 (°C)	Amperaje (A)
Set	0	130	135	140	140	140	---
Real	0	142	143	152	142	137	7,8
Real	10	138	138	147	143	140	7,6
Real	25	144	142	152	142	140	7,4
Real	40	129	143	162	143	138	7,2
Real	50	131	144	164	145	141	7,0

Los resultados permiten concluir que, a mayor frecuencia del motor de la extrusora, se aumenta la capacidad de producción (flujo másico de salida), pero condicionado a un aumento del diámetro del mezclador (Tabla 15). Mientras que para una frecuencia del motor de la extrusora constante, es posible controlar el diámetro del mezclador en un intervalo entre 4,4mm y 2.4 mm (Tabla 16); teniendo en cuenta que el diámetro de salida de la boquilla es de 4,8 mm (equivalente a 3/16 de pulgada). Aunque existe una relación directa del aumento de la velocidad del halador con la disminución del diámetro del mezclador, el flujo de salida no presenta una tendencia clara. Pero si es evidente la relación entre el flujo de salida y la longitud del producto obtenido, que para la muestra 5 presenta el valor más alto, obteniéndose 1 metro de mezclador en 1 minuto.

Cabe anotar que para una frecuencia constante en la extrusora (10 Hz), los resultados obtenidos para las muestras 1 y 2 (Tabla 15) como diámetro promedio (4,1 – 4,6 mm), longitud (57 cm) o flujo de salida (2,3-2,9 g/min) no son comparables con las obtenidas para las muestras 6 y 7 (Tabla 16) donde se obtienen un diámetro promedio similar (4,4-4,6 mm), pero otra longitud (18-32 cm) y otro flujo de salida (8,1-8,2 g/min). Lo anterior puede deberse a la ligera diferencia entre la frecuencia del halador entre dichas muestras en la Tabla 15 (1,3 Hz) y la Tabla 16 (2,5 Hz), al igual que la técnica de alimentación del almidón en la tolva. Pero también podría deberse a diferencias entre la hora de toma de las muestras y el perfil de temperatura durante el ensayo. La Tabla 17 muestra el desarrollo en el tiempo del valor de temperaturas para cada zona, y se observa como en las zonas centrales 2 y 3 (donde según la teoría se espera el fenómeno de fusión de los cristales de almidón) se presenta un aumento de la temperatura a lo largo del experimento (144 y 164 °C, respectivamente), a pesar de que los valores fijados son mucho menores (135 y 140 °C, respectivamente). Lo anterior demuestra la importancia del control de la

temperatura durante la operación, y la necesidad de realizar estudios posteriores a este trabajo, para determinar el perfil de temperatura óptimo para la operación de la máquina, acorde con el producto y la geometría del perfil final.

De igual forma, los resultados hacen evidente la necesidad de esperar la completa estabilización de las temperaturas, si se realiza algún cambio en las condiciones de operación (ejemplo: aumento de la frecuencia del motor de la extrusora) previo al inicio de producción. Lo anterior no se cumplió a escala laboratorio, ya que los valores de la Tabla 15 se obtuvieron de forma continua, con pocos minutos de diferencia entre uno y otro, pero a escala industrial debería esperarse siempre 30-60 minutos a la estabilización de las temperaturas de acuerdo con la capacitación brindada por el proveedor de la máquina, por cada cambio que se realice a las condiciones de operación. Finalmente, la Tabla 17 evidencia nuevamente el complejo comportamiento reológico de la formulación, a través de la disminución del valor de amperaje del motor durante la operación, debido a las características previamente descritas (pseudoplasticidad y tixotropía). Estos dos fenómenos son indispensables en la estabilización de la máquina, y la determinación de las características finales del producto, y el control de calidad.

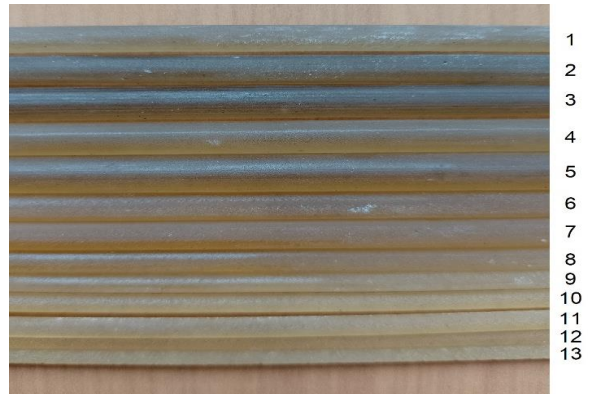
La Ilustración 13 e Ilustración 14 muestran la apariencia de los perfiles de mezcladores de almidón obtenidos en los Ensayos 2 y 3. Se observa que los mezcladores con una formulación de 70/30 son sólidos flexibles, y que solamente la adición de un 10% p/p de almidón a la mezcla permite obtener una consistencia rígida apropiada para su función (formulación 80/20). Como se comprobó durante todos los ensayos (1 a 3), la formulación básica escogida entre almidón y glicerina permitió la plastificación del biopolímero y la producción del mezclador. Especialmente, se comprobó que las dos

### **Ilustración 13**

*Muestras almidón termoplástico extruido.*



(a)



(b)

*Nota.* Apariencia de los perfiles de mezcladores: a) Muestras 1 a 3, formulación 70/30 (Ensayo No.2 preliminar, Tabla 11); b) Muestras 1 a 13, formulación 80/20 (Ensayo No. 3, Tabla 15 y Tabla 16).

**Ilustración 14**

*Longitudes de los perfiles de mezcladores de almidón termoplástico extruido.*



*Nota.* Longitudes de los perfiles de mezcladores de almidón termoplástico extruido: Muestras 1 a 13, formulación 80/20 (Ensayo No. 3, Tabla 15 y Tabla 16).

formulaciones utilizadas (70/30 y 80/20) permiten controlar el diámetro del mezclador (frecuencia del motor constante, y una distancia constante de 1250 mm entre la salida del polímero en la boquilla hasta su entrada al halador, para todas las muestras de los Ensayos 2 y 3. Finalmente, es importante aclarar que para este proyecto no se utilizó agua en la tina de enfriamiento, dado la naturaleza de carbohidrato del polímero, que ocasiona que el perfil caliente a la salida no pueda ser sometido a humedad (bajo el riesgo de disolverlo). Por lo tanto, el perfil extruido fue simplemente halado a través de la tina, enfriándose con el aire a temperatura ambiente, e ingresando directamente al halador. La línea de extrusión podría completarse con una unidad de corte, que permita el dimensionamiento final del producto, cuyo diseño y construcción se registra en las sugerencias del presente trabajo.

### 3.4.2 Producción de pitillos:

- **Ensayo No.4: Formulación almidón/glicerina 70/30 % p/p**

Se realizaron dos experimentos independientes para la misma formulación, utilizando dos perfiles de temperatura (Tabla 18). Los dos experimentos (preliminar y repetición) se realizan variando la frecuencia del motor de la extrusora entre 3,5 Hz y 4,5 Hz (ver Tablas 19 y 20).

**Tabla 18**

*Perfil de temperaturas para el Ensayo No.4 (formulación 70/30).*

Ensayo 4	Temperatura	Tiempo (min)	Zona 1 (°C)	Zona 2 (°C)	Zona 3 (°C)	Zona 4 (°C)	Zona 5 (°C)	Amperaje (A)
<i>Preliminar</i>	<i>Set</i>	<i>0</i>	<i>90</i>	<i>130</i>	<i>145</i>	<i>130</i>	<i>130</i>	<i>---</i>
Preliminar	Real	15	97	140	145	136	131	7,1
Preliminar	Real	25	96	129	149	134	134	7,3
Preliminar	Real	45	97	135	151	133	129	7,2
<i>Repetición</i>	<i>Set</i>	<i>0</i>	<i>135</i>	<i>140</i>	<i>140</i>	<i>140</i>	<i>140</i>	<i>---</i>
Repetición	Real	10	130	137	139	138	147	9,8
Repetición	Real	20	140	140	145	142	148	9,8
Repetición	Real	30	145	141	151	147	150	9,9

**Tabla 19**

*Características de los pitillos obtenidos en el Ensayo No. 4 (preliminar) (formulación 70/30).*

Muestra No.	Extrusora (Hz)	Tiempo (min)	Diámetro (mm)				Longitud (cm)	Peso (g) 0 h	Flujo salida (g/min)
			Inicio	Mitad	Final	Promedio			
1	3,5	20	11,3	11,4	14,4	11,37	22	14,4	0,72
2	3,5	20	11,4	11,5	22,1	11,63	33	22,1	1,11
3	3,5	20	12,0	11,8	22,5	11,83	33	22,4	1,12

**Tabla 20**

*Características de los pitillos obtenidos en el Ensayo No. 4 (repetición) (formulación 70/30).*

Muestra No.	Extrusora (Hz)	Tiempo (min)	Diámetro (mm)				Longitud (cm)	Peso (g) 0 h	Flujo salida (g/min)
			Inicio	Mitad	Final	Promedio			
4	4,5	1,5	11,9	11,2	16,1	11,67	20	16,1	10,73
5	4,5	1,5	10,8	11,1	18,5	10,97	27	18,5	12,33
6	4,5	1,5	9,4	10,1	28,7	10,03	53	28,7	19,13

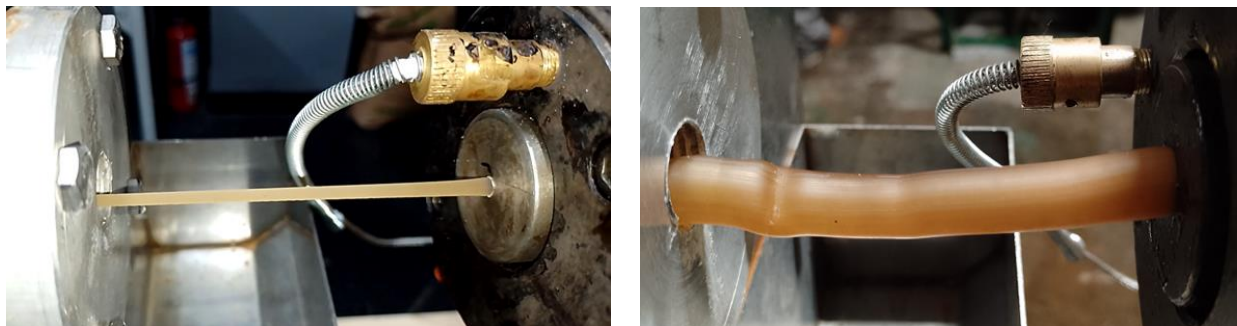
Es evidente que las condiciones de operación y los flujos obtenidos no son comparables con los ensayos previos para la producción de mezcladores, teniendo en cuenta el aumento del área de salida en el caso de la boquilla anular. Es importante anotar además que todos los datos presentados de perfiles de temperatura (Tablas 8, 10, 12, 17, y 18) se empiezan a reportar después de un tiempo previo de encendido, calentamiento y estabilización de la máquina de al menos 90 minutos. Al respecto, la Tabla 18 muestra nuevamente, como se reportó para el caso de los mezcladores, que las zonas centrales (2 y 3) estabilizan a temperaturas 5-10 °C superiores a los valores fijados (Tset). En los dos experimentos realizados con la boquilla anular, en ninguno se observó el fenómeno de caída de amperaje previamente descrito. Así, la Tabla 18 reporta un aumento de amperaje de 7,2 A (ensayo preliminar 3,5 Hz; Tabla 19) a 9,9 A (ensayo repetición 4,5 Hz; Tabla 20) y no se continuó probando valores mayores de frecuencia del motor de la extrusora para no sobrepasar el límite de 10 A (sugerido por el fabricante) ya mencionado.

Se observa que fue posible aumentar el flujo de salida promedio de la máquina de 0,98 g/min (Tabla 19) a 14,07 g/min (Tabla 20), debido en parte al ligero aumento de la frecuencia del motor de la extrusora (de 3,5 Hz a 4,5 Hz, respectivamente), pero en gran parte influenciado por el cambio del perfil de temperaturas en la extrusora (Tabla 18). El perfil obtenido es tubular, de consistencia rígida (ejemplo:

pasta tipo macarrón), como se observa en la Ilustración 15. El espesor aproximado de las paredes del perfil tubular es de  $\pm 1,5\text{mm}$ , y dado que no se obtuvo un perfil flexible, no fue posible realizar el estudio de la influencia de la velocidad del halador, ya que el perfil se rompe a una frecuencia del halador mayor a 1,5 Hz. Es evidente que, para elongar el perfil caliente a la salida del dado y poder obtener las dimensiones deseadas para un prototipo de pitillo, se requiere una formulación más elaborada que le permita al polímero plastificarse aún más, o una boquilla anular de menores dimensiones. Estas dos opciones pueden explorarse otros proyectos de investigación derivados de este trabajo de grado, para obtener un espesor de pared más delgada y continuar con la producción del prototipo de pitillo.

### Ilustración 15

*Salida de almidón termoplástico extruido.*



*Nota.* Perfiles de almidón termoplástico obtenidos a la salida de la boquilla: a) circular (Ensayo No. 3, formulación 80/20, muestra 8, Tabla 16); b) anular (Ensayo No. 4, formulación 70/30, muestra 4, Tabla 20).

### 3.5 Variables que influyen el producto

Recapitulando, este estudio es un primer paso para la producción de mezcladores y pitillos con almidón termoplásticos, cuyos resultados permiten identificar gran cantidad de variables que influyen el proceso, como son:



- Velocidad de alimentación: es necesario diseñar un sistema de alimentación constante en la tolva que permita el ingreso del almidón en polvo a la garganta del tornillo, asegurando la fusión continua de los cristales de almidón, para lograr estabilizar la operación.
- Diseño de las boquillas: el cual es fundamental en la operación, y debe realizarse teniendo en cuenta la viscosidad y otras propiedades de flujo reológico del material a extruir.
- Velocidad de giro de la extrusora: del cual depende directamente la capacidad de operación de la máquina, al igual que las dimensiones finales del perfil extruido (para lo cual debe tenerse en cuenta la naturaleza química del polímero y su hinchamiento a la salida de la boquilla).
- Perfil de temperaturas: del cual depende la velocidad de fusión de los cristales de almidón, en presencia del plastificante, y el principal costo de operación de la máquina. El perfil de temperaturas no debe ser impuesto y va de la mano con el origen del almidón, el tipo configuración de la extrusora, la humedad de la mezcla, la velocidad de giro, etc. (Román Rivas, 2018).
- Sistema de enfriamiento: el almidón por ser carbohidrato es soluble en agua, por lo que no puede usarse una tina de agua convencional. Se deben evaluar otros sistemas de enfriamiento con aire (convección libre o forzada) y la influencia del perfil de temperaturas del aire en la velocidad de enfriamiento y las dimensiones finales del perfil.
- Velocidad de halado: define la tensión en la línea y las características del perfil, y debe definirse acorde con el tipo de producto buscado, controlando además la distancia desde la salida de la boquilla hasta el ingreso al halador. Es dependiente de las características reológicas de flujo del polímero.
- Higroscopia: se debe analizar la influencia de las condiciones de operación (temperaturas, presiones, velocidad del tornillo, entre otros) sobre el índice de solubilidad en agua de la mezcla termoplástica de almidón, lo cual define no solamente el flujo del polímero a través de la máquina, sino también la propiedad higroscópica del producto al final (Aguilar Chávez, 2013) (Ramírez Ascheri, 2017).

- Almacenamiento: relacionada con lo anterior, se deberá además controlar las condiciones de producción y almacenamiento de los perfiles, al igual que estudiar los fenómenos de retrogradación del almidón para asegurar la calidad del producto y su tiempo de expiración.

Otras variables que se mantuvieron parametrizadas en este trabajo, pero que también debe evaluarse su influencia, incluyen:

- Origen del almidón: cuya morfología y origen vegetal, al igual que su procesamiento de extracción (fécula, almidón, harina, etc.), es fundamental en la definición de las características mecánicas finales del producto, debido a que con ello varía la proporción de amilasa y amilopectina, y la temperatura de gelatinización del biopolímero, entre otros.

- Cantidad de agua inicial: se debe realizar el secado previo del almidón, lo cual influye en las características finales del producto (Ossa Pack, 2016).

- Premezclado: el almidón y la glicerina en este trabajo se mezclan a mano, pero se debe utilizar un molino para asegurar la homogenización de la premezcla.

- Geometría de la extrusora: la longitud (L) del tornillo, y su relación con el diámetro del barril (D), es la principal variable que afecta la operación de extrusión. Industrialmente, se considera que existe una relación (L/D) óptima para el procesamiento de cada polímero, y la compra de la línea de extrusión está ligada al polímero a utilizar y el producto deseado.

- Perfil de presiones: la evolución del perfil de presión dentro de la extrusora es fundamental para la comprensión de la reología del polímero, afectando directamente el perfil de temperaturas y la estabilización de la operación. Por lo tanto, se sugiere la implementación de un sistema de medición y control de temperatura en la línea de extrusión de la ETITC.

- Tiempo de residencia: la complejidad de fenómenos reológicos, como el de la caída de amperaje descrito en este trabajo, son influenciados también por el tiempo de residencia del polímero en la máquina, modificando el contenido cristalino de la mezcla (dependiendo de la relación amilosa/amilopectina) y, por ende, la resistencia mecánica final del producto.

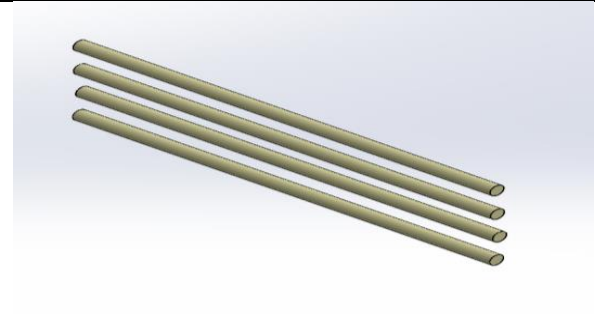
El análisis de todas estas variables y/o parámetros es fundamental para la toma de decisiones del proceso productivo, como se detalla en el siguiente capítulo.

#### 4. PROCESO PRODUCTIVO

Este capítulo presenta la viabilidad técnica para el proceso de extrusión de mezcladores y pitillos biodegradables. Se presenta a continuación en las Ilustraciones 16 y 17 la ficha técnica de los productos a fabricar, con la descripción general de las características de los mezcladores y pitillos de almidón.

##### Ilustración 16

*Ficha técnica de los mezcladores de almidón.*

	
<b>Ítem</b>	<b>Concepto</b>
<b>Producto</b>	Mezcladores bioplásticos de bebidas.
<b>Diseño</b>	Color crema pastel con geometría cilíndrica.
<b>Usos</b>	Utilización en bebidas calientes o frías.
<b>Descripción técnica</b>	Barrita cilíndrica de biopolímero, biodegradable, biocompostable de 4 mm de diámetro con longitud 120 mm a base de almidón de maíz, peso aproximado 0,5 g.
<b>Empaque</b>	En bolsas biodegradables en paquetes de 250, 500 y 1000 unidades.
<b>Condiciones especiales</b>	El producto debe almacenarse lejos de la humedad y su disposición final se debe realizar en residuos destinados al compostaje.

*Nota.* Características de los mezcladores basados en almidón termoplásticos.

## Ilustración 17

Ficha técnica de los pitillos de almidón.

Ítem	Concepto
<b>Producto</b>	Pitillos bioplásticos de bebidas.
<b>Diseño</b>	Color crema pastel, geometría cilíndrica hueca.
<b>Usos</b>	Utilización en bebidas frías.
<b>Descripción técnica</b>	Tubo cilíndrico de biopolímero, biodegradable, biocompostable de 6 mm de diámetro exterior y 5 mm de diámetro interior con longitud 200 mm a base de almidón de maíz. peso aproximado 0,5 g.
<b>Empaque</b>	En bolsas biodegradables en paquetes de 250, 500 y 1000 unidades.
<b>Condiciones especiales</b>	El producto debe almacenarse lejos de la humedad y su disposición final se debe realizar en residuos destinados al compostaje.

*Nota.* Características de los pitillos basados en almidón termoplásticos.

### 4.1 Materia prima y maquinaria

La materia prima para fabricación de los mezcladores es:

- Almidón de maíz: obtenido por el proceso de molienda húmeda químicamente es carbohidrato grado alimenticio, exento de sustancias tóxicas o nocivas. Apariencia polvo blanco con olor y sabor neutros. Humedad, % Min 11.5 Máx 13.0; pH Min 4.0 Máx. 6.5; Proteína Total, % 0.5.
- Glicerina: USP para propósitos farmacéuticos y alimenticios, el glicerol contenido en solución acuosa, que es de no menos que el 95% (gravedad específica 1,249 a temperatura ambiente).
- Materia prima para el empaque: Rollos para empaque plástico de productos en materiales biodegradables, compostables. Cajas de cartón corrugado.

A continuación, las Ilustraciones 18 a 29 muestran las diferentes máquinas, equipos periféricos y herramientas que hacen parte del proceso productivo, junto con algunos detalles descriptivos como, dimensiones, peso, capacidad, entre otras. Estas máquinas fueron seleccionadas de acuerdo en su capacidad de procesamiento el cual sirve de guía para realizar los cálculos de capacidad del proceso y la inversión inicial para la compra de estos equipos.

- Línea de extrusión:

Máquina de extrusión modelo JS 286/HVA PLA (ver Ilustración 18) cuenta con características como:

**Capacidad extrusión:** - Tornillo: 65 mm

- Salida: 45-70 kg/h (Tornillo 65 mm)

- Velocidad: 600- 1200 unidades/min (dependiendo de dimensiones del pitillo)

**Unidad halado/corte:** - Motor AC 1hp + inverter\*1, AC 2 hp + inverter\*1 + cuchilla de corte

- Dimensión total línea de extrusión: 12 m (largo) x1 m (ancho) x1,5 m (alto)

- Peso de la máquina: 2 toneladas.

## Ilustración 18

*Máquinas Jumbo Steel para extrusión de pitillos / mezcladores.*



*Nota.* Máquina extrusora, sistema de enfriamiento, sistema halador, sistema de corte. Adaptado de JS 285S/3V HIGH SPEED PP STRAW MAKING MACHINE, Jumbo Steel, s.f., <https://www.jumbosteel-tw.com/JS285S-3V-high-speed-pp-straw-making-machine.html>

- Empaquetadora (paquetes de mezcladores y/o pitillos)  
La empaquetadora de grupo de paja JS 603 (ver Ilustración 19) cuenta con características como:
  - Diámetro y longitud del pitillo:  $\varnothing$  5 -  $\varnothing$ 6,0 mm, 200 – 210 mm
  - Diámetro y longitud del mezclador:  $\varnothing$  4 –  $\varnothing$  5 mm, 120 – 130 mm
  - Capacidad de empaque: 700-900 unidades por minuto.
  - Dimensión total máquina: 200 cm (largo) x 680 cm (ancho) x 1450 cm (alto)
  - Peso de la máquina: 1 tonelada

## Ilustración 19

*Empaquetadora de grupo de paja JS 603.*



*Nota.* Empaquetadora de paquetes JS 603. Adaptado de Empaquetadora de grupo de paja JS 603, PRM, s.f., <https://spanish.prm-taiwan.com/product/JS-603-Straw-Group-Packing-Machine.html>

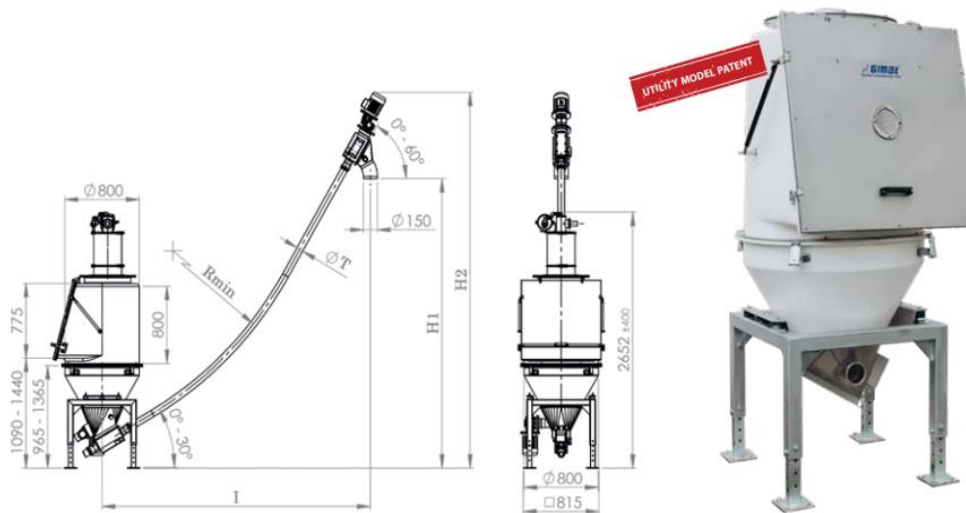
- Elevador de mezcla

El transportador elevador sinfín flexible (ver Ilustración 20) cuenta con características como:

- Capacidad de transporte: 340 kg/hora
- Diámetro tornillo: 55 mm
- Dimensiones: Largo 2 m x ancho 1m x alto 2,30 m
- Peso de la máquina: 680 kilos

### Ilustración 20

*Transportador elevador sinfín flexible.*



*Nota.* Transportador elevador sinfín flexible, Gimat modelo MA55. Adaptada de Transportador sinfín flexible, s.f., Gimat, <https://www.gimatengineering.com/es/tornillos-sinfines-flexibles/>

- Mezclador

El mezclador atemperado tipo V (ver Ilustración 21) cuenta con características como:

- Capacidad de mezcla: 110 kilos/hora
- Dimensiones de la máquina: Largo 1,50 m x ancho 1m x alto 1,5 m
- Peso de la máquina: 400 kilos.



## Ilustración 21

*Mezclador atemperado tipo V.*



*Nota.* Mezclador tipo V. Modelo - VH150. Adaptada de La mezcla de barril de acero inoxidable molino Farmacéutico , Made in China, [https://es.made-in-china.com/co\\_pharma-machinery/product\\_Stainless-Steel-Mixing-Barrel-Mixing-Transfer-Barrel-Machine-for-Pharmaceutical-Powder-Mixing\\_errreoug.html](https://es.made-in-china.com/co_pharma-machinery/product_Stainless-Steel-Mixing-Barrel-Mixing-Transfer-Barrel-Machine-for-Pharmaceutical-Powder-Mixing_errreoug.html)

- Molino triturador de plásticos

El molino triturador de plásticos (ver Ilustración 22), cuenta con características como:

- Capacidad: 50-80 kg/hora
- Dimensiones de la máquina: Largo 1m x ancho 1m x alto 1,50 m
- Peso de la máquina: 350 kilos.

## Ilustración 22

*Molino triturador.*



*Nota.* Molino triturador. Reproducida de *Molino para recuperar plástico*, s.f., Universal de maquinarias y guillotinas S.A.S., <https://www.universaldemaquinaria.com/product/molinos-para-recuperar-plastico>

- Elementos de almacenamiento, transporte interno, y administración

Otros elementos necesarios incluyen una estantería industrial, una transpaleta manual, y estibas (ver Ilustraciones 23 a 25), además del mobiliario requerido para el área administrativa que incluye: escritorios, sillas de oficina, equipos de cómputo, software de administración, entre otros.

### Ilustración 23

*Estantería industrial de tres entrepaños.*



- Capacidad de carga: 500 kg cada entrepaño.
- Dimensiones: Largo 2 m x alto 2m x fondo 0,60 m.

*Nota.* Estantería 3 Niveles. Reproducido de Estantería Semi-Pesada 2.00, s.f., Industria metálicas cruz, <https://estanteria.com.co/producto/estanteria-industrial-de-carga-semipesada>

### Ilustración 24

*Transpaleta Manual Ameise® 2000.*

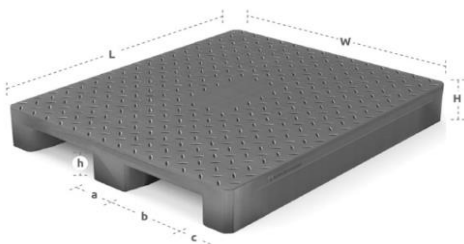


- Capacidad 2000 kilogramos.
- Largo Horquillas 1150 mm
- Ancho Horquillas 685 mm

*Nota.* Transpaleta manual. Reproducida de Transpaleta Manual Ameise® 2000, s.f., JUNGHEINRICH, <https://www.tienda-jungheinrich.co/transpaletas/transpaletas-manuales/ameise-ac-20-685x1150--211650>

### Ilustración 25

*Estiba plástica.*



- Dimensiones: Largo 120 cm x ancho 100 cm x 15 cm.
- Peso de la estiba: 21,5 kg
- Capacidad: 6000 kg Estática.  
1500 kg Dinámica.  
1000 kg En estantería.
- 2 entradas.

*Nota.* Estiba plástica ER-100, Reproducida de Estiba 2 Entradas, s.f., Vida Urbana,

[https://www.vidaurbana.co/products/es\\_CO/Almacenamiento en estanteria-54/Estiba dos Entradas-184](https://www.vidaurbana.co/products/es_CO/Almacenamiento%20en%20estanteria-54/Estiba%20dos%20Entradas-184)

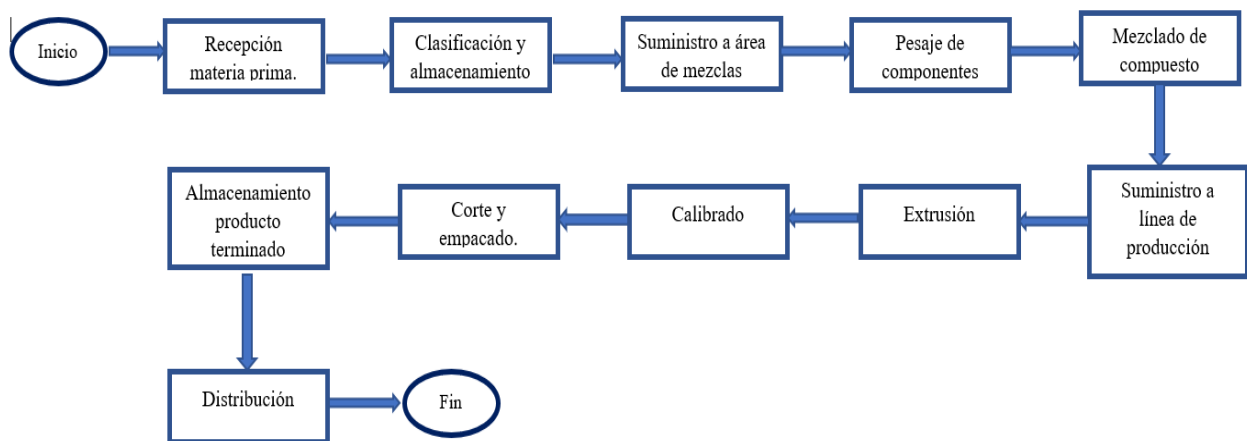
## 4.2 Descripción del proceso productivo

La descripción del proceso productivo se realiza mediante diferentes diagramas de flujo del proceso productivo general (Ilustración 26) y sinóptico (Ilustración 27). El proyecto se centra en la producción de mezcladores biodegradables con una calidad óptima, dado que para el caso de los pitillos la experimentación realizada, acorde con el tiempo del proyecto y su alcance, no se logró obtener una formulación de la viscosidad adecuada que genere estabilidad del flujo de la materia prima en la máquina, ni el ajuste de la boquilla que evite el colapso del tubo para realizar la producción de pitillos que cumpla con los estándares requeridos.

El diagrama de flujo general del proceso productivo describe de forma gráfica los diferentes procesos que involucran la fabricación de los mezcladores con base en el material biodegradable y biobasado. Este diagrama se observa en la Ilustración 26, que muestra en orden secuencial las etapas necesarias, iniciando por la recepción de la materia prima hasta la entrega del producto terminado, pasando por los procesos de extrusión, corte y empaqueo del producto.

### Ilustración 26

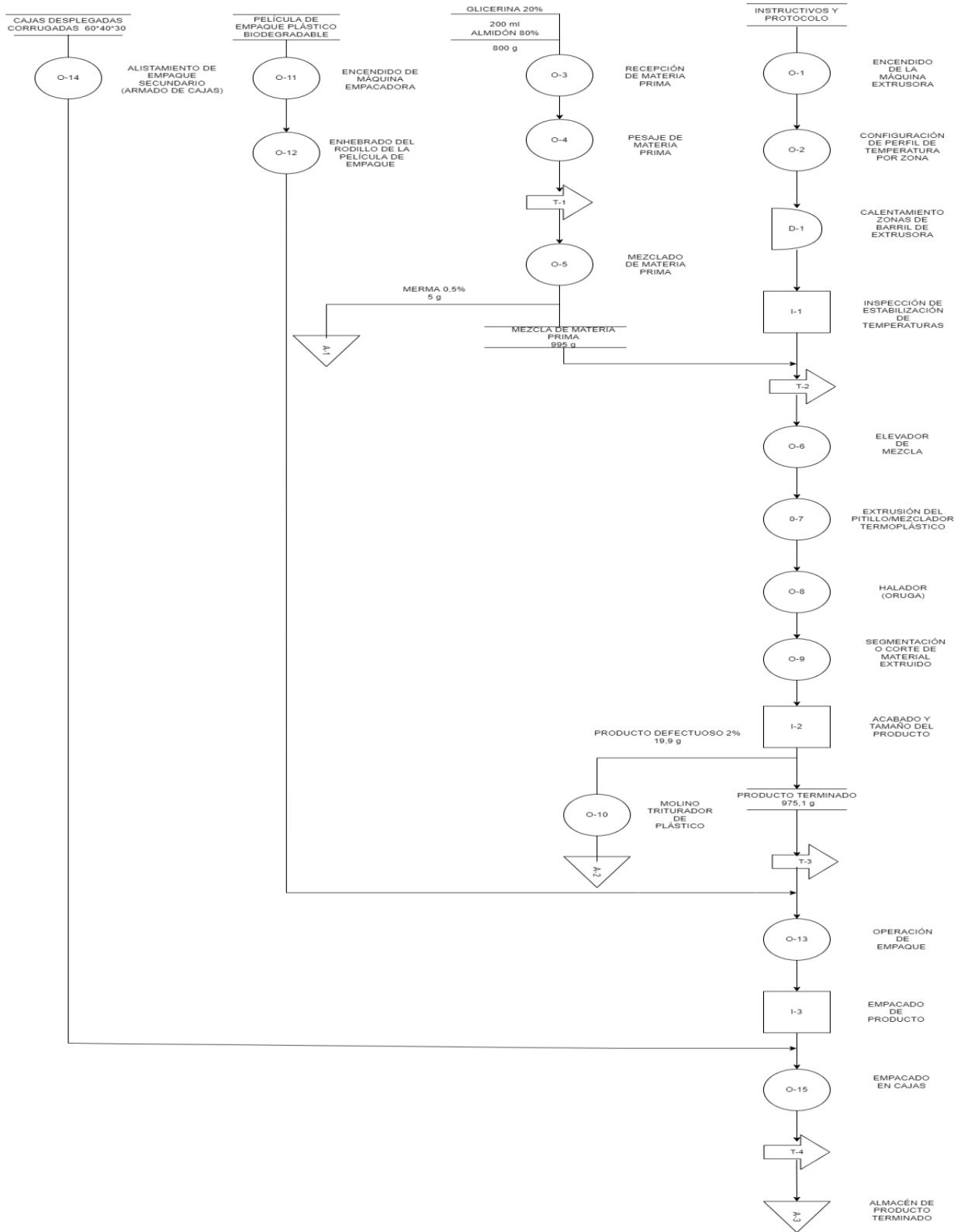
*Diagrama de flujo general del proceso productivo.*



*Nota.* El diagrama de flujo describe las etapas para la fabricación de mezcladores biodegradables.

## Ilustración 27

Diagrama de flujo sinóptico del proceso productivo (ASME).



Con el fin de determinar en detalle cómo se debe conformar el proceso productivo se realiza el diagrama de flujo sinóptico del proceso productivo ASME (ver Ilustración 27), explicando paso a paso las operaciones, las demoras, transportes, inspecciones y almacenamientos que hacen parte del proceso. Con la realización del diagrama tipo ASME se pueden identificar que las tareas de encendido de la máquina empacadora, enhebrado del rodillo de la película de empaque, armado de cajas, etc. Son procesos que se pueden realizar de manera alterna al proceso central que es la extrusión del material. Lo cual disminuye el tiempo de reposo de los operarios y optimiza el proceso que ellos llevan a cabo.

A partir de la recepción de instructivos y protocolos se realiza el encendido de la máquina extrusora, configurando los perfiles de temperatura por zona, velocidades de los tornillos, halador y máquina de corte, iniciando la estabilización térmica del barril por cada zona. Alternamente se realiza la recepción de la materia prima para su posterior pesaje para luego ser transportada al proceso de mezclado, se realiza la inspección de la estabilización de temperaturas de la máquina extrusora y luego se transporta el material mezclado al elevador de mezcla para ingresar a la línea de extrusión (extrusora, halador y máquina de corte) iniciando a la operación de extrusión. El operario debe realizar la inspección del acabado y el tamaño del producto seleccionando los productos defectuosos para luego ser llevados a la trituradora de plástico

A continuación, se realiza el encendido de la máquina empacadora y el enhebrado del rodillo de la película de empaque para proceder a la operación de empaque. Después el operario debe realizar una inspección de la calidad de empaque del producto. Luego se reciben las cajas desplegadas corrugadas y se realiza el armado de estas, se debe empaquetar los productos terminados en cada caja para después ser transportados a el almacén de producto terminado.

### 4.3 Distribución de planta

La distribución de la planta es un factor crucial para la continuidad y efectividad de un proceso, ya que este puede representar demoras con desplazamientos innecesarios y letargo en el proceso productivo. La distribución de planta se configura dependiendo del proceso a realizar, por ejemplo, puede ser un proceso lineal o en cadena, por proceso, por células o grupos de trabajo, etc.

En primer lugar, se deben determinar las áreas necesarias de operación del proceso teniendo en cuenta tanto la maquinaria y los equipos, como el número total de operarios y los equipos de manejo de material. Con este fin se utiliza el método de Guerchet, el cual a partir de cálculos y operaciones matemáticas facilita la tarea de definir el área de trabajo necesario (Cruz Villaraga, 2017). Dentro del método Guerchet se nombran 4 tipos de superficies las cuales son:

- Superficie estática (ss): Esta hace referencia al área de la máquina o puesto de trabajo
- Superficie de gravitación (sg): Esta hace referencia a el área de trabajo que utilizan los operarios alrededor de la misma en sus movimientos habituales durante este proceso de producción o con materias primas
- Superficie evolutiva (se): Consiste en los espacios que deben delimitarse entre los puestos de trabajo para el desplazamiento de los operarios y el almacenamiento de piezas y mercancías.
- Superficie total (st): Se refiere a el área que se debe disponer para la maquinaria.

(Cruz Villaraga, 2017)

A continuación, la Tabla 21 presenta los resultados de aplicar dicho método, con el fin de estimar las diferentes áreas de trabajo requeridas para las diferentes áreas del proceso productivo.

**Tabla 21**

*Cálculo de superficies de elementos en planta.*

Máquinas	Ancho (m)	Largo (m)	N	Coefficiente K	Área Ss (m <sup>2</sup> )	Área Sg (m <sup>2</sup> )	Área Se (m <sup>2</sup> )	Área total (m <sup>2</sup> )
Báscula	1	1	3	0,15	1	3	0,6	4,6
Mezcladora	1	1,5	1	0,15	1,5	1,5	0,45	3,45
Transportador elevador sinfín	1	2	1	0,15	2	2	0,6	4,6
Línea de extrusión	12	1	2	0,15	12	24	5,4	41,4
Empaquetadora(x2)	9,8	2	2	0,15	19,6	39,2	8,82	67,62
							Total	189,29

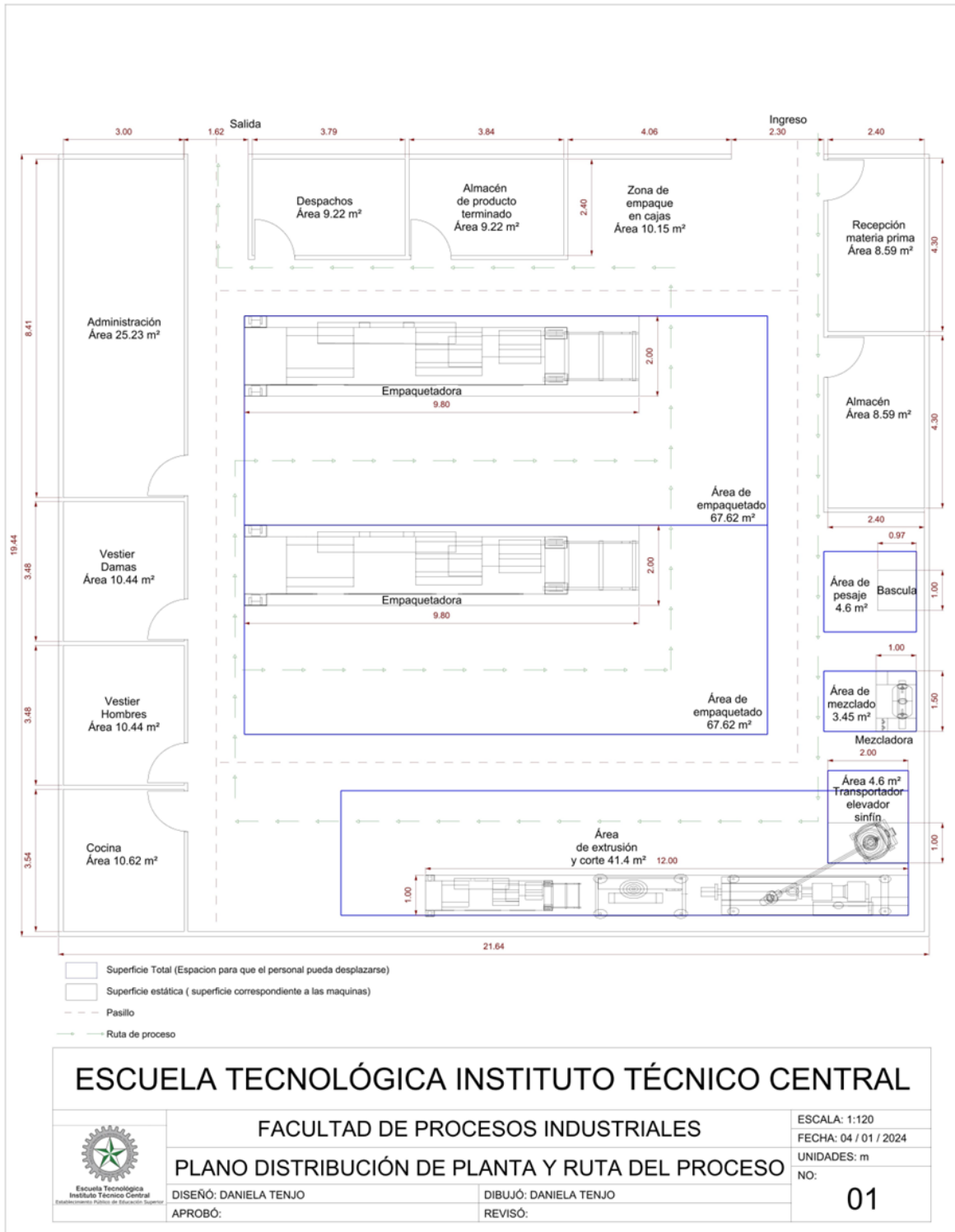
*Nota. N: Número de caras operables de máquinas, K: Coeficiente K (altura de hombres u objetos desplazados) (ver anexo 1), Ss: Superficie estática ( $Ss = \text{largo} \times \text{ancho}$ ), Sg: Superficie de gravitación ( $Sg = Ss \times N$ ), Se: Superficie de evolución ( $Se = K [Ss + Sg]$ ).*

Después de aplicar el método del cálculo de superficies se determinan el área de la maquinaria que se encuentra dentro de la planta de producción, para un total de 189,29m<sup>2</sup> mínimos requeridos para maquinaria.

Se procede a realizar el plano de la distribución en planta (ver Ilustración 28) teniendo en cuenta las superficies total y estática (ver Tabla 21). Con base a los resultados obtenidos del método de cálculo de superficies se tiene en cuenta la distribución de producción en cadena o en línea para la ubicación de la maquinaria, ya que el proceso de fabricación es secuencial, altamente estandarizado y tiene una producción masiva. Es importante aclarar que el uso del método de Guerchet está diseñado para asegurar la optimización del espacio.

# Ilustración 28

Plano distribución de planta.





#### 4.4 Capacidad de planta proyectada

La proyección de la producción se realiza teniendo como referencia el 85% de la capacidad teórica de la línea de extrusión, que es 70 kg/h, es decir, los cálculos se realizarán con 60 kg/h, con el propósito de tener un margen de producción adicional por demandas inesperadas o detenciones no programadas de producción. El cálculo de materiales se determinará teniendo en cuenta la ficha técnica mencionada con anterioridad al inicio del apartado del proceso productivo de los mezcladores, teniendo en cuenta las tablas del proceso productivo. La inversión se proyectará de acuerdo con los precios actuales de adquisición de maquinaria, equipos, materia prima, recursos humanos, infraestructura de instalaciones, sin considerar compra de terrenos o inmuebles, solo arriendo de bodega.

La Tabla 22 presenta los cálculos de la producción proyectada teórica de la fábrica de productos biodegradables, con el fin de estimar la capacidad de producción del proceso lo más cercana a la realidad.

**Tabla 22**

*Cálculo de capacidad instalada de producción.*

<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Capacidad producción teórica de la extrusora	70	kg/h
Porcentaje de producción	85	%
Producción proyectada	60	kg/h
Peso del producto	0,5	g
Unidades por hora	119.000	unidad/h
Unidades por turno de 7 horas	833.000	unidad /día
Unidades por mes	20.825.000	unidad /mes
Unidades por año	249.900.000	unidad /año

*Nota. Base de cálculo: 1 mes = 25 días.*

Inicialmente se toma la capacidad de la máquina extrusora, asumiendo su funcionamiento al 85% de su capacidad real y, teniendo en cuenta la producción proyectada se divide sobre el peso del producto dando como resultado la producción por hora de la maquina extrusora. Luego se multiplica el número de unidades por 7 horas (horario laboral) para hallar el número de unidades por turno de 7 horas. La producción mensual se calcula tomando como base 25 días laborales al mes multiplicado por las unidades por turno de 7 horas. Finalmente se halla la producción anual multiplicando el número de unidades por 12, equivalentes a los 12 meses anuales, alcanzando una producción anual aproximada de 250 millones de unidades.

#### **4.5 Tiempos de procesos**

A través de los cálculos de los tiempos de proceso se puede medir cuánto tarda una operación de trabajo en realizarse, A continuación, se muestran los cálculos de los tiempos de producción de las máquinas utilizadas para el proceso de manufactura e inspecciones requeridas. El cálculo de los tiempos requeridos para los diferentes procesos (ver Tabla 23) se realiza para así obtener un estudio más cercano a la dinámica real del proceso productivo, utilizando una jornada de trabajo de 7 horas.

Con el fin de medir el tiempo que tarda una operación en realizarse se determina el tiempo normal de proceso, que se ejecuta realizando la toma de tiempos de la operación a calcular (en este caso se toma el muestreo de 10 repeticiones para cada proceso), para luego hallar el promedio de cada operación sumando las 10 repeticiones de cada operación y dividiendo cada una en 10 (número de muestras tomadas, para cada uno de los procesos (ver tabla 23). Las operaciones en las cuales se aplicará la determinación del tiempo normal son las siguientes: “Tiempo de viaje (cargue, descargue y desplazamiento)”, “Tiempo de inspección (Producto semi terminado)” y “Tiempo de inspección (por paquete)”. Después se procede a realizar el cálculo del tiempo normal de cada operación, para determinar el tiempo en minutos que tardara el operario en terminar la actividad. La fórmula para hallar este valor corresponde a el promedio de cada operación multiplicado por la división entre el factor de velocidad de la operación determinado por el evaluador y el factor base según el ritmo de trabajo (Tabla 24).

**Tabla 23***Toma de tiempos de operación.*

Tiempo en minutos											
No. Lectura	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio (min)
Inspección producto semi terminado	0,53	0,52	0,54	0,54	0,58	0,55	0,58	0,65	0,60	0,70	0,58
Inspección producto terminado	0,73	0,70	0,96	1,01	1,07	0,98	0,67	0,94	0,93	0,67	0,86
Tiempo de viaje (cargue, descargue y desplazamiento)	2,2	3,1	3,2	4,02	3,4	2,5	2,4	3,2	3,2	3,5	3,08

*Nota.* En esta tabla se muestra el tiempo en minutos tomado de la realización de las operaciones especificadas y su respectivo promedio.

**Tabla 24***Ritmo de trabajo del operario*

RITMO DE TRABAJO	VALOR	RITMO DE TRABAJO	VALOR
Acelerado	120	Normal	100
Rápido	115	Regular	95
Óptimo	110	Lento	90
Bueno	105	Muy lento	85

*Nota.* La valoración del factor de velocidad de la operación (Ritmo de trabajo) es determinado por el criterio del evaluador al observar al operario durante la operación. Reproducida de YO INGENIERO. (2021, 4 septiembre). Estudio de tiempos - ¿Cómo calcular tiempo normal y tiempo estándar en un análisis de proceso? [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=VRAM-jVT4lg>

Para el valor del ritmo de trabajo el evaluador indicara si la operación se realiza por ejemplo con un ritmo normal que equivale a 100 o un ritmo lento que equivale a 90. El factor base siempre será el valor de 100 que equivale a un ritmo normal de trabajo (denominador de la división).

A continuación, se muestra la fórmula para hallar el tiempo normal de operación:

$$Tiempo\ normal\ (TN) = Tiempo\ promedio * \frac{Ritmo\ de\ trabajo\ observado}{Factor\ base}$$

Luego de realizar la contextualización se determina el tiempo normal para cada operación:

- *Inspección producto semi- terminado:*

$$TN = 0,58 * \frac{105}{100} = 0,61 \text{ (Minutos)}$$

Durante el proceso de inspección se evalúan las siguientes características: Homogeneidad de color en el mezclador, rigidez, imperfecciones (burbujas) y dimensiones.

- *Inspección producto terminado:*

$$TN = 0,86 * \frac{110}{100} = 0,95 \text{ (minutos)}$$

Para la inspección de producto terminado (paquete de 500 unidades) se evalúa: sellado al vacío, terminación de sellado en las esquinas, inspección visual rápida de imperfecciones de mezcladores a través del empaque.

- *Tiempo de viaje (cargue, descargue y desplazamiento):*

$$TN = 3,08 * \frac{100}{100} = 3,08 \text{ (minutos)}$$

Durante el transporte de la materia prima al elevador de carga se realizan las operaciones de: Empacar el material mezclado en bolsa de almidón vacía (capacidad 25.000 g), cargar tres bolsas de la mezcla en el transpaleta manual, desplazarse la distancia hasta el elevador de mezcla y descargar los tres paquetes de material mezclado.

Para la determinación de los tiempos por cada proceso que se ubica en la Tabla 25 se realizaron los siguientes cálculos:

- Para el proceso de mezclado en primera instancia se toma el peso cada unidad multiplicado por número de unidades del turno de 7 horas, también se utiliza la capacidad de la mezcladora nombrada anteriormente (ilustración 21) hallando así el tiempo que tarda la máquina en mezclar la producción total del turno de trabajo, para luego determinar el tiempo del proceso en minutos realizando el factor de conversión.

- El desplazamiento de materia prima al elevador de mezcla se calcula teniendo en cuenta la capacidad de procesamiento de la mezcladora que es de 93.500 g/hora y teniendo en cuenta que el elevador de carga debe ser alimentado lo más pronto posible para iniciar el proceso de producción se realiza el cálculo del número de viajes necesarios para suplir la producción diaria (416.500 g) se divide la capacidad de la máquina mezcladora entre el número de gramos que será procesado ese día, dando como resultado que son necesarios 4,45 viajes, es decir 5 viajes. Estimando que el tiempo que tarda el operario en cargar y descargar la materia prima se dan 4 minutos, se calcula que el tiempo total de esta operación es de 20 minutos, este cálculo se realizó multiplicando el número de viajes por el tiempo por el tiempo de cada viaje. El tiempo de desplazamiento se calcula de esta manera ya que la capacidad de carga máxima de la transpaleta manual supera por mucho el peso total de la producción diaria de la planta de producción. La carga máxima del transpaleta manual es de 1'500.000 g. (Tamborero del Pino, 1991)
- La Inspección de calidad del producto semi- terminado se determina dividiendo la producción del turno de 7 horas en lotes de 500 unidades la cual es la presentación final del producto, dando como resultado un total de 1666 paquetes de 500 unidades, se estima que el tiempo de inspección es de 3 minutos y por último se utiliza el método de raíz cuadrada de muestreo sesgado ( $\sqrt{n}$ ) donde es el número de unidades totales, dando como resultado que es necesaria una inspección de 41 paquetes de 500 unidades. Todo esto con el fin de hallar el tiempo de inspección del producto multiplicando el tiempo de inspección por el muestreo.
- Para el proceso de empaque se tiene en cuenta la capacidad de la máquina trabajando al 85% de su capacidad hallando así el tiempo de empaque total dividiendo el total de unidades producidas en las unidades al 85% de la capacidad, obteniendo un tiempo de 18 horas. Con este cálculo se evidencia que es necesaria la adquisición de 2 máquinas empacadoras o comprar una máquina de mayor capacidad, determinando el tiempo total de empaque dividido en 2 y utilizando el factor de conversión de horas a minutos, se obtiene un tiempo de 544 minutos.
- Para la inspección de producto terminado se utiliza el valor de 1.666 paquetes, el muestreo de 41 paquetes por inspeccionar y estimando un tiempo de 2 minutos por cada inspección se halla el tiempo total de inspección es de 82 minutos.

**Tabla 25**

*Cálculo de los tiempos requeridos para las diferentes etapas del proceso productivo.*

<b>Proceso</b>	<b>Aspecto</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Mezclado	Cantidad de materia prima para mezclado	416.500	g /7 horas
	Capacidad de la mezcladora (según ficha técnica)	93.500	g / h
	Tiempo de mezclado (producción diaria)	4,5	h
	Tiempo de mezclado (por minuto)	267,3	min
Desplazamiento de materia prima al elevador (entrada tolva)	Capacidad de mezcladora (g/h)	93.500	g
	Número de viajes	4,45	Viajes
	Tiempo de viaje (cargue, descargue y desplazamiento)	3,08	min
	Descanso por viaje	1	min
	Tiempo total	18,17	min
Inspección de calidad (producto semiterminado)	Producción jornada	833.000	unidad
	Segmentación por lotes	1.666	Lote x 500 unidades
	Tiempo de inspección	0,61	min
	Muestreo	41	unidad
	Tiempo total de inspección	25,01	min
Proceso de Empacado	Capacidad de empaque (según ficha técnica)	900	---
	Unidades al 85% de capacidad	765	min
	Capacidad empacadora	45.900	h
	Total de unidades producidas	833.000	7 h
	Tiempo de empaque total	18	h
	Número de máquinas necesarias	2	---
	Unidades a minuto/número de máquinas	544	---
Inspección de calidad (producto terminado)	Número paquetes producción diaria	1.666	paquetes
	Muestro (paquetes)	41	paquetes
	Tiempo de inspección (por paquete)	0,95	min
	Tiempo total de inspección	38,95	min

Se procede además a realizar el cálculo del número de cajas necesarias por jornada laboral, como se resumen en la Tabla 25. En esta tabla, se calcula la capacidad de cada caja hallando la capacidad de esta en gramos, se determina el peso de cada paquete de 500 unidades multiplicando 0,5 (peso del producto) por 500 obteniendo un valor de 250 gramos, se divide la capacidad de la caja entre el peso de cada paquete y con el número de paquetes totales hallado anteriormente se multiplica por el número de paquetes por caja el cual da un valor de 18 cajas diarias.

**Tabla 26**

*Cálculo del número de cajas necesarias por jornada laboral.*














<b>Aspecto</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Dimensiones ancho x alto x fondo	60 x 30 x 40	cm
Capacidad	23.000	g
Peso del empaque	250	g
Número de paquetes por caja	92	paquetes
Paquetes totales	1.666	por 7h
Número de cajas requeridas	18	cajas

*Nota.* Cálculo de número de cajas utilizadas como empaque secundario para producción por 7 horas.

Con los anteriores cálculos de distancias y tiempos, se procede entonces a realizar el diagrama de flujo analítico del proceso productivo de mezcladores biodegradables (ver Tabla 27). En este diagrama se puede evidenciar el orden cronológico de operaciones, inspecciones, transportes y demoras de la fabricación, dando a conocer los tiempos y distancias de recorrido que conforman el proceso.

Tabla 27













Diagrama de flujo analítico del proceso productivo.

 ESCUELA TECNOLÓGICA INSTITUTO TÉCNICO CENTRAL DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESOS										
Fecha de realización: 18- 07 -2023			Ficha No. 1							
Diagrama No. 1		Página: 1 de: 1		Resumen						
Proceso: Extrusión mezclador		Actividad			Actual					
					Cant.	Tiempo.				
Actividades: Extrusión		Operación		13	0					
Tipo de diagrama:	Materia ( )	Transporte		4	0					
	Operario ( x )	Espera		1	0					
Método:	Actual ( )	Inspección		3	0					
	Proceso ( x )	Op. Combinada		0	0					
Área/ selección:		Almacenamiento		0	0					
Elaborado por: Laura Tenjo, Leonardo Rojas		Distancia	Metros	N.A						
Aprobado por:		Tiempo	Minutos	0						
Descripción								Distancia (m)	Tiempo	Observaciones
1	Encendido máquina extrusora	X						0	1	
2	Configuración de perfil de temperatura por zona	X						0	1	
3	Calentamiento de zonas de barril			X				0	60	
4	Recepción de materia prima	X						8,87	60	
5	Pesaje de materia prima	X						5,7	30	
6	Transporte a mezclador de materia prima		X					3,9	20	
7	Mezclado de materia prima	X						0	213,82	
8	Inspección de estabilización de temperaturas				X			5,7	1	
9	Transporte elevador de mezcla		X					6,53	18,17	
10	Extrusión de mezclador	X						0	140	
11	Halador	X						5,7	140	
12	Corte de materia extruido	X						2,7	140	
13	Inspección calidad producto				X			2	25,01	
14	Transporte de material extruido		X					5,5	20	
15	Encendido de máquina empaedora	X						0	2	
16	Enhebrado del rodillo de la película de empaque	X						0	10	
17	Empaque	X						0	1080	
18	Inspección empaque de producto				X			11,7	38,95	
19	Alistamiento empaque secundario(armado de cajas)	X						2,29	51	
20	Empaque en caja	X						0	85	
21	Transporte almacén de producto terminado		X					6,6	30	
Tiempo total									2166,95	



**Tabla 28**

*Diagrama de flujo analítico del operario.*

Fecha de realización: 18-07-2023		Ficha No. 1							
Diagrama No. 1		Página: 1 de 1		Resumen					
Proceso: Extrusión mezclador		Actividad		Actual					
Actividades: Extrusión		Operación		Cant.	Tiempo.				
Tipo de diagrama:	Materia ( )	Transporte		9	0				
	Operario ( x )	Espera		4	0				
Método:	Actual ( )	Inspección		1	0				
	Proceso ( x )	Op. Combinada		4	0				
Área/ selección:		Almacenamiento		1	0				
Elaborado por: Laura Tenjo, Leonardo Rojas		Distancia	Metros	N.A					
Aprobado por:		Tiempo	Minutos	0					
Descripción							Distancia (m)	tiempo (min)	Observaciones
1 Encendido máquina extrusora	X						0	1	
2 Configuración de perfil de temperatura por zona	X						0	1	
3 Calentamiento de zonas de barril				X			0	0	
4 Recepción de materia prima	X						8,87	60	
5 Pesaje de materia prima	X						5,7	30	
6 Transporte a mezclador de materia prima	X						3,9	20	
7 Cargue e inspección de materia prima a mezclador					X		0	153	
8 Inspección de estabilización de temperaturas				X			5,7	1	
9 Transporte elevador de mezcla		X					6,53	18,17	
10 Inspección línea de extrusión	X						8,4	420	Verificación del buen funcionamiento de la línea
11 Inspección calidad producto				X			2	25,01	
12 Transporte de material extruido		X					5,5	20	
13 Encendido de maquina empacadora	X						0	2	
14 Enhebrado del rodillo de la película de empaque	X						0	10	
15 Inspección de máquina empacadora				X			0	420	Verificación del buen funcionamiento de la línea
16 Inspección empaque de producto				X			11,7	38,95	
17 Alistamiento empaque secundario (armado de cajas)	X						2,29	51	
18 Empaque en caja	X						0	85	
19 Transporte almacén de producto terminado	X						6,6	30	
Tiempo total								1386,13	

*Nota.* En este diagrama se expresa el tiempo de cada operación que conforma el proceso en su totalidad ejecutado por los operarios.

Así, en el diagrama de flujo analítico del proceso productivo (ver Tabla 27) se muestra que el tiempo total del proceso es de 2167 minutos (aproximadamente 40 horas), la distancia total recorrida por los operarios es de 67,3 metros. Este proceso se ejecutará en un periodo de 1 día laboral.

#### **4.6 Número de operarios requeridos.**

##### **4.6.1 Diagrama de flujo analítico del operario.**

Con el fin de determinar el tiempo que el operario realiza actividades operativas dentro del proceso se realiza el diagrama de flujo analítico del operario (ver Tabla 28) donde se especifican el tiempo por proceso en minutos, la distancia recorrida, el tipo de operación. Así, como resultado principal, el diagrama permite determinar un valor de 1387 minutos como el tiempo total de actividad del operario en el proceso.

##### **4.6.2 Cálculo de número de operarios.**

En la Tabla 29 se presenta el resultado estimado de operarios necesarios para que el proceso sea continuo sin dejar muchos tiempos muertos durante el horario de trabajo. Se calcula tomando el tiempo total del proceso en minutos, dividido en el horario de un día laboral en minutos. Esta operación indica el número de operarios necesarios para realizar este proceso.

#### **Tabla 29**

*Cálculo de mano de obra requerida.*

<b>Descripción</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Valor</b>
Tiempo total del proceso operativo	Minutos	1386
Horario laboral	Minutos	420
Número de operarios necesarios	Personas	3,30

En la Tabla 29 se evidencia un valor de 3,30 operarios. Este tiempo fue calculado de acuerdo con el tiempo total expresado en el Diagrama de flujo analítico del operario (Tabla 28). Este tiempo se estimó de acuerdo con las operaciones donde se encuentra activo el operario dentro de cada proceso. Se toma el “Tiempo total del proceso operativo” y se divide en el “horario laboral”, redondeando el valor dando como resultado que son necesarios 4 operarios en el proceso operativo.

## 5. VIABILIDAD ECONÓMICA

En este capítulo se muestran los cálculos que se realizaron para la fabricación del producto, hallando así el presupuesto, los costos fijos y variables, el precio de venta, impuestos y la utilidad neta, precisando la viabilidad económica del proyecto.

### 5.1 Costo de fabricación de mezcladores

Para la fabricación de los pitillos se utilizan solamente dos sustancias: el almidón y la glicerina. Así, los costos relacionados con dicha materia prima se resumen a continuación en la Tabla 30:

**Tabla 30**

*Costos asociados con la materia prima.*

Materia prima	Costo de adquisición		Costo según % de mezcla	
	kilogramo	gramo	gramos	costo
Almidón	\$ 5.650	\$ 5,65	800	\$ 4.520,0
Glicerina	\$ 28.000	\$ 28,00	200	\$ 5.600,0
			Total	\$ 10.120,0

En la Tabla 29 se muestra el costo de la materia prima luego de ser seleccionado a través de un estudio con base en cotizaciones realizadas con varios proveedores. También se evidencia el valor de gramo de mezcla realizado con una base de cálculo de 1 kg de mezcla donde el 80% corresponde al almidón y un 20% a la glicerina que conforman la mezcla de materiales necesarios para fabricar los pitillos y mezcladores biodegradables.

Es importante anotar que una parte importante para la determinación de los costos relacionados a la fabricación del producto se realizan mediante la sumatoria de los costos fijos y variables que influyen día a día en la producción. El detalle de los componentes de dichos costos se

resume a continuación (ver Tablas 31 a 33). Es de resaltar que los servicios públicos como el agua y la energía al realizar una factura de cada uno de ellos siempre tendrán un costo fijo el cual equivale a otros servicios como el de aseo y cargo fijo comercial (en el caso de la energía) y el alcantarillado más el cargo fijo comercial (en el servicio del agua) además, de sus valores variables correspondientes al consumo mensual del establecimiento.

En la Tabla 31 se muestra un listado de conceptos perteneciente a los costos fijos de la empresa realizando estimaciones como en el campo de arrendamiento, telefonía e internet, costos de papelería, los servicios públicos ya especificados, un 3% de imprevistos calculado sobre el costo el de la materia prima según (Esquivel , s. f.). En el caso de la mano de obra es de resaltar que los valores calculados para cada colaborador se están hallando, teniendo en cuenta las prestaciones sociales sobre las normas vigentes actualmente, esto podría variar anualmente.

**Tabla 31**

*Cálculo de costos fijos.*

Concepto	Específico	Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario	Valor (\$)
Arrendamiento		pesos	N/A	N/A	\$ 5.000.000
Telefonía/Internet		pesos	N/A	N/A	\$ 300.000
Papelería	Esferos	Caja x12 unid	2	\$ 13.500	\$ 2.250
	Libretas	unidad	5	\$ 5.300	\$ 2.208
	Resma hojas de papel	unidad	1	\$ 21.185	\$ 1.765
	Grapadora	unidad	3	\$ 7.800	\$ 1.950
	Perforadora	unidad	3	\$ 9.800	\$ 2.450
	Corrector	Caja x12 unid	1	\$ 25.000	\$ 2.083
	Marcadores	Caja x12 unid	2	\$ 32.900	\$ 5.483
	Folios	unidad	3	\$ 10.443	\$ 2.611

Concepto	Específico	Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario	Valor (\$)
Mano de obra indirecta	Salario contador	pesos	1	N/A	\$ 1.242.667
	Salario jefe de producción	pesos	1	N/A	\$ 3.883.333
	Salario gerente	pesos	1	N/A	\$ 5.436.667
	Servicios generales	pesos	1	N/A	\$ 1.801.867
Servicios públicos	Energía (Aseo) + cargo fijo comercial	pesos	N/A	N/A	\$ 133.767
	Agua (Alcantarillado) + cargo fijo comercial	pesos	N/A	N/A	\$ 10.732
3% Imprevistos	Varios	pesos	N/A	N/A	\$ 2.618.246

*Nota. Costos fijos calculados con una periodicidad mensual.*

**Tabla 32**

*Cálculo de costos variables.*

Concepto	Específico	Unidad de medida	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Valor (\$)
Empaque	Cinta de 500 m	Caja x6 unidades	1	\$ 139.200	\$ 139.200
	Cajas 60*40*30	unidad	425	\$ 14.900	\$ 6.332.500
	Película empaque Vinipel Biodegradable Stretch Ecológico 15 cm x 450 m)	Unidad	24	\$ 29.900	\$ 717.600
Materia Prima	Almidón	Kg	7330	\$ 5.650	\$ 69.819.904
	Glicerina	L	1833	\$ 28.000	\$ 17.454.976
Servicios Públicos	Agua	m3	17	\$ 3.356	\$ 56.389
	Energía	KW/h	891	\$ 818	\$ 729.002
Mano De Obra Directa	Operarios	Unidad	2	\$1.801.867	\$ 3.603.733,33
	Operario-Almacenista	Unidad	2	\$1.801.867	\$ 3.603.733,33
Mantenimiento	Gasto de mantenimiento	Pesos	N/A	N/A	\$ 962.500

**Tabla 33**

*Cálculo del total de costos.*

<b>Aspecto</b>	<b>Costos (\$)</b>	
	<b>mensual</b>	<b>anual</b>
Costos fijos	\$ 20.448.080	\$ 245.376.959
Costos variables	\$ 103.419.537,04	\$ 1.241.034.444,56
Valor total de costos	\$ 123.867.616,94	\$ 1.486.411.403,36

Nota. Resumen de costos proyectados con periodicidad mensual y anual.

En la Tabla 32 se calculan todos los conceptos que dependen de la cantidad de producción mensual de la empresa, así como también se puede ver aquí una mano de obra directa que también puede aumentar su costo en el tiempo, ya que se está calculando sobre el salario mínimo. Como se muestra en las Tablas 32 a 33, se realiza la proyección del cálculo de los costos variables y fijos necesarios para el funcionamiento de la fábrica, tomando como base una periodicidad mensual (Tablas 31 y 32) y en el resumen de costos (Tabla 33) se estima el costo anual, calculado de la multiplicación por 12 meses anuales de los costos fijos y variables y realizando la sumatoria de estos mismos hallando valores totales de costos equivalentes a \$120.263.884 mensual y \$1.443.166.603 anual.

## **5.2 Precio de Venta y Ventas Netas**

Una vez se determinan los costos totales, se puede proceder con el cálculo del precio unitario de venta, mediante la siguiente fórmula:

$$Precio\ unitario = \frac{(\text{costos fijos} + \text{costos variables})}{(\text{unidades producidas} + \text{utilidad})}$$

En la Tabla 34 se presenta los resultados de los cálculos realizados para hallar el valor unitario del producto con una utilidad del 25% del costo del producto. En esta tabla no se realiza una proyección de ventas (que queda por fuera de los objetivos de este trabajo); por el contrario, asumiendo una

demanda justificada por los cálculos previos aquí presentados, la proyección de ventas se realiza de acuerdo con la capacidad de producción de la línea de extrusión. Así, se realiza la estimación de las ventas proyectadas en una periodicidad anual, el cual arroja un valor de \$1.858 millones de pesos. En la Tabla 35 se evidencia el cálculo del valor de la unidad y el total de la presentación del paquete por 500 unidades.

**Tabla 34**

*Cálculo del precio unitario de venta.*

<b>Aspecto</b>	<b>Valor</b>	<b>Aspecto</b>	<b>Valor</b>
Producción anual	249.900.000	Valor unidad	\$ 5,95
Costos fijos	\$ 245.376.959	Utilidad 25%	\$ 1,49
Costos variables	\$ 1.241.034.444	Valor unidad + Utilidad	\$ 7,44
Costos totales	\$ 1.486.411.403	Valor de la venta anual	\$1.858.014.254,20

. *Nota.* Precio de venta del producto por unidad con base en periodicidad anual

**Tabla 35**

*Costo final de la unidad (producto y empaque)*

<b>Aspecto</b>	<b>Valor</b>
Valor unidad + utilidad	\$ 7,44
Número unidades por empaque (presentación)	500
Total (paquete por 500 unidades)	\$ 3.717

*Nota.* Tabla de cálculo de precio de venta del producto y ventas netas.

### **5.3 Cálculo de utilidades**

Un factor determinante para los inversionistas de iniciar o no una empresa es la rentabilidad que ofrece la misma y el rendimiento económico que se les retribuirá en un futuro cercano o a largo plazo. Para llegar a esa decisión es necesario contar con una cantidad suficiente de datos que respalden la inversión. A continuación, las Tablas 36 a 38 presentan los cálculos relacionados con la inversión



requerida para la compra de maquinaria, equipos y estanterías (Tabla 36), la inversión mobiliaria relacionada con la oficina (Tabla 37), y el cálculo total de la inversión (Tabla 38).

**Tabla 36**

*Cálculo de inversión de maquinaria, equipos y estanterías*

<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>
Línea extrusión	\$ 150.000.000
Empaquetadora de paquetes de pitillos (x2)	\$ 120.000.000
Transportador elevador sinfín flexible	\$ 50.000.000
Mezclador atemperado tipo V	\$ 35.000.000
Molino triturador de plásticos	\$ 30.000.000
Estantería (10)	\$ 42.000.000
Estibas (20)	\$ 5.900.000
Báscula	\$ 5.076.990
Transpaleta manual	\$ 4.000.000
Calibrador	\$ 112.000
Herramental (lector de temperatura, juego de llaves brístol, cepillos de cobre para limpieza, guantes etc.)	\$ 25.000.000
<b>Total</b>	<b>\$ 467.088.990</b>

**Tabla 37**

*Cálculo de inversión mobiliaria.*

<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>
Muebles y enseres	\$ 20.000.000
Equipos de oficina	\$ 15.000.000
Costos de instalación planta	\$ 80.000.000
<b>Total</b>	<b>\$ 115.000.000</b>

*Nota.* Inversión de bienes muebles y servicios de instalación.

**Tabla 38***Cálculo del costo total de inversión.*

<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>
Total, inversión	\$ 582.088.990
Fondo de emergencia / colchón financiero (4 meses)	\$ 495.470.467
<b>Total</b>	<b>\$ 1.077.559.457</b>

*Nota.* Resumen de total de inversión y colchón financiero para el periodo inicial de la fábrica.

En las tablas anteriores se pueden observar los costos relacionados a la inversión e implementación de la maquinaria y el mobiliario que se requiere para poder realizar la ejecución y fabricación de los productos (Tabla 38). Para ello se tiene en cuenta un fondo de emergencia o colchón financiero, que es el dinero ahorrado para hacer frente a imprevistos o contratiempos si tener la necesidad de recurrir a la solitud de obligaciones financieras. Además, en las Tablas 36 y 37 se especifica los costos individualizados que conforman este total de inversión.

En la Tabla 39 se expresan los valores concernientes al cálculo de impuestos de la empresa, calculando primero el IVA generado, el cual corresponde al 19% del valor total de la venta (\$1.803.958.254), el valor de impuesto de renta corresponde al 35% de la resta el valor total de la venta menos la sumatoria de los costos fijos y variables, el valor de retención ICA correspondiente a la planta ubicada en Bogotá, la base del IVA descontable es igual al costo de la materia prima (\$ 1.264.494.000) multiplicado por el 7%, el IVA descontable que es el 19% de la base del IVA descontable y el impuesto a pagar que resulta de la resta del iba generado menos el IVA descontable.

**Tabla 39***Cálculo de Impuestos.*

<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>
IVA generado	\$ 353.022.708
impuesto de renta	\$ 130.060.997
ICA (ubicación en Bogotá)	\$ 20.512.477
Impuesto a pagar	\$ 184.845.006
Base del IVA descontable	\$ 885.145.800

IVA descontable	\$ 168.177.702
-----------------	----------------

En la Tabla 40 se calcula el estado de pérdida y ganancia hallando la utilidad bruta que es resultado de la suma de ingresos operacionales que equivalen al valor de la venta (\$ 1.858.014.254) más el valor negativo de los ingresos operacionales (costos anuales) (ver anexo 2), la utilidad operativa que es la suma de la utilidad bruta más el valor negativo de los gastos operativos (ver anexo 2), la utilidad antes de impuestos que es igual a la utilidad operativa y por último la utilidad neta que resulta de la resta de la utilidad antes de impuesto menos los impuestos.

**Tabla 40**

*Estado de pérdidas y ganancias.*

Descripción	Valor
Ingresos operacionales	\$ 1.858.014.254
Costos de producto vendido	-\$ 1.320.302.452
Utilidad bruta	\$ 537.711.801
Gastos operativos	-\$ 166.108.950
Utilidad operativa	\$ 371.602.850
Otros ingresos	\$ 0,00
Otros egresos	\$ 0,00
Utilidad antes de impuestos	\$ 371.602.850
Impuesto de renta	\$ 130.060.997
Utilidad neta	\$ 241.541.853

*Nota.* Tabla Estado de pérdidas y ganancias (periodicidad anual).

Al realizar los anteriores cálculos se determina que la utilidad neta de la empresa es de \$ 241.541.853 anual, lo cual representa una buena cuantía de dinero que inicialmente se utilizara para subsanar la inversión inicial del proyecto, para luego poder ser disfrutados por los inversionistas y apoyar en el mejoramiento del proyecto planteado inicialmente.

**5.4 Tiempo de retorno y punto de equilibrio**

En la Tabla 41 se muestra el cálculo del tiempo de retorno de la inversión sumando el total de la inversión más el fondo de emergencia dividido en la utilidad neta.

**Tabla 41**

*Cálculo del tiempo de retorno de la inversión.*

<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>
Total de inversión + fondo de emergencia	\$ 1.077.559.457
Utilidad neta	\$ 241.541.853
<b>Tiempo de retorno de inversión (años)</b>	<b>4,46</b>

El tiempo de retorno de la inversión total realizada se estima que es de 4,5 años aproximadamente, ya que las utilidades mensuales que produce la empresa son de \$ 20.182.487 mensual que resulta de la utilidad neta anual de \$ 241.541.853 dividida en 12 meses.

Se realiza el cálculo de punto de equilibrio (o punto muerto), que sirve para definir el momento en que los ingresos de una empresa cubren sus gastos fijos y variables. Simultáneamente, el punto de equilibrio también permite entonces determinar el número de unidades mínimas vendidas necesarias para que la empresa pueda continuar con su funcionamiento por sí misma, como se muestra en el cálculo a continuación, donde:

$$Q = \text{Umbral de rentabilidad}$$

$$CF = \text{Costos fijos}$$

$$CV = \text{Costos variables por unidad}$$

$$P = \text{Precio de venta}$$

$$Q = \frac{CF}{P - CV} = \frac{\$ 20.448.080}{\$ 5,77 - \$ 4,79} = 20.825.000 \text{ unidades}$$

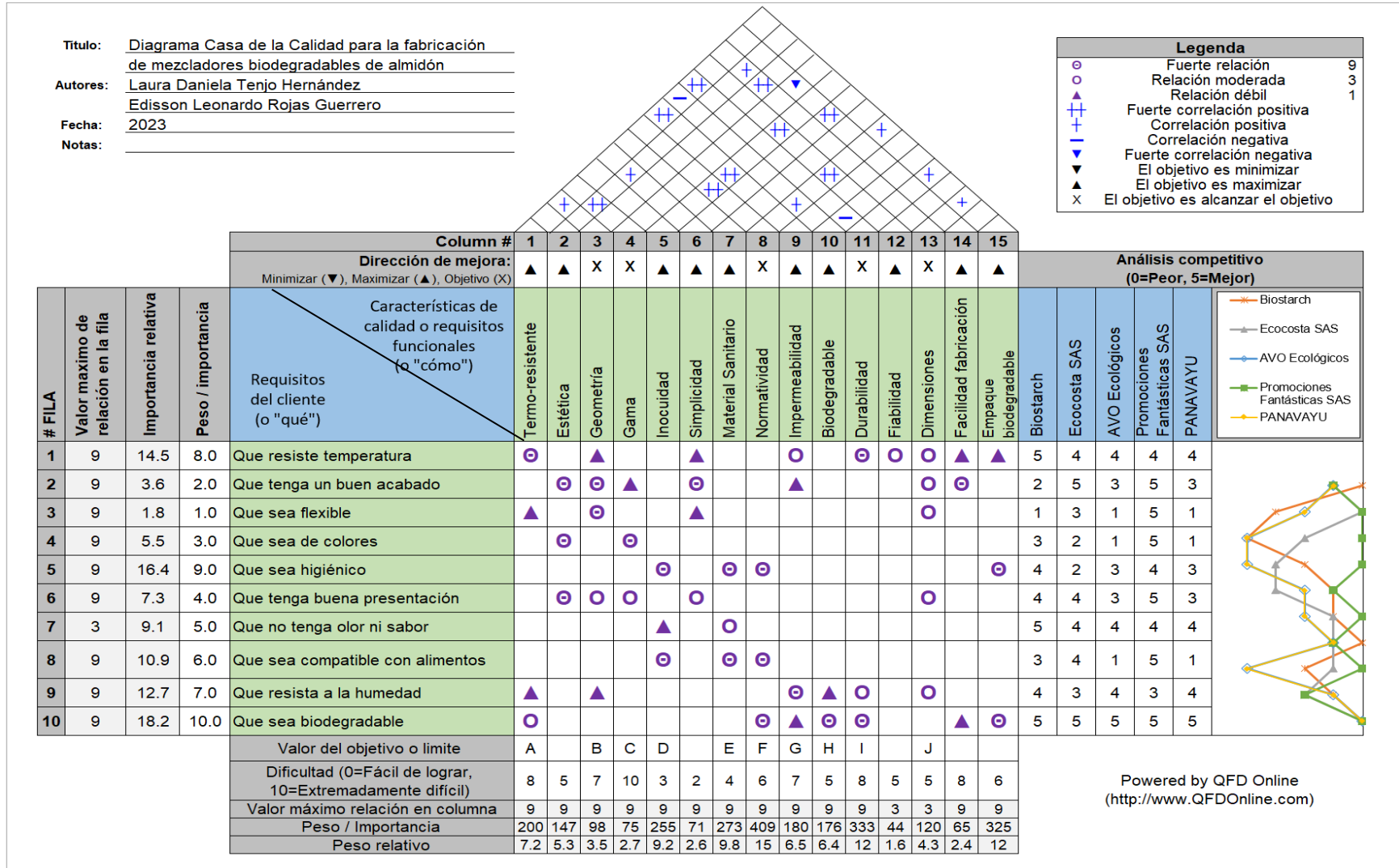
Cabe anotar que, las unidades indicadas en el cálculo anterior son equivalentes a paquetes de 500 unidades. Así, para hallar el número de unidades mínimas que deben ser vendidas mensualmente se utiliza la fórmula anterior, dando como resultado que el mínimo de unidades que deben ser vendidas es de 20,8 millones de unidades. La venta de dichas unidades permitirá entonces cubrir todos los costos previstos, alcanzando el punto de equilibrio, es decir, sin beneficio del ingreso de utilidades.

## 5.5 Benchmarking QFD

Con el fin realiza un análisis del producto creado se realiza un QFD o casa de la calidad para identificar las características del producto y a su vez realizar la comparación con otros productos del mercado. A continuación, se muestra la matriz de QFD (Ilustración 29).

# Ilustración 29

## Diagrama Casa de la Calidad



De acuerdo con el análisis realizado frente a la casa de a calidad o QFD (Ilustración 29) se determina que: El mayor valor agregado frente a la competencia es que el producto cuenta con la característica de ser biodegradable, lo cual puede ser un factor decisivo para el cliente en el momento de adquirir el producto, también se puede concluir que las falencias en los requerimientos del cliente son la durabilidad (degradación) frente al medio ambiente del producto, ya que se encuentra expuesto a diversos factores ambientales como la humedad y las altas temperaturas que puede degradar este producto prematuramente.

## CONCLUSIONES

- Se Produjeron mezcladores hechos de almidón termoplástico de maíz, escogiendo una formulación básica entre polímero y plastificante (almidón/glicerina) de 60/40, 70/30 y 80/20 %p/p almidón/glicerina, utilizando un perfil de temperatura de 130 (zona 1)/ 135 (zona 2)/ 140 (zona 3)/ 140(zona 4)/ 140 (zona 5) °C, en las 5 zonas de calentamiento. Es posible operar la máquina extrusora con una frecuencia del motor desde 3,5 hasta 25 Hz, obteniéndose flujos de salida desde 0,7 hasta 40,6 g/min, dependiendo de la formulación usada. Con la boquilla cilíndrica, se obtienen satisfactoriamente mezcladores de almidón termoplástico, de diferentes diámetros desde 5,4 hasta 2,43 mm, variando la frecuencia del halador desde 2,1 hasta 12 Hz, dependiendo de las condiciones de operación. Por otra parte, con la boquilla anular, se obtienen perfiles tubulares con un diámetro promedio de 11 mm, y espesor de pared 1,5 mm, cuya formulación debe mejorarse, además, el tiempo empleado para la experimentación no fue suficiente para realizar más pruebas para ajustar las dimensiones de la boquilla y llegar a una viscosidad optima configurando la velocidad de la máquina extrusora y la formulación de la mezcla para poder obtener prototipos con las características de pitillo deseadas. Se determinó que la formulación seleccionada como óptima para la producción de mezcladores biodegradables es la 80% almidón y 20% glicerina, ya que esta presenta un perfil más rígido, aspecto lineal y sin imperfecciones.
- Se diseñó un proceso lineal que permite la adecuada ruta del proceso y los espacios de distribución adecuados para el paso del producto y los operarios dentro de la planta. Realizando el análisis se evidencia que el proceso tiene un tiempo total de 2167 minutos, y a través de un diagrama de proceso analítico del operario con un tiempo total de 1387



minutos, lo cual ayuda a determinar el número de operarios necesarios para que el proceso fluya de manera correcta y continua, y se determinó que son necesarios cuatro operarios en la zona de planta. Al definir el proceso por medio de un diagrama sinóptico de proceso con metodología ASME se logra diseñar el mapa de operaciones, inspecciones y almacenamientos necesarios para el correcto funcionamiento del proceso productivo.

- Se determina que el proceso es factible técnicamente para el sostenimiento y operatividad continua del trabajo. Se calcula que el proceso tendrá una producción diaria de 883.000 unidades por un horario laboral de 7 horas, una producción mensual teniendo en cuenta 25 días laborales mensuales de 20.825.000 unidades y una producción de 249.900.000 unidades anuales.
- Se desarrollo la evaluación económica para la viabilidad de producción del biopolímero industrialmente calculando el valor para la inversión inicial el cual arrojó un valor de \$1.077.559.457. Luego teniendo en cuenta los costos variables y fijos se halló el valor de venta por unidad de mezclador de \$ 5,95 al cual se le adicionó una utilidad del 25% (\$1,49). Se obtuvo así un valor por unidad de \$7,44 para la presentación del empaque es de 500 unidades, al cual se le suma el costo del paquete dando como resultado un valor de \$3.717. Se estimó una proyección de ventas de 249.900.000 de unidades anuales con un valor de venta de \$1.858.014.254. Tomando el valor de los impuestos para obtener la utilidad neta la cual es de \$ 241.541.853 anuales, y teniendo en cuenta que la inversión total es de \$1.077.559.457 (para la utilidad neta anteriormente mencionada), tomando la inversión total dividido la utilidad neta se obtuvo un tiempo de retorno de inversión de 4,5 años. Es decir, se obtiene un margen de utilidad anual neta de \$ 241.541.853 los cual equivale a un 22%.

Así, de acuerdo con los cálculos y los resultados presentados en este documento, se determina que el proyecto es viable desde los puntos de vista económico y productivo.

## **6. RECOMENDACIONES**

Se recomienda que en las posteriores investigaciones de este mismo campo se tenga en consideración las bpm (buenas prácticas de manufactura), ya que estas aseguran la integridad y calidad del producto final, además proporcionan un marco normativo y ético para su fabricación. Se sugiere incorporar un manual de uso y ficha técnica del producto. Este enfoque permitirá una comprensión detallada de las especificaciones técnicas, condiciones de almacenamiento y recomendaciones de uso, lo que contribuirá a la satisfacción del cliente y la reputación del producto. Al seguir rigurosamente las indicaciones proporcionadas en este material, se asegura una producción eficiente y de alta calidad, fortaleciendo así su validez comercial y su contribución al mercado respectivo.

## 7. REFERENCIAS

- Aguilar Chávez, C. (2013). *Optimización del proceso de modificación del almidón de maíz ceroso por extrusión y el uso de mezclas de almidones modificados con mucílago de nopal para la encapsulación de aceite esencial de naranja empleando el secado por aspersion*. Tesis de pregrado, Universidad Autónoma del Estado Hidalgo, México.  
<https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/handle/123456789/10476?show=full>
- Bautista L.C. y Hower Carreño J.E. (2023). *Manual de Mantenimiento Extrusora Doble Tornillo Lab Twin Screw Bimek Ltda.* Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central (ETITC) Bogotá.
- Beltrán-Osuna A.A. (2023). *Manual de Uso Extrusora Doble Tornillo Lab Twin Screw Bimek Ltda.* Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central (ETITC) Bogotá.
- Calvo, M., (s.f.). *Bioquímica de los alimentos*. Universidad de Zaragoza  
<https://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/azucares/almidon.html>
- Cowieson, A.J. (2018). *Liberando el potencial del almidón de la dieta con una  $\alpha$ -amilasa exógena*. Koninklijke DSM N.V., The Netherlands. [www.dsm.com/anh/es\\_ES/feedtalks/unlocking-potential-dietary-starch.html#](http://www.dsm.com/anh/es_ES/feedtalks/unlocking-potential-dietary-starch.html#)
- Cruz Villaraga, N. H. (2017). *La formación a través de la lúdica en el diseño de áreas de trabajo*. Editorial Agustiniiana, Bogotá. [https://repositorio.uniagustiniana.edu.co/bitstream/handle/123456789/991/NC01\\_L%C3%BAdicas\\_Final.pdf](https://repositorio.uniagustiniana.edu.co/bitstream/handle/123456789/991/NC01_L%C3%BAdicas_Final.pdf)
- Enciclopedia quimica.es (2024). *Compuesto químico*. Portal web Quimica.es, Grupo LUMITOS® AG, Berlín, Alemania. [https://www.quimica.es/enciclopedia/Compuesto\\_qu%C3%ADmico.html](https://www.quimica.es/enciclopedia/Compuesto_qu%C3%ADmico.html)
- Enciclopedia quimica.es (2024). *Temperatura*. Portal web Quimica.es, Grupo LUMITOS® AG, Berlín, Alemania. <https://www.quimica.es/enciclopedia/Temperatura.html>
- Esquivel, D. (s. f.). *Consejos para calcular presupuestos de proyectos periodísticos* | Red internacional de periodistas. Red Internacional de Periodistas.

[https://ijnet.org/es/story/consejos-para-calculer-presupuestos-de-proyectos-period%C3%ADsticos#:~:text=Auditor%C3%ADa%20\(si%20es%20un%20requisito,cos%20directos%20por%20cualquier%20eventualidad/](https://ijnet.org/es/story/consejos-para-calculer-presupuestos-de-proyectos-period%C3%ADsticos#:~:text=Auditor%C3%ADa%20(si%20es%20un%20requisito,cos%20directos%20por%20cualquier%20eventualidad/).

- Fkur Plastics. (2024). *Nuestros Bioplásticos*. FKUR Plastics Corporation. <https://fkur.com/es/bioplasticos/>
- Hernández-Medina M., Torruco-Uco J.G., Chel-Guerrero L., Betancur-Ancona D. (2008). *Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México*. *Ciência e Tecnología de Alimentos*, Vol. 28, No. 3. <https://www.scielo.br/j/cta/a/BFmq3pZQMP33pwHsyNjk9Yf/?format=pdf&lang=es>
- Infinita.es (2022). *Estudio de viabilidad de un proyecto ¿Cómo realizarlo?*. Infinita Industrial Consulting, INFINITA RESEARCH S.L., España. <https://www.infinitiaresearch.com/noticias/estudio-de-viabilidad-de-un-proyecto-como-realizarlo/>
- León-Méndez G., León-Méndez D., Monroy-Arellano M.R., De La Espriella-Angarita S., Herrera-Barros A. (2020). *Modificación química de almidones mediante reacciones de esterificación y su potencial uso en la industria cosmética*. *Revista AVFT - Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, Vol. 39, No. 5. [https://www.revistaavft.com/images/revistas/2020/avft\\_5\\_2020/número\\_5\\_2020.html](https://www.revistaavft.com/images/revistas/2020/avft_5_2020/número_5_2020.html)
- Martins, J. (2023). *Cómo aplicar un estudio de viabilidad en la gestión de proyectos*. Portal web Asana, Asana Inc., Estados Unidos. <https://asana.com/es/resources/feasibility-study>
- Más Colombia. (2022). *¿Cómo le va a Colombia en materia de reciclaje?* Portal web Más Colombia. <https://mascolombia.com/como-le-va-a-colombia-en-materia-de-reciclaje/>
- Morales, F. C. (2021). *Viabilidad económica*. Portal web Economipedia, Madrid, España. <https://economipedia.com/definiciones/viabilidad-economica.html>

- QuimiNet (2012). *Conozca más sobre la extrusión de tubo, manguera y perfil*. Portal de negocios QuimiNet.com, Quiminet S.A. de C.V., México. <https://www.quiminet.com/articulos/conozca-mas-sobre-la-extrusion-de-tubo-manguera-y-perfil-2702151.htm>
- Ossa Peick, D. (2016). *Evaluación de variedades de almidón de yuca para su plastificación*. Tesis de pregrado, Universidad de los Andes, Bogotá. <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/98863aa3-290f-41b0-933c-1eec1eb963a7/content>
- Ramírez Ascheri, J. L. (2017). *Extrusión termoplástica de almidones y productos amiláceos*. Portal web Engormix, Engormix LLC, Argentina. [https://www.engormix.com/balanceados/gelatinizacion-cereales/extrusion-termoplastica-almidones-productos\\_a41262/](https://www.engormix.com/balanceados/gelatinizacion-cereales/extrusion-termoplastica-almidones-productos_a41262/)
- Riaz, M.N. (2015). *Extrusora de un solo o doble tornillo: ¿cuáles son las opciones?*. International AquaFeed and Fish Farming Technology, Buenos Aires, Argentina. <https://aquafeed.co/entrada/extrusora-de-un-solo-o-doble-tornillo--cuales-son-las-opciones--20314/>
- Rodríguez Ariza, L. (2015). *Viabilidad de Proyectos*. Portal UGR Emprendedora, Universidad DE Granada, España. <https://ugremprendedora.ugr.es/viabilidad-de-proyectos/>
- Román Rivas, L. (2018). *Role of starch gelatinization and fragmentation in extruded flour functionality*. Tesis doctoral, Universidad de Valladolid, España. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/32026>
- Ropero Portillo, S. (2021). *Plásticos de un solo uso: qué son, ejemplos, consecuencias, prohibición*. EcologiaVerde.com, España. <https://www.ecologiaverde.com/plasticos-de-un-solo-uso-que-son-ejemplos-consecuencias-y-prohibicion-3040.html>
- Tamborero del Pino, J. (1991) *NTP 319: Carretillas manuales: transpaletas manuales*. INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO, España. [https://www.insst.es/documents/94886/326853/ntp\\_319.pdf/8328dbe0-b293-4b54-96b8-2ff0e3a4e159?version=1.1&t=](https://www.insst.es/documents/94886/326853/ntp_319.pdf/8328dbe0-b293-4b54-96b8-2ff0e3a4e159?version=1.1&t=)

[1683190832276.](#)

- Todo en polímeros (s.f.). *Procesos de extrusión*. Portal web Todo en Polímeros.  
<https://todoenpolimeros.com/procesos-de-extrusion>
- UNIGAL (2021). *Fórmula de velocidad angular: definición, ejemplo y más*. Grupo UNIGAL, México. <https://unigal.mx/fórmula-de-velocidad-angular-definicion-ejemplo-y-mas/>
- USEON (2021). *Extrusora de un solo tornillo vs Extrusora de doble tornillo*. USEON Technology Limited, China. <https://www.useon.es/guide/single-screw-extruder-vs-twin-screw-extruder/>
- Xie, Fengwei, Binjia Zhang, and David K. Wang. (2017). *Chapter 7: Starch Thermal Processing: Technologies at Laboratory and Semi-Industrial Scales*. En: *Starch-Based Materials in Food Packaging: Processing, Characterization and Applications*. Elsevier Inc., The Netherlands.

## 8. ANEXOS

### Anexo 1

Criterios para la selección del Coeficiente K

<b>Sector / Industria</b>	<b>Coeficiente K</b>
Gran industria, alimentos y evacuación con grúa y puentes	0,05 a 0,15
Trabajo en cadena con transportadores mecánicos	0,10 a 0,25
Textil-hilado	0,05 a 0,25
Textil-tejido	0,5 a 1
Relojería, joyería	0,75 a 1
Pequeña industria mecánica	1,5 a 2
Industria mecánica en general	2 a 3

*Nota.* El coeficiente K seleccionado es 0,15 (Gran industria, alimentos u evacuación de grúa y puentes)

**Anexo 2**

*Cálculo de gastos y costos operacionales.*

<b>COSTOS FIJOS</b>			
<b>CONCEPTOS</b>	<b>VALOR</b>	<b>Gasto (20%)</b>	<b>Costo(80%)</b>
<b>ARRENDAMIENTO</b>	\$ 5.000.000,00	\$ 1.000.000,00	\$ 4.000.000,00
<b>TELEFONÍA/INTERNET</b>	\$ 300.000,00	\$ 300.000,00	
<b>PAPELERÍA</b>	\$ 2.250,00	\$ 20.801,17	
	\$ 2.208,33		
	\$ 1.765,42		
	\$ 1.950,00		
	\$ 2.450,00		
	\$ 2.083,33		
	\$ 5.483,33		
	\$ 2.610,75		
<b>MANO DE OBRA INDIRECTA</b>	\$ 1.242.666,67	\$ 12.364.533,33	
	\$ 3.883.333,33		
	\$ 5.436.666,67		
	\$ 1.801.866,67		
<b>SERVICIOS PÚBLICOS</b>	\$ 133.767,00		\$ 133.767,00
	\$ 10.732,00		\$ 10.732,00
<b>3% IMPREVISTOS</b>	\$ 2.618.246,40		\$ 2.618.246,40
<b>COSTOS VARIABLES</b>			
<b>CONCEPTOS</b>	<b>VALOR</b>	<b>Gasto (20%)</b>	<b>Costo(80%)</b>
<b>EMPAQUE</b>	\$ 139.200,00		\$ 7.189.300,00
	\$ 6.332.500,00		
	\$ 717.600,00		
<b>MATERIA PRIMA</b>	\$ 69.819.904,00		\$ 87.274.880,00
	\$ 17.454.976,00		
<b>SERVICIOS PÚBLICOS</b>	\$ 56.388,53	\$ 157.078,08	\$ 628.312,30
	\$ 729.001,85		
<b>MANO DE OBRA DIRECTA</b>	\$ 1.801.866,67		\$ 3.603.733,33
	\$ 1.801.866,67		
<b>MANTENIMIENTO</b>	\$ 962.500		\$ 962.500
<b>TOTAL MENSUAL</b>	\$ 120.263.883,61	\$ 13.842.412,58	\$ 106.421.471,04



<b>TOTAL ANUAL</b>	\$ 1.443.166.603,36	\$ 166.108.950,91	\$ 1.277.057.652,45
--------------------	---------------------	-------------------	---------------------

*Nota.* En esta tabla se expresa el valor total de los costos (inversión de dinero en la producción) y los gastos (salidas de dinero de la empresa o egresos).