



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

EXTRUSIÓN EN ALIMENTOS

APOYO A LA DOCENCIA

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA EN ALIMENTOS**

PRESENTA:

MOLINA GONZÁLEZ TANNIA AURORA

ASESORA:

ING. CORTAZAR FIGUEROA LAURA MARGARITA

Cuautitlán Izcalli, Estado de México 2021.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN**

UNAM
ASUNTO: VOTO APROBATORIO
SUPERIORES CUAUTITLÁN

**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Titulación
de la FES CUAUTITLÁN.
CARRERAS PROFESIONALES

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el trabajo de: **Actividad de apoyo a la docencia.**

Extrusión en Alimentos.

Que presenta la pasante: **Tannia Aurora Molina González.**
Con número de cuenta: **416090152** para obtener el Título de: **Ingeniera en Alimentos.**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO.**

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 20 de agosto de 2021.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	<u>I.A. Laura Margarita Cortazar Figueroa</u>	
VOCAL	<u>Dra. María Eugenia Ramírez Ortiz</u>	
SECRETARIO	<u>Dra. María del Carmen Valderrama Bravo</u>	
1er. SUPLENTE	<u>I.A. Maritza Rocandio Pineda</u>	
2do. SUPLENTE	<u>I.A. Janeli Solís Garfias</u>	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional.

LMCF/lmcf*



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN**

U.N.A.M.
ASUNTO: VOTO APROBATORIO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Titulación
de la FES Cuautitlán.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
CARRERAS PROFESIONALES

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el trabajo de: **Actividad de apoyo a la docencia.**

Extrusión en Alimentos.

Que presenta la pasante: **Tannia Aurora Molina González.**
Con número de cuenta: **416090152** para obtener el Título de: **Ingeniera en Alimentos.**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO.**

ATENTAMENTE
“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 20 de agosto de 2021.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	<u>I.A. Laura Margarita Cortazar Figueroa</u>	<u></u>
VOCAL	<u>Dra. María Eugenia Ramírez Ortiz</u>	<u></u>
SECRETARIO	<u>Dra. María del Carmen Valderrama Bravo</u>	<u></u>
1er. SUPLENTE	<u>I.A. Maritza Rocandio Pineda</u>	<u></u>
2do. SUPLENTE	<u>I.A. Janeli Solís Garfias</u>	<u></u>

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional.

LMCF/lmcf*



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN**

U.N.A.M.
ASUNTO: VOTO APROBATORIO
SUPERIORES CUAUTITLÁN

**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**

**ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Titulación
de la FES Cuautitlán.**



EXAMENES PROFESIONALES

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el trabajo de: **Actividad de apoyo a la docencia.**

Extrusión en Alimentos.

Que presenta la pasante: **Tannia Aurora Molina González.**
Con número de cuenta: **416090152** para obtener el Título de: **Ingeniera en Alimentos.**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO.**

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 20 de agosto de 2021.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	I.A. Laura Margarita Cortazar Figueroa	
VOCAL	Dra. María Eugenia Ramírez Ortiz	
SECRETARIO	Dra. María del Carmen Valderrama Bravo	
1er. SUPLENTE	I.A. Maritza Rocandio Pineda	
2do. SUPLENTE	I.A. Janeli Solís Garfias	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional.

LMCF/lmcf*



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN**

U.N.A.M.
ASUNTO: VOTO APROBATORIO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Titulación
de la FES Cuautitlán.
CARRERAS PROFESIONALES

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el trabajo de: **Actividad de apoyo a la docencia.**

Extrusión en Alimentos.

Que presenta la pasante: **Tannia Aurora Molina González.**
Con número de cuenta: **416090152** para obtener el Título de: **Ingeniera en Alimentos.**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO.**

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 20 de agosto de 2021.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	I.A. Laura Margarita Cortazar Figueroa	_____
VOCAL	Dra. María Eugenia Ramírez Ortiz	_____
SECRETARIO	Dra. María del Carmen Valderrama Bravo	_____
1er. SUPLENTE	I.A. Maritza Rocandio Pineda	_____
2do. SUPLENTE	I.A. Janeli Solís Garfias	_____

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional.

LMCF/lmcf*

DEDICATORIAS

A Dios por darme la sabiduría, fortaleza y los dones para poder culminar una etapa más en mi vida.

Jeremías 29:11 Porque sé los planes que tengo para ti”, declara el Señor, “planes para prosperar y no hacerte daño, planes para darte esperanza y un futuro”.

A mis padres por su tiempo y dedicación, por las horas trabajadas y cada uno de sus desvelos para brindarme más de lo necesario para mi crecimiento personal y profesional y apoyarme en cada una de las decisiones que he tomado.

A mi hermano por siempre confiar en mí, por saber guiarme y ser mi ejemplo a seguir día a día.

Y a cada una de las personas que han sido parte de este proceso y su apoyo incondicional hacia mí.

Doy gracias a Dios por pertenecer a la máxima casa de estudios.

ÍNDICE

Introducción	8
Objetivo	8
Justificación	8
Capítulo I Extrusión y partes del equipo	9
1.1 Antecedentes	9
1.2. Extrusión	10
1.3. Partes de un extrusor.....	11
1.4. Zonas del extrusor	11
1.5. Partes del tornillo de un extrusor	13
1.6. Boquillas	15
Capítulo II Proceso de extrusión	17
2.1. Proceso de extrusión.	17
2.2. Funcionamiento de un extrusor	17
2.3. Tipos de flujos en el proceso de extrusión.....	17
2.4. Transporte de sólidos (zona de alimentación)	20
2.5. Cocción.....	22
2.6. Moldeado y corte	24
2.7. Tensionado	24
2.8. Relajación	24
2.9. Enfriamiento.....	25
Capítulo III Variables en el proceso de extrusión	26
3.1. Preacondicionamiento	26
3.2. Configuración del tornillo	27
3.3. Temperatura	28
3.4. Tiempo.....	28
3.5. Granulometría del producto	28
3.6. Nivel de grasa	29
3.7. Efecto de las variables.....	30
Capítulo IV Materias primas para la cocción por extrusión	31
4.1. Proceso de las materias primas.....	31
4.1.1 Almidón.....	32
4.1.2 Trigo.....	33
4.1.3. Maíz.....	33
4.1.4. Avena.....	34

4.1.5 Soya.....	35
4.2. Efectos en la extrusión.....	35
4.2.1. Gelatinización	35
4.2.2. Retrogradación	36
4.2.3. Efecto en las proteínas	37
4.2.4. Formación del gluten	37
4.2.5. Efecto en los lípidos.....	38
4.2.6. Efecto en las vitaminas.....	38
4.2.7. Efecto en la fibra.....	39
Capítulo V Página web en el aprendizaje y su diseño.....	39
5.1. Blended learning.....	40
5.2. Aspectos técnicos y estéticos.....	41
5.3. Aspectos didácticos y pedagógicos.....	42
5.4. Aspectos psicopedagógicos	43
5.5. Diseño de la página	44
Resultados	46
Conclusiones	52
Recomendaciones	52
Impacto en la docencia	52
Bibliografía	53

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se explicará de manera detallada el proceso de extrusión en la industria de alimentos, para ello es necesario describir la operación unitaria, las partes que conforman el extrusor, así como las variables que se encuentran involucradas y el efecto que tienen durante el proceso, esto con la finalidad de crear una página web, la cual será un material didáctico destinado para los alumnos de la carrera de Ingeniería en Alimentos especialmente para aquellos que cursan las materias de Procesos del Manejo Mecánico de Sólidos y Laboratorio Experimental Multidisciplinario II.

Para ello se realizará una profunda investigación acerca de los modelos pedagógicos existentes resaltando así el modelo “Blended learning”, el cual implica utilizar nuevos elementos de tecnología y comunicación, en donde, se combinan aspectos como encuentros asincrónicos con encuentros presenciales. De igual manera es necesario explicar aquellos aspectos técnicos y estéticos que conforman una página web educativa.

Una vez realizado esto es necesario ver el impacto de la página web, lo cual se hará adjuntando una encuesta, donde, tanto los alumnos como toda aquella persona que consulte la página web pueda brindar una retroalimentación y así poder mejorar en aquellos aspectos técnicos para poder cumplir con el objetivo planteado.

OBJETIVO

Explicar el proceso de extrusión en la industria de alimentos, así como las variables que se encuentran involucradas y el efecto que sufren las materias primas en dicho proceso, esto mediante la creación de una página web la cual ayudará complementando y reforzando el aprendizaje de los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Alimentos en las materias de Procesos del Manejo Mecánico de Sólidos y Laboratorio Experimental Multidisciplinario II.

Asignatura(s) o plan de estudios que apoya: Procesos del Manejo Mecánico de Sólidos y Laboratorio Experimental Multidisciplinario II.

JUSTIFICACIÓN

En la actualidad la tecnología es un recurso que forma parte de nuestra vida, siendo considerada una gran aliada para el aprendizaje debido a que podemos consultar información en cualquier momento y lugar. Hoy en día las demandas y problemas del mundo requieren que adoptemos nuevos modelos pedagógicos que respondan a las necesidades y retos para la educación.

Estos modelos pueden ser apoyados por medio de las TIC las cuales son consideradas herramientas que ayudan a representar, difundir y acceder al conocimiento y cultura en los diversos contextos, para llevar a cabo este proceso todos los actores requieren de una formación integral, en la cual las tecnologías no sean el fin último, sino un medio generador de diferentes metodologías que transformen la organización escolar y generen dinámicas de motivación, el uso crítico, pedagógico y didáctico de las tecnologías.

Si se orienta adecuadamente el uso de las TIC en los procesos de enseñanza-aprendizaje, estas se pueden convertir en un elemento primordial para la innovación educativa. Concebir a la enseñanza como un proceso en el cual se acompaña al alumno en la construcción de aprendizajes significativos implica modificar los roles tradicionales del docente y el alumno.

Existen diversos modelos basados en la tecnología, uno de ellos es el “Blended learning”, conocido también como aprendizaje combinado, modelo que implica un proceso de aprendizaje tanto en ambientes virtuales, donde es esencial la interacción con componentes tecnológicos y el internet, como también entornos

presenciales con un profesor que dirige el proceso. Se considera muy importante la posibilidad de incluir al “Blended learning” en el proceso educativo, pues permite utilizar las tecnologías sin que se pierda la relación humana que es indispensable en la formación, puesto que un sujeto no es solo conocimiento, sino es la condensación de valores, actitudes y habilidades (Caballas, et. al., 2012).

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

La extrusión es una operación unitaria importante para la industria de alimentos debido a que a lo largo de los años se han obtenido una gran versatilidad de productos para el consumo humano. Su historia empieza en 1797 (Inglaterra), donde Joseph Bramah, fue el primero en aplicar el principio de extrusión desarrollando una prensa de pistón manual para extrusar tubos de plomo sin enmienda. En 1869 (Inglaterra), Fellows & Bates, desarrollaron el primer extrusor de doble tornillo continuo, originalmente utilizado para la fabricación de salchichas, debido a esto se tiene que las primeras extrusiones alimentarias consistieron en el uso de extrusoras de pistón o de tipo espolón para rellenar las tripas en la fabricación de embutidos y carnes procesadas (Maverick, 2019).

Los alimentos para mascotas secos, expandidos y cocidos por extrusión se desarrollaron rápidamente en la década de 1950, reemplazando en gran medida los procesos de horneado de galletas que se utilizaron para fabricarlos hasta ese momento. La precocción o gelatinización de almidones también fueron áreas de interés, los molineros comenzaron a utilizar un número cada vez mayor de extrusoras para precocinar cereales y estos incorporarlos a alimentos nutritivos mezclados que consisten en un cereal precocinado y proteína de soya a mediados de la década de 1960s (Harper, 1981).

El desarrollo de un nuevo producto es desde hace muchos años un reto para la industria alimentaria, debido a que se busca la obtención de alimentos que puedan ser atractivos para el consumidor, pero que de igual manera estos no pierdan sus propiedades nutrimentales. Los avances en las tecnologías de procesado están permitiendo cada vez más el desarrollo de nuevos ingredientes que favorecen las cualidades de alimentos, como mejorar sus propiedades emulsificantes, su capacidad de retención de agua o la modificación de la textura y el aroma.

Mediante el proceso de extrusión se obtienen cualidades en el alimento muy apreciadas por el consumidor, entre ellas la texturización de proteínas, la aparición de nuevas formas o texturas y la mezcla de diferentes sabores. Actualmente se usa también para transformar una amplia variedad de materias primas en productos intermedios modificados o productos finales; tales como cereales, snacks, galletas, dulces, goma de mascar, harinas precocidas, concentrados, proteína vegetal texturizada, emulsiones y pastas. Para llevar a cabo este proceso se parte del almidón y/o proteínas principales ingredientes y del resto de nutrientes que se utilizan para aportar olor, color o sabor al producto final. La extrusión es una técnica versátil ya que partiendo de un elemento básico se pueden obtener sabores y colores particulares, también resulta un método muy rentable, debido a que con un solo equipo pueden realizarse varias operaciones.

Para hacer productos que sean aceptables en un mercado muy competitivo, la extrusión de snacks exige un control de parámetros que directa o indirectamente influyen en la aceptabilidad del consumidor. Las características del producto son parte del resultado de parámetros críticos inducidos en las materias primas, ya

que estos afectan la humedad, expansión, solubilidad, absorción, color, sabor y textura final (Anton y Luciano, 2007).

Por ello es de suma importancia conocer cada una de estas variables que se pueden manejar durante el proceso, las cuales se estudiarán a detalle más adelante.

Extrusión y partes del extrusor

EXTRUSIÓN

La extrusión es un proceso en el que un alimento o material de alimentación se ve obligado a fluir bajo temperatura elevada, presión y cizallamiento, a través de un troquel. En este proceso principalmente se utilizan almidones y proteínas estos se plastifican con agua los cuales ayudan a conseguir la texturización deseada para los productos finales, pasando por diferentes etapas como lo son la aglomeración de ingredientes, mezcla, expansión, gelatinización, homogenización, deshidratación, desnaturalización de proteínas, pasteurización, cizallamiento, alteración de texturas y moldeado de productos (Riaz, 2012).

En alimentos se reconocen dos tipos de extrusión en caliente y en frío:

Extrusión en caliente: La extrusión en caliente es un proceso termo-mecánico (inducción de energía térmica y mecánica) que se aplica al alimento, en el cual hay una alta presión de hasta 25 MPa y una alta temperatura de 100 a 180° C (Colina, 2013).

La combinación de calor y esfuerzo mecánico propician la gelatinización de los gránulos de almidón, desnaturalización de las proteínas, inactivación de enzimas que afectan negativamente la vida anaquel, destrucción de compuestos anti nutricionales, la drástica o total eliminación de cuentas microbianas en el producto a la salida del extrusor, pequeñas pérdidas de vitaminas, desarrollo de pardeamiento enzimático e incluso aparición de ciertos aromas y sabores, estos últimos pueden influir en la apariencia y gusto del producto. Todo el proceso de cocción del producto se debe realizar en poco tiempo (10 a 60s), de ahí que esta cocción sea considerada como un proceso de alta temperatura y corto tiempo (HTST). Los extrusores HTST se emplean típicamente para ingredientes de alimentos con bajo contenido de humedad y que producen altos coeficientes de fricción (Justo y Pérez, 2006).

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

En ocasiones, los extrusores tanto en frío como en caliente disponen de una boquilla especial para inyectar diversos tipos de relleno en el interior de la masa extruida a la salida de la boquilla. A este proceso se le denomina coextrusión y se emplea para rellenar algunos pasteles, dulces y golosinas (Colina, 2013).

El control de los procesos de extrusión es difícil debido a las fuertes interacciones entre la transmisión de materia de energía y cantidad de movimiento, acopladas con las complejas transformaciones fisicoquímicas, que gobiernan las propiedades del producto final, pero de igual manera existen una serie de ventajas en este proceso como lo son la versatilidad; obteniendo una amplia gama de productos, los cuales no se pueden producir fácilmente mediante otros procesos, esto añadiendo que el costo de operación es bajo, teniendo una alta productividad en la obtención de productos extruidos, así como cuidando la calidad de ellos (Guy, 2002).

A continuación, se describen cada una de las partes de un extrusor, así como las variables de importancia para el manejo del proceso.

Partes de un extrusor

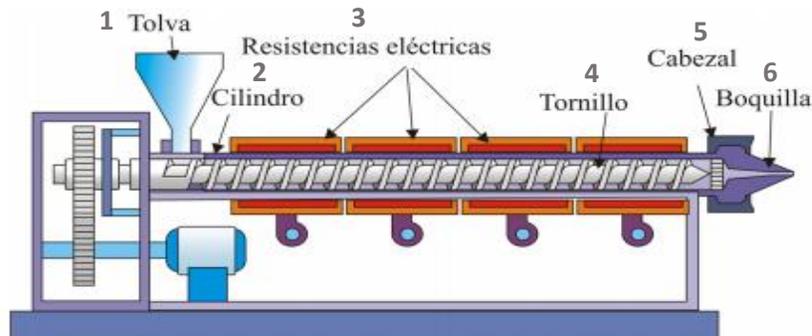


Figura 1. Partes de un extrusor.

Nota. Adaptado de Partes de un extrusor, por Beltrán y Marcilla, 2012.

1. **Tolva de alimentación:** Garantiza la entrada uniforme de los ingredientes, los cuales son en forma de polvo.
2. **Cilindro:** Alberga en su interior al tornillo. Este puede ser liso, acanalado o rugoso.
3. **Resistencias electricas:** Sirven para elevar la temperatura en el equipo.
4. **Tornillo o husillo:** Es un de las partes mas importantes ya que contribuye a realizar funciones de transportar, mezclar, calentar y fundir el material.
5. **Cabezal:** Se encuentra sujetando la boquilla.
6. **Boquilla:** Su función es moldear el material, de las cuáles existen diferentes diseños que nos ayudarán a obtener distintos tipos de productos (Beltrán y Marcilla, 2012).

Un extrusor se divide en cuatro zonas las cuales nos señalan el proceso en la que los materiales se someten siendo estas la zona de alimentación, transición, cocción, moldeo y corte.

Zonas del extrusor

Zona de alimentación: Es la zona donde se encuentra la tolva instalada con un cilindro para descargar los ingredientes o materiales hacia los alabes del tornillo.

Existe una velocidad variable para transportar el material de manera uniforme, algunas veces los equipos de extrusión tienen un preacondicionador, de tal modo que las partículas o materiales alcancen el equilibrio de acondicionamiento a cierta humedad y temperatura durante un tiempo determinado. Se requiere de una mezcla homogénea ya que beneficia la incorporación del agua y vapor inyectados hacia el cabezal, el cual ayudará a que fluya el material, el aire es atrapado y se transforma en una masa donde se comprime para ser expulsado y se eliminan los espacios vacíos dentro del cilindro o la cámara.

Zona de transición o compresión: En esta zona la compresión se ejerce en los canales de flujo del extrusor, el llenado de material dependerá del grado de inclinación del tornillo.

Aumenta la relación de esfuerzo cortante (cizalla) y la energía mecánica suministrada a la masa y de igual manera aumenta la temperatura, a medida que la masa o mezcla de ingredientes fluye a través del tornillo este es mezclado

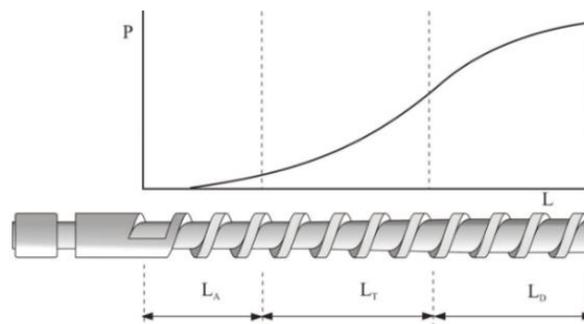
ado (amasado) en forma homogénea alcanzando una compactación.

Zona de cocción: Se presenta una fusión en la masa o mezcla de ingredientes, se plastifica aumentando la temperatura y presión rápidamente, la velocidad de formación aumenta con la configuración del tornillo del equipo extrusor, la temperatura y la viscosidad lo cual nos da como resultado una mezcla fluida.

Zona de moldeado y corte: Esta zona es importante ya que el material fluye, se comprime, se homogeniza y pasa a través de la boquilla a presión constante.

El producto se corta debido a que pasa por unas cuchillas que están sostenidas cerca de la boquilla, el tamaño del producto final dependerá de la velocidad del cortador medida en RPM y de la composición del producto final (Nieves, 2020).

La conformación de las zonas varía en función del diseño del tornillo como se muestra en la figura 2, este se puede modificar de acuerdo con el producto que se desee obtener, a continuación, se presentan cada una de estas zonas que existen a lo largo del tornillo. Tanto la zona de cocción y la zona de moldeado y corte conforman una zona de dosificación que definirá la velocidad de descarga del material.



*Figura 2. Zonas de una extrusora y evolución de la presión a lo largo de las mismas.
Nota. Adaptado de zonas de una extrusora, por Beltrán y Marcilla, 2012.*

En la figura 2 se puede apreciar que conforme avanza el material la presión de igual manera va aumentando siendo con mayor presión la zona de dosificado esto es debido a la fuerza que ejerce el material, para que este sea homogeneizado y presurizado para forzarlo hacia la boquilla.

Cabe mencionar que cuando se comienza la construcción de una máquina extrusora, debe identificarse el tipo de producto a procesar para poder hacer un diseño óptimo del tornillo, por lo tanto, es necesario tener en cuenta cada una de las variables que componen el tornillo extrusor (Beltrán y Marcilla, 2012).

Partes del tornillo de un extrusor

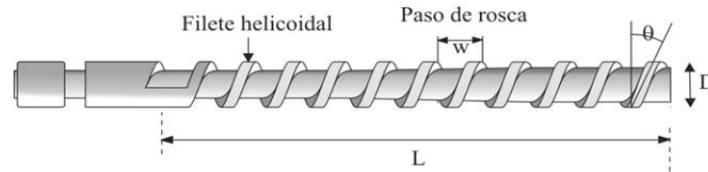


Figura 3. Tornillo de una extrusora.

Nota. Adaptado de tornillo de una extrusora, por Beltrán y Marcilla, 2012.

1. **Alabes o filetes:** Los alabes o filetes, que recorren el husillo de un extremo al otro, son los verdaderos impulsores del material a través del extrusor. Las dimensiones y formas que éstos tengan, determinarán el tipo de material que se pueda procesar y la cantidad de mezclado de la masa al salir del equipo.
2. **Paso de rosca:** Es la separación que existe entre alabe y alabe.
3. **Profundidad del filete en la zona de alimentación:** Es la distancia entre el extremo del filete y la parte central o raíz del husillo, en esta parte, los filetes son muy pronunciados con el objetivo de transportar una gran cantidad de material al interior del extrusor, aceptado el material sin fundir y aire que está atrapado entre el material sólido.
4. **Profundidad del filete en la zona de dosificación:** En la mayoría de los casos es mucho menor la profundidad de filete que en la alimentación. Ellos tienen como consecuencia la reducción del volumen en el que el material es transportado, ejerciendo una compresión sobre el material. Esta compresión es útil para mejorar el mezclado del material y para la expulsión del aire que entra junto con la materia prima alimentada.
5. **Relación de compresión:** Como las profundidades de los alabes no son constantes, las diferencias se diseñan dependiendo del tipo de material a procesar. La relación entre la profundidad del filete en la alimentación y la profundidad del filete en la descarga, se denomina relación de compresión. El resultado de este cociente es siempre mayor a uno y puede llegar incluso hasta 4.5 cm en algunos materiales.
6. **Longitud:** Tiene una importancia especial; influye en el desempeño productivo de la máquina y en el costo de ésta. Funcionalmente, al aumentar la longitud del husillo y consecuentemente la del extrusor, también aumenta la capacidad de fundir el material y de la productividad de la máquina.

Teniendo que:

Operando dos extrusores en las mismas condiciones de velocidad y temperatura que sólo se distinguen en longitud, uno no tendrá capacidad de fundir el material después de recorrer todo el extrusor, mientras que el extrusor de mayor longitud ocupará la longitud adicional para continuar fundiendo el material y dosificará el material perfectamente fundido, en condiciones para fluir por la boquilla.

Otro aspecto que se mejora al incrementar la longitud es la calidad de mezclado y homogeneización del material.

7. **Diámetro:** Es la dimensión que influye en la capacidad de producción de la máquina y generalmente crece en proporción con la longitud del equipo. A diámetros mayores, la capacidad en kg/h es presumiblemente superior. Al incrementar esta dimensión debe hacerlo también la longitud de husillo, ya que el aumento de la productividad debe ser apoyada por una mejor capacidad para fundir (Gutierrez y Bomacelli, 2008).

Es importante la selección del tipo de tornillo debido a que el material se va presurizando a medida que avanza en este, comenzando con presión atmosférica en la tolva y aumentando hasta la salida por la boquilla. La sección de paso del tornillo no es constante, si no que es mayor en la zona de alimentación. Normalmente el tornillo no viene acompañado de ningún sistema de calentamiento o enfriamiento, aunque en algunos casos se emplean tornillos huecos por los que se hace circular un fluido refrigerante o calefactor (Beltrán y Marcilla, 2012).

En la siguiente figura se muestran los diseños más comunes.

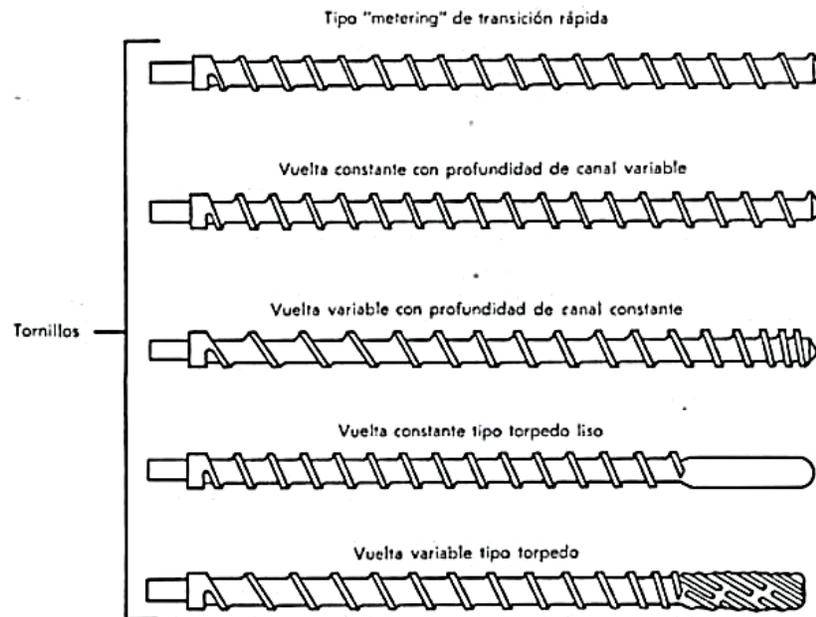
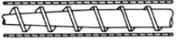
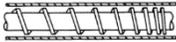
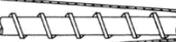


Figura 4. Tipos de tornillo.
Nota. Adaptado de tipos de tornillo, por Tenorio, 2009.

Los tornillos del extrusor están configurados con diferentes segmentos que varían sus funciones en transporte, mezcla, cizallamiento y cocción. Estos segmentos reposan sobre un eje estriado que permite cambiar la configuración del tornillo dependiendo el tipo de producto a procesar o las características requeridas del mismo.

Para que se explique con mayor profundidad las diferencias que existen en los tornillos de la figura 4, a continuación, se muestran diferentes tornillos y la función que tienen cada uno de estos en la variación de los segmentos existentes de las zonas.

Tabla 1. Tipos de tornillo y función que proporcionan.

TORNILLO	FUNCIÓN
	Aumento del diámetro.
	Paso decreciente, diámetro constante.
	Tornillo de diámetro constante.
	Tornillo de paso decreciente con diámetro decreciente.
	Diámetro constante de la raíz, tornillo de paso constante con restricciones.

Como se muestra en la tabla 1, cada tornillo tiene un función diferente en el proceso de extrusión, por ejemplo, el aumento de diámetro, esto para que la pasta que pasa a través del tornillo no tenga complicación al llegar a la boquilla ya que esta cuenta con un diámetro específico, por lo que al existir diferentes tipos de tornillos que se le pueden añadir, ayuda a tener un proceso más eficiente y obtener las características deseadas del producto. Para lograr esas modificaciones se añaden diferentes segmentos a lo largo del tornillo, a continuación, se presenta cada uno de los segmentos existentes.

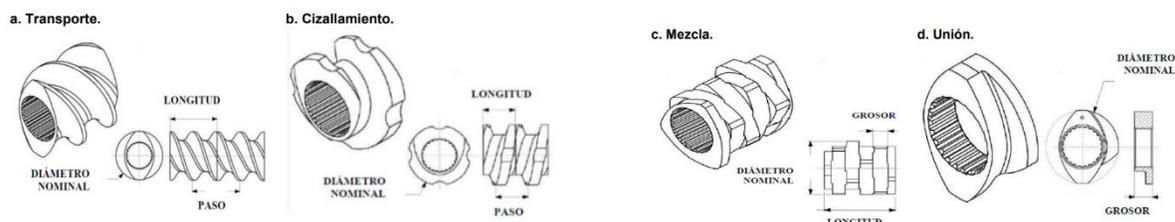


Figura 5. Transporte y cizallamiento del tornillo.
 Nota. Adaptado de transporte y cizallamiento del tornillo, por Córdoba, 2017.

Figura 6. Mezcla y unión del tornillo. Nota.
 Adaptado de mezcla y unión del tornillo, por Córdoba, 2017.

Boquillas

Su función es moldear al material y contribuir a su expansión. Existen diferentes diseños esto para obtener distintos tipos de producto.

Como en el canal del tornillo el producto pasa a través de la boquilla con flujo laminar, en la mayoría de los casos se adhiere a las superficies de está , esto hace que exista un gradiente de velocidad en la boquilla, en donde la velocidad es máxima en el centro del flujo, y cae a cero (usualmente) en la superficie. La resistencia al flujo es una función de la viscosidad (resistiendo el corte) y de la razón de corte, determinado por el gradiente de velocidad. Esto, a su vez, es una función de velocidad y geometría, siendo que boquillas más pequeñas crean mayor corte y mas resistencia.

La razón de flujo a través de la boquilla es proporcional a la caída de presión, inversamente proporcional a la viscosidad, y proporcional a una constante geométrica K, que es la “conductancia” de la boquilla (recíproco de resistencia).

Existen diferentes tipos de boquillas, estos son debido a la forma del producto que queremos obtener, a continuación, se muestran algunos de estos.



Figura 7a. Boquilla para extrusor.
Nota. Adaptado de dado, por Riaz, 2012.

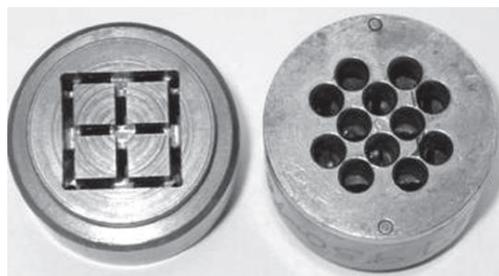


Figura 7b. Boquillas para extrusor.
Nota. Adaptado de insertos de matriz, por Riaz, 2012.



Figura 7c. Boquillas para extrusor.
Nota. Adaptado de dado para pasta, por Miti, 2020.

Hay diferentes accesorios aparte de las boquillas que se utilizan en el extrusor, estos se mencionan en la tabla 2, así como su descripción.

Tabla 2. Accesorios del extrusor

Accesorios	Descripción	Imagen
Porta boquillas	En el se introducirá la boquilla y posteriormente se enroscará a salida del extrusor.	
Cuchillas	El cortador, también llamado cortador de cuchillas, es el conjunto que corta el extruido en piezas de la longitud deseada.	

CAPÍTULO II

Proceso de extrusión.

FUNCIONAMIENTO DE UN EXTRUSOR

Para el estudio del proceso de extrusión es importante tener en cuenta los flujos existentes, los cuáles nos ayudan al movimiento de un material viscoso en el tornillo, estos se simplifican considerando tres distintos tipos de flujo; el flujo de arrastre o de fricción (QD), que es debido a la fricción del material con el tornillo y con las paredes del cilindro, es el principal responsable del movimiento del material desde la tolva de alimentación hasta la boquilla, el flujo de presión o de retroceso (QP), opuesto al anterior y debido a la diferencia de presión entre la tolva y el cabezal de la máquina, esta última presión es la originada por la restricción que impone la boquilla. Finalmente, el flujo de pérdida o de fugas, que tiene lugar entre el cilindro y el filete del tornillo y es también opuesto al flujo de arrastre y originado por el gradiente de presión a lo largo del tornillo.

Tipos de flujos en el proceso de extrusión

A continuación, se realiza una representación esquemática de la distribución de velocidades para cada tipo de flujo.

Flujo de arrastre

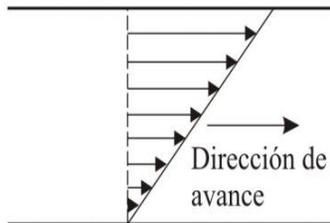


Figura 8. Perfil de velocidades originado por el flujo de arrastre. Nota. Adaptado de perfil de velocidades por Beltrán y Marcilla, 2012.

Debido a la fricción del material con el tornillo y las paredes del cilindro, este flujo es el principal responsable del movimiento del material desde la tolva de alimentación hasta la boquilla, el material fundido en los canales se adhiere a las paredes internas del cilindro y del tornillo en rotación (Reynaga, et. al., 2012).

Si solamente existiera el flujo de arrastre, el perfil de velocidades sería aproximadamente lineal, como se muestra en la figura 8, y si la superficie en movimiento tuviera una velocidad V , la velocidad media de avance del material en el canal sería $V/2$ (Beltrán y Marcilla, 2012).

El material durante el proceso se comporta por lo general como un fluido no-newtoniano de tipo adelgazante a la cizalla. Además, la viscosidad no es la misma en todos los puntos del canal, pues como en todo material adelgazante a la cizalla, la viscosidad disminuye al aumentar la velocidad de corte (así la viscosidad será menor

cerca de la pared del cilindro, donde la velocidad de corte es mayor, y será mayor hacia el interior del canal, donde la velocidad de corte es menor).

Finalmente, la velocidad del material en la pared del tornillo no es igual a cero, si así fuera, esta capa de material en la pared del tornillo permanecería indefinidamente en el interior del extrusor y se degradaría, y esto no sucede. Por lo tanto, el material tiene que deslizarse en las superficies metálicas del tornillo y de las paredes del cilindro, este deslizamiento depende de la fricción entre el material y la superficie del tornillo y del cilindro.

El flujo de arrastre depende de:

- Diámetro del tornillo al cuadrado D^2
- Velocidad del tornillo N
- Profundidad del canal H
- Ángulo de hélice

(Reynaga, Soto y Quiroz, 2012).

Flujo de presión

El flujo de presión se debe, como ya se ha indicado, al gradiente de presión a lo largo del cilindro. La presión es mayor en el lado de la boquilla, y este gradiente de presión tiende a hacer que el material fluya hacia atrás a lo largo del canal del tornillo oponiéndose pues al flujo de arrastre y suponiendo un retroceso del material en el canal del tornillo (Beltrán y Marcilla, 2012). El perfil de velocidades debido a la existencia de un gradiente de presión es parabólico y se representa en la figura 9.

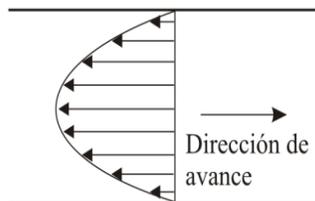


Figura 9. Perfil de velocidades debido al flujo de presión. Nota. Adaptado de perfil de velocidades por Beltrán y Marcilla, 2012.

Flujo de pérdidas o flujo negativo

Debido a que el ajuste del tornillo no es perfecto. Este flujo tiene lugar entre las paredes del cilindro y el filete del tornillo, esta tolerancia es generalmente muy pequeña (aproximadamente 0.1 mm). El flujo de fuga normalmente es pequeño en comparación con el flujo de arrastre y el flujo de presión, por tanto, para la mayoría de los casos prácticos reales puede despreciarse en el cálculo de flujo total (Reynaga, Soto y Quiroz, 2012). Este flujo se presenta en la figura 10.

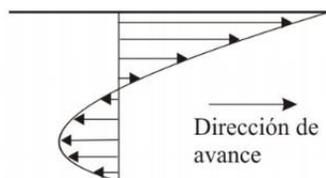


Figura 10. Perfil de velocidad del flujo total. Nota. Adaptado de perfil de velocidad por Beltrán y Marcilla, 2012.

Flujo total

En ambas direcciones existirá flujo de arrastre y flujo de presión, este último originado por la boquilla en el caso del flujo en la dirección del canal, Z, y por las paredes del filete en el caso del movimiento del material que se dirige hacia ellas. El flujo total será la suma del flujo en las direcciones X y Z.

En la siguiente figura se muestra el proceso que atraviesa el material a extruir.

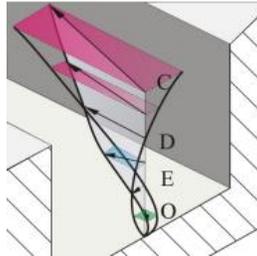


Figura 11. Proceso de extrusión.

Nota. Adaptado de proceso de extrusión por Beltrán y Marcilla, 2012.

En la figura 11 se representa la dirección y el movimiento relativo del polímero a varias profundidades y en el centro del canal; en el esquema el flujo total de extrusión está limitado parcialmente por la presencia de una boquilla, en este caso el polímero que se encuentra en la parte superior del canal C se dirige hacia adelante y hacia la derecha, mientras que el que se encuentra en la parte inferior del canal O, lo hace en dirección opuesta. Por otra parte, el material que se encuentra en los puntos D y E solo presenta una componente de velocidad en las direcciones axial y longitudinal, respectivamente.

Existe una diferencia de temperatura en las diferentes zonas. La temperatura más alta se encontrará en el centro del canal, donde el material está expuesto a mayores cizallas, mientras que en los alrededores se obtendrán temperaturas inferiores si el cilindro está enfriado, lo que suele ocurrir en la zona de dosificación. Las capas internas difícilmente llegan a alcanzar la superficie fría del cilindro y se encuentran aisladas por las capas externas. En consecuencia, la diferencia de temperatura entre las diferentes capas puede alcanzar con facilidad los 60°C. Si esta situación se mantiene hasta el final del tornillo, el fundido que sale por la boquilla no será homogéneo, además, el grado de mezcla de las capas internas puede ser deficiente, al ser el tiempo de residencia menor que el del resto del material esto conlleva problemas no sólo en la boquilla, sino también distorsiones en el producto extruido. La forma más eficaz de evitarlo consiste en incorporar mezcladores en el diseño del tornillo, además de homogeneizar la temperatura del material, los mezcladores también son importantes cuando se pretende mezclar diferentes tipos de aditivos (Beltrán y Macilla, 2012).

En la figura 12, se puede apreciar cómo se da esta distribución de temperaturas.

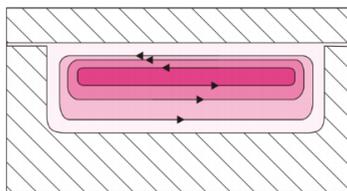


Figura 12. Flujo de recirculación en el canal del tornillo.

Nota. Flujo de recirculación en el canal del tornillo por Beltrán y Marcilla, 2012.

Una vez analizado los flujos que influyen en el proceso de extrusión, se explicará cada una de las funciones que se realizan en este, las cuales son; transporte de sólidos (zona de alimentación), transporte de sólidos en el cilindro (zona de transición), cocción, moldeado y corte.

Transporte de sólidos (zona de alimentación)

El transporte de sólidos en la tolva es, en general, un flujo por gravedad de las partículas, pero se puede dar un flujo en masa como se representa en la figura 13 el cual nos ayuda a no tener regiones estancadas y todo el material se mueve hacia la salida.

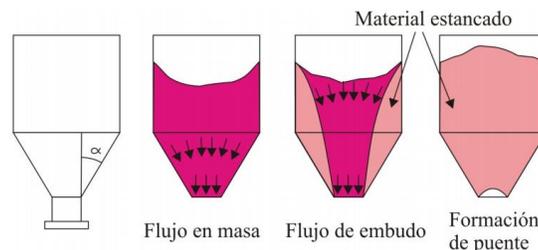


Figura 13. Flujo del material en una tolva de alimentación.

Nota. Adaptado de transporte y cizallamiento del tornillo, por Beltrán y Marcilla, 2012.

Para que el transporte de sólidos, existen diferentes características que influyen en el transporte del sólido en la tolva las cuales son:

- **Densidad aparente:** Es la densidad del material incluyendo el aire que hay entre sus partículas. Si la densidad aparente del material es excesivamente baja (no superior al 20 o 30% de la densidad real), el material dará problemas de fluidez puesto que para obtener un determinado caudal se necesitará alimentar un gran volumen de material. Si se manipulan materiales con 60% de la densidad real este fluirá con mayor rapidez.
- **Compresibilidad:** Es el aumento que se produce en la densidad aparente del material al presionarlo. Es importante manejar materiales con factor de compresibilidad bajo, es decir que sufran un cambio pequeño en su densidad aparente al aplicarles presión.
- **Coefficiente de fricción:** Se puede distinguir entre el coeficiente de fricción interno, que es la fricción existente entre las propias partículas y el coeficiente de fricción externo, que es la fricción existente entre las partículas y la superficie del cilindro. Para tener un flujo en la tolva adecuado, interesa que estos dos coeficientes sean bajos, pero en ocasiones es necesario el empleo de lubricantes.
- **Distribución del tamaño de partícula (DTP):** Si el material presenta una DTP muy amplia, las partículas tenderán a empaquetarse, lo que dificultará el flujo de estas en la tolva (Beltrán y Marcilla, 2012).

Transporte de sólidos en el cilindro

Una vez que el material sólido cae al interior del canal de la extrusora, el mecanismo de transporte deja de estar controlado por la gravedad y se transforma en un transporte inducido por arrastre. Este tipo de flujo tiene lugar debajo de la tolva a lo largo del tornillo en una distancia relativamente corta, la fuerza de fricción en la superficie del cilindro es la que genera el movimiento de la masa sólida hacia la salida de la extrusora, mientras que la fuerza de fricción en la superficie del tornillo es la fuerza retardante.

Para aumentar el coeficiente de fricción con el cilindro podría disminuirse la temperatura de este o de la garganta de alimentación, otra posibilidad consiste en utilizar cilindros con superficies rugosas, esto es, empleando cilindros estriados. Para una misma caída de presión a lo largo de la máquina, el caudal obtenido con un cilindro estriado es mayor que el obtenido con uno liso, como se puede ver en la figura 14, en donde se observa la representación del caudal de salida frente a la presión, para los diferentes cilindros.

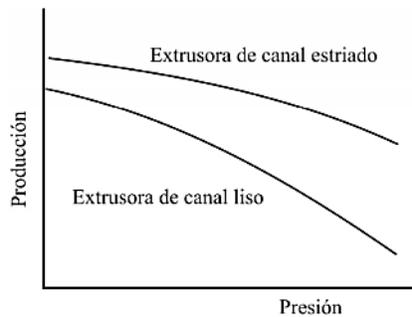


Figura 14. Representación del caudal de salida frente a la presión, para un cilindro liso y para uno estriado.
Nota. Adaptado de representación del caudal, por Beltrán y Marcilla, 2012.

En la figura 14, se tiene que los cilindros estriados permiten utilizar materiales con pesos moleculares elevados y difíciles de transportar. Sin embargo, las fuerzas de cizalla que se generan en estos cilindros son mayores que las que se generan en los lisos, de modo que por una parte del consumo del motor será mayor, y por otra, se puede producir una fusión prematura del material.

Una vez analizado esto, podemos decir que, el diseño de la extrusora es importante, a continuación, en la tabla 3 se muestran los diferentes tornillos que existen:

Tabla 3. Diseño del tornillo para reducir el coeficiente de fricción entre el material y el tornillo. *Nota. Adaptado de diseño del tornillo, por Beltrán y Marcilla, 2012.*

Características del tornillo		Diseño adecuado		Diseño defectuoso
Número de filetes	Sencillo		Doble	
Ángulo de filete	Grande		Pequeño	
Radio del flanco del filete	Grande		Pequeño	

De acuerdo con la tabla 3 para tener una menor fricción en el tornillo, el filete debe ser simple, el ángulo y el radio de los flancos lo más grande posible (Beltrán y Marcilla, 2012).

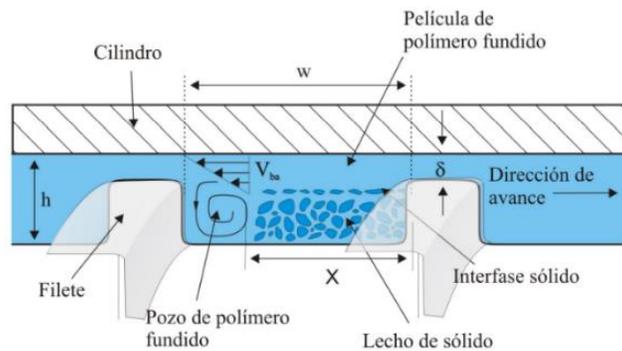
De igual manera la fuerza de arrastre o fricción entre el material y la superficie interna es mayor a menor rotación del material junto con el tornillo. La relación de L/D en extrusores de un solo tornillo es muy importante, a mayor L/D mayor superficie de fricción, que a su vez significa mejor propulsión hacia adelante bajo las mismas condiciones de extrusión (Reynaga, Soto y Quiroz, 2012).

Cocción

La zona de transporte de sólidos finaliza cuando empieza a formarse una fina película de polímero fundido. La fusión se iniciará como consecuencia del calor conducido desde la superficie del cilindro y del generado por fricción a lo largo de las superficies del cilindro y del tornillo. Se genera gran cantidad de calor por fricción, de modo que, en ocasiones, es incluso posible iniciar la fusión sin necesidad de aplicar calor externo (Beltrán y Marcilla, 2012).

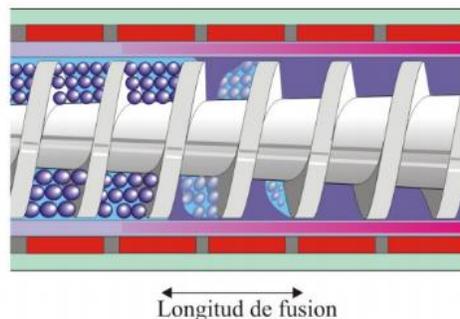
El proceso de fusión se da de la siguiente manera:

En primer lugar, aparecerá una fina capa de material fundido junto al cilindro, que irá creciendo hasta que su espesor se iguale con la tolerancia radial entre el cilindro y el filete del tornillo, δ , mientras que el resto del material se encontrará formando un lecho sólido. Como consecuencia del movimiento del tornillo se creará un gradiente de velocidad en la película fundida situada entre la capa sólida y la superficie del cilindro. El polímero fundido en la película será barrido por el filete que avanza, separándose así del cilindro y a su vez este se reunirá en una zona o pozo situado delante del filete que avanza en la parte posterior del canal. En la figura 15 se puede apreciar cómo se da este proceso en el cual se muestra un corte transversal de la zona de transición.



*Figura 15. Corte transversal de la extrusora en la zona de transición.
Nota. Adaptado de corte transversal de la extrusora, por Beltrán y Marcilla, 2012.*

A medida que se va acumulando más y más fundido en el pozo del polímero, el tamaño del pozo aumenta, mientras que el ancho de la capa sólida irá disminuyendo. De esta forma se desarrolla una presión que empuja a la capa sólida y la sitúa en la parte anterior del canal. Por eso, a pesar de que casi toda la fusión ocurre en la superficie del cilindro, la altura de la capa sólida no disminuye, sino que disminuye su anchura, como se puede apreciar en la figura 16.



*Figura 16. Ancho del pozo de fundido a lo largo de la zona de transición
Nota. Adaptado de ancho del pozo, por Beltrán y Marcilla, 2012.*

El calor necesario puede ser suministrado por conducción desde la superficie caliente del cilindro, a través de la película fundida o bien por disipación viscosa debido a las fuertes cizallas a que está sometida la delgada película de fundido. El flujo de calor por disipación viscosa esta favorecido al aumentar la velocidad del tornillo. Sin embargo, en este caso la contribución de la transmisión de calor por conducción a la fusión se verá reducida puesto que aumentará el caudal, y por tanto disminuirá el tiempo de residencia del material en la extrusora.

Por otro lado, un aumento de la temperatura del cilindro implicará en un principio un aumento del flujo de calor por conducción, y por tanto un aumento de la velocidad de fusión, pero por otra parte al aumentar la temperatura disminuirá la viscosidad del material y, por tanto, la generación de calor por disipación viscosa, de modo que algunos polímeros cuya viscosidad es sensible a la temperatura podrían ver reducida la velocidad de fusión. En la figura 17 se representa la longitud de fusión en función de la temperatura del cilindro para una velocidad de tornillo constante.

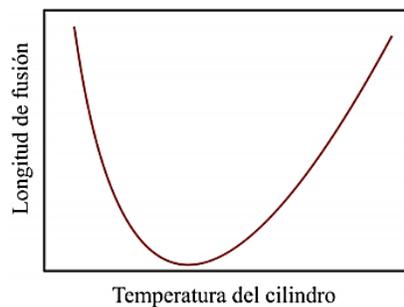
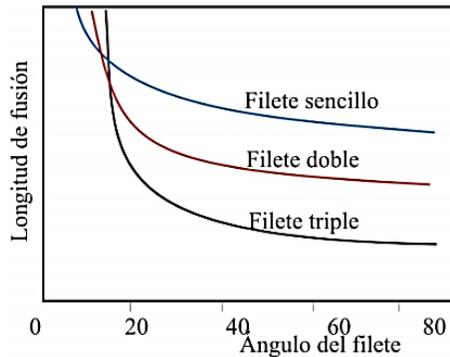


Figura 17. Relación entre la longitud de fusión y la temperatura del cilindro para una velocidad del tornillo constante. Nota. Adaptado de relación entre la longitud y la temperatura, por Beltrán y Marcilla, 2012.

En la figura 17 muestra que se obtendrá una mayor longitud de fusión con una temperatura menor del cilindro, lo que indica que será mayor el tiempo de residencia ya que el material se fundirá de manera correcta y de igual manera estaremos cuidando las propiedades de nuestra materia prima, viendo el otro punto de la gráfica, donde se tiene una temperatura elevada del cilindro, obtendremos una longitud de fusión mayor pero el daño en nuestra materia prima puede llegar a ser irreversible.

Además de las condiciones de operación, la configuración del tornillo afecta en gran medida a la velocidad de fusión y a la longitud de fusión. El ángulo del filete del tornillo puede tener un efecto considerable sobre la eficiencia de la fusión, como se puede mostrar en la figura 18, donde se observa como la longitud de fusión disminuye al aumentar el ángulo del filete. La eficiencia sería máxima con un ángulo de 90°, sin embargo, en este caso no se produciría el avance del material a lo largo de la máquina. Por tanto, hay que buscar ángulos que den buena eficiencia para la fusión y un buen transporte del material, normalmente se utilizan ángulos entre 20 y 30°; de igual forma como se vio en la tabla 3 el tipo de filete influye teniendo que, con un filete sencillo se obtendrá una mayor longitud de fusión en comparación al doble y al de triple (Beltrán y Marcilla, 2012).



*Figura 18. Efecto del ángulo de hélice y del número de filetes sobre la longitud de fusión
Nota. Adaptado de efecto del ángulo, por Beltrán y Marcilla, 2012.*

Moldeado y corte

La boquilla es frecuentemente responsable de desarrollar la forma del producto. Sin embargo, una serie de deformaciones que se llevan a cabo mientras el producto fluido reacciona a su nuevo ambiente; cese del esfuerzo de corte, reducción de la presión y enfriamiento.

A continuación, se describe el proceso para dar el conformado del material:

Distribución de velocidad en la boquilla

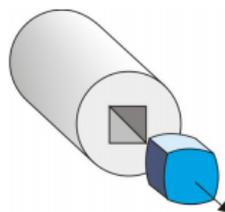
La velocidad no es uniforme a través de la boquilla, pero es máxima en el centro del flujo. Cuando el producto emerge, la porción más lenta debe acelerarse para obtener la velocidad de las porciones más rápidas. Para aumentar su velocidad, estas porciones deben hacerse más delgadas, distorsionando el producto, especialmente en las formas asimétricas.

Tensionado

Conforme el material sale de la extrusora es recogido por diferentes sistemas, que generalmente consisten en rodillos, que mantiene el material tenso. Esto hace que en la mayoría de los casos se reduzca un poco el tamaño del material, a veces de forma considerable. Además de los cambios de tamaño, los productos que no sean circulares pueden sufrir cambios de forma debido al estirado.

Relajación

El material dentro de la extrusora está sometido a grandes deformaciones y tensiones (esfuerzos normales) por lo que, debido a su naturaleza viscoelástica, se relaja conforme sale por la boquilla. La relajación provoca el hinchamiento del material, tanto más rápido cuanto mayor sea la temperatura, por lo que el cambio más pronunciado tiene lugar cuando el material sale de la extrusora. En la siguiente figura 19, se puede apreciar una animación del cómo se logra hacer este hinchamiento.



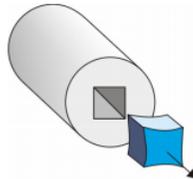
*Figura 19. Hinchamiento debido a la relajación de un material de sección cuadrada.
Nota. Adatado de hinchamiento debido a la relajación de un material por Beltrán y Marcilla, 2012.*

Con una forma cuadrada de boquilla, la dilatación ocurre más en el centro de las caras que en las esquinas, esto es resultado de que los esfuerzos normales que se producen dentro del material serán mayores en la zona central. Si el producto extruido sufre tensiones no uniformes, la relajación puede conducir a una torcedura o combadura de este, especialmente en piezas que contengan partes gruesas y delgadas (Beltrán y Marcilla, 2012).

Esto también ocurre debido al cambio de presión entre la cámara del barril y la presión atmosférica, se produce una vaporización instantánea, y obtenemos un producto expandido con estructura porosa, que dependerá de las condiciones de funcionamiento y la composición de la mezcla, entre otros factores. Al mismo tiempo que se producen cambios estructurales en la matriz sólida, por ejemplo, gelatinización de almidón, desnaturalización y solubilización de proteínas y formación de complejos entre amilosa y lípidos, hay reacciones de degradación de antioxidantes (como vitaminas, polifenoles, antocianinas y pigmentos), que están influenciadas por el tipo y la intensidad de la energía térmica y mecánica aplicada y están relacionadas con las variables de proceso y las configuraciones geométricas de tornillo y cilindro (Ruiz, Sánchez y Quintero, 2017).

Enfriamiento

El enfriamiento del material fundido produce su contracción, reduciéndose el tamaño y aumentando su densidad. La contracción que produce el enfriamiento normalmente no es uniforme, puesto que en partes gruesas puede haber una diferencia muy grande entre la velocidad a la que se enfrían las zonas externas y las más internas del material. En la figura 20 se muestra la contracción que sufriría una pieza de sección cuadrada debido a la diferente velocidad de enfriamiento entre las distintas partes (Beltrán y Marcilla, 2012).



*Figura 20. Contracción debida al enfriamiento de un material de sección cuadrada.
Nota. Adaptado de contracción debida al enfriamiento de un material por Beltrán y Marcilla, 2012.*

CAPÍTULO III

Variables en el proceso de extrusión.

VARIABLES DEL PROCESO

Preacondicionamiento

Es importante la existencia de un dispositivo de preacondicionamiento de las materias primas antes del tornillo de la extrusora para asegurar una adecuada homogeneización de estas, de igual manera es útil para reducir el consumo de energía mecánica y/o aumentar la capacidad del sistema de extrusión.

En la figura 21 se presenta el proceso de la etapa de preacondicionamiento.



Figura 21. Proceso de la etapa de preacondicionamiento.

Nota. Adaptado de proceso de preacondicionamiento por Córdoba, 2017.

Este proceso de preacondicionamiento se da por la mezcla de los ingredientes, en donde se les añade vapor o agua para su humidificación, de igual manera se puede agregar un precalentamiento para realizar una precocción de los ingredientes, dando como resultado una mezcla prehumidificada, precalentada y precocida la cual nos dará un mayor ahorro de energía en el proceso, al igual que un buen desempeño, de cada uno de los ingredientes del producto.

El tamaño de las partículas provenientes de la molienda juega un papel muy importante donde a menor tamaño de las partículas, más superficie de área expuesta para que el vapor pueda:

1. Humedecer la mayor cantidad de partículas de la mezcla por condensación del vapor.
2. Transferir el suficiente calor a la mezcla.
3. Mantener la suficiente temperatura interna de las partículas por un tiempo determinado, para que se produzca la gelatinización de los almidones y desnaturalización de las proteínas, y se ligen adecuadamente.

Las condiciones termodinámicas del acondicionamiento (humedad de la masa, temperatura, tiempo de retención, y presión de vapor) no son las mismas para todos los alimentos; estas van a variar de acuerdo con el tipo de alimento que se requiera fabricar.

En la figura 22 se presenta la prehumidificación al 20%, 25% y 30% en el proceso térmico de gelatinización del almidón de maíz estudiado a través de calorimetría diferencial de barrido con respecto al tiempo de retención en el preacondicionador (Córdoba, 2017).

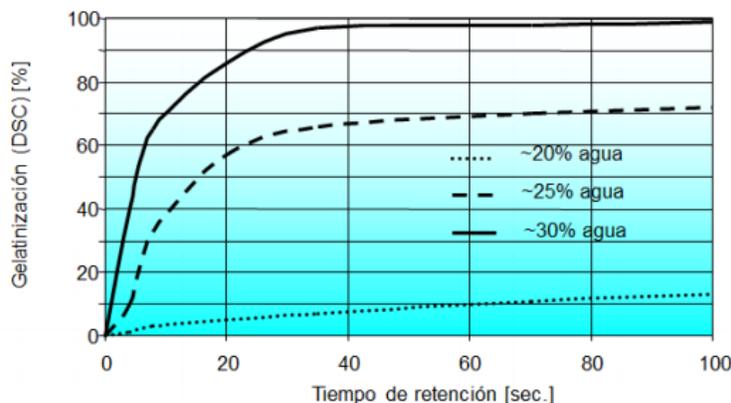


Figura 22. Influencia del agua sobre el proceso de Preacondicionamiento
Nota. Adaptado de influencia del agua sobre el proceso de preacondicionamiento por Córdoba, 2017.

En la figura 22 se puede observar que se obtiene una mayor gelatinización con 30% de agua en un tiempo de 25 segundos, esto es porque en las masas de humedad baja utilizadas para la cocción por extrusión, las interacciones físicas iniciales en la formulación causan la disipación de energía friccional y mecánica. Esta fuente de energía sirve para calentar la materia de la masa. La velocidad de calentamiento es muy alta en sistemas de baja humedad, de modo que para formulaciones de hasta 25% de humedad no es necesario un calentamiento externo para alcanzar una temperatura de operación de 150° C. La adición de ingredientes tales como agua sirven para reducir las interacciones por plastificación de las formas secas de polímeros, transformándolos desde sólidos a fluidos plásticos. La adición de cantidades crecientes de agua reduce la disipación de energía mecánica y reduce la entrada de calor a medida que se aumenta el nivel de humedad. En la cocción por extrusión de alimentos y piensos es el agua que hidrata y solvata el almidón y los polímeros de proteína. A niveles >10 % existe suficiente agua para que los polímeros empiecen a moverse y deslizarse a través del uno al otro y la naturaleza física de los extrusionados cambia desde un estado vítreo a un fluido elástico viscoso. A este nivel de agua la energía consumida por el tornillo y cizallamiento del fluido es muy grande y la masa se calienta rápidamente. El extrusor también degrada el polímero mediante cizallamiento mecánico y por calor, a medida que el nivel de agua aumenta la viscosidad cae y la fluidez de la masa aumenta y se consume menos energía mecánica.

La presencia de un exceso de agua en el almidón, de modo que existe agua libre, permite que los gránulos de almidón se hinchen después que sus estructuras cristalinas se han derretido. Esto debilita las estructuras granulares y facilita enormemente la dispersión de polímeros de almidón. Para los almidones normales la cantidad de agua necesaria para alcanzar este nivel es de alrededor del 30% de la masa de la mezcla (Córdoba, 2017).

Configuración del tornillo

El grado de gelatinización de almidón aumenta con el aumento del tiempo de retención de la materia prima en el extrusor y este parámetro es controlado por la configuración del tornillo. El conjunto formado por eje helicoides

y la superficie interna del extrusor son también por regla general, ranuradas para evitar el deslizamiento y fomentar una adhesión de la materia prima a las superficies internas del equipo (Córdoba, 2017).

Temperatura

La temperatura utilizada en el proceso de extrusión desempeña un papel importante en los cambios de las propiedades fisicoquímicas de los productos extruidos. Los almidones degradados son compuestos de moléculas con bajo peso molecular como consecuencia de la dextrinización del almidón (Gomide, 2017).

La temperatura de extrusión es la temperatura a la que se mide el primer aumento detectable de la viscosidad y es un índice caracterizado por el cambio inicial debido a la hinchazón de los granulos de almidón. Una mayor temperatura de unión de las harinas en el proceso de extrusión indica una mayor capacidad de unión al agua y una mayor tendencia a la gelatinización (Dussan, Hurtado y Camacho, 2019).

Tiempo

Bajo las condiciones intensas de cocción que se utilizan para los productos inflados, la regla imprescindible es un tiempo corto de residencia. En extrusores de cilindro corto, el tiempo total es de solo unos cuantos segundos, aún con máquinas largas, el tiempo durante el cual se expone el producto a un alto cizallamiento es limitado. La mayor parte del tiempo de residencia es destinado a mezclar y absorber la humedad (Gomide, 2017). Los tiempos varían de segundos a 1-2 minutos.

Granulometría del producto

El análisis granulométrico en las harinas es primordial para la industria de las pastas alimenticias, ya que facilitan la estandarización y proceso de productos.

Una harina con alta uniformidad de granulometría promueve una mejor calidad sensorial de textura, sabor y apariencia visual al producto final, ya que absorbe el agua de manera homogénea, promueve una cocción y dureza uniforme (Dussan, Hurtado y Camacho, 2019).

El grado de gelatinización también está influenciado por la granulometría, en el trabajo realizado por Ortega y Bravo, 2017, donde se tuvieron diferentes tratamientos de los extruidos de arroz, quinua y chía, se obtuvo que, la gelatinización del almidón dentro del extrusor fue considerable del 72% al 98%, encontrándose que existen diferencias significativas entre tres granulometrías, siendo la granulometría de menor tamaño de 0.125 mm la que cuenta con los valores más altos de grado de gelatinización.

Se ha demostrado que, las partículas de mayor tamaño retardan la gelatinización hasta antes de la descarga del dado de salida, mientras que las partículas finas dan una pronta gelatinización y baja viscosidad del fluido, lo cual no es conveniente, debido a que podría quemarse el producto durante su paso por el barril (Vilchez, Guevara y Encina, 2012).

De igual forma existe un trabajo realizado por Gomide, 2017, donde trabaja dos granulometrías estas de 1.2 mm y 0.8 mm, tendiendo como resultado que se obtiene un mejor producto en cuanto apariencia con una granulometría de 0.8 mm, lo cual se puede apreciar en la figura 23.



Figura 23. Efecto de la granulometría.

Nota. Adaptado de efecto de la granulometría por Gomide, 2017.

Una vez analizado esto, se puede decir que, 0.8 mm será la granulometría estándar que se debe manejar para ese tipo de producto, debido a que, si se trabaja con tamaños menores, se tendrá una pronta gelatinización y bajas viscosidades.

Nivel de grasa

Los aceites y las grasas tienen una poderosa influencia sobre los procesos de cocción por extrusión mediante su actuación como lubricantes entre el material particulado y los tornillos del extrusor, de igual manera es un componente importante ya que puede proporcionar variaciones de sabor y de textura a los productos alimenticios (Pitchon, 1980). Ambos materiales se pueden describir como líquidos, pero las grasas son aquellos materiales, que contienen material cristalino a temperaturas ambientes y tienen apariencia de sólidos, en el extrusor se vuelven líquidos a temperaturas mayores de 40° C y funcionan como aceites líquidos durante las etapas críticas del proceso.

La mayoría de las materias primas contienen algunas formas de líquidos que sirven para actuar como lubricantes, pero existen pocos materiales que contienen solamente trazas de lípidos. Si el almidón de la patata o del guisante se extrusiona a humedad baja $\leq 16\%$, los polímeros se hallan sujetos a un alto efecto de calentamiento friccional sobre las superficies del metal del tornillo y del cilindro, y se degradan en gomas pardas adhesivas. La adición de un aceite, tal como el de soja, de palma, de colza o de maíz, en la extrusión evita esta degradación y permite que el almidón sea extruido de la misma forma que los almidones de trigo y maíz, que contienen niveles similares de lípidos naturales. En la extrusión de almidones de cereal la entrada de energía mecánica se reduce, así como el aceite es añadido en la formulación.

Una vez analizado lo anterior, se tiene que es de suma importancia añadir aceite para reducir la fricción entre las partículas de la mezcla, entre las superficies del tornillo y el fluido de manera que las fuerzas que actúan sobre los gránulos de almidón se reducen y pueden tomar más tiempo para su dispersión en la zona de cizallamiento, por lo que a continuación, en la tabla 4 se presentan los niveles de grasa aptos para la extrusión

Tabla 4. Efectos de la grasa en el producto.

Nota. Adaptado de Efectos de la grasa en el producto por Gomide, 2017.

Grasa en productos extruidos (%)	Efectos en el producto
<7%	Poco o ningún efecto.
7-12%	Por cada 1% grasa sobre 7%, la densidad del producto final aumentará en 16 g/l.
12-17%	El producto tendrá poca o ninguna expansión, pero podrá mantener la integridad.
+17%	La integridad del producto final puede ser pobre.

Aunque el proceso de extrusión es básicamente una operación tecnológica simple, su control es complicado debido a los efectos ejercidos por algunas variables del proceso. Las condiciones de procesamiento están determinadas por variables independientes y dependientes del sistema, las variables independientes son aquellas que pueden controlarse, como la composición de la alimentación, el contenido de humedad, la velocidad de alimentación, la velocidad del tornillo y la temperatura del barril. Las variables dependientes son aquellas que asumen un cierto valor que depende de la magnitud de una variable independiente, estos incluyen las propiedades de los extruidos, como la viscosidad, que se ve afectada por la composición, el contenido de humedad, la temperatura y la velocidad de corte asociados con la velocidad del tornillo.

A continuación, se presentan en un cuadro las variables que existen en el proceso:

Variables independientes	Variables independientes del diseño	Variables dependientes	Variables de respuesta
<ul style="list-style-type: none"> • Humedad • Tipo y composición del material • Temperatura • Velocidad de alimentación 	<ul style="list-style-type: none"> • Tornillo • Boquilla 	<ul style="list-style-type: none"> • Viscosidad • Contenido de humedad • Temperatura • Velocidad de corte 	<ul style="list-style-type: none"> • Presión • Energía mecánica • Tiempo de residencia • Propiedades del producto

EFFECTO DE LAS VARIABLES

Cambios en las variables como la presión ejercida sobre el sistema, la potencia, la energía específica, el tiempo de residencia y las características del producto (textura, gelatinización, color, índice de absorción de agua, índice de expansión, densidad y composición química, entre otros) pueden afectar la calidad y las características del producto final. Las variables más influyentes en los procesos de extrusión son la temperatura, la velocidad del tornillo y la presión del sistema. Además, el contenido de humedad de las mezclas influye en propiedades tales como la viscosidad del fluido fundido, el tiempo de residencia del material en el extrusor y el esfuerzo cortante aplicado a los alimentos, lo que afecta las características físicas de los extruidos o el consumo de energía (Ruiz, Sánchez y Quintero, 2017).

En la figura 24 se presenta la vinculación de los efectos del contenido de humedad, temperatura y el índice de expansión.

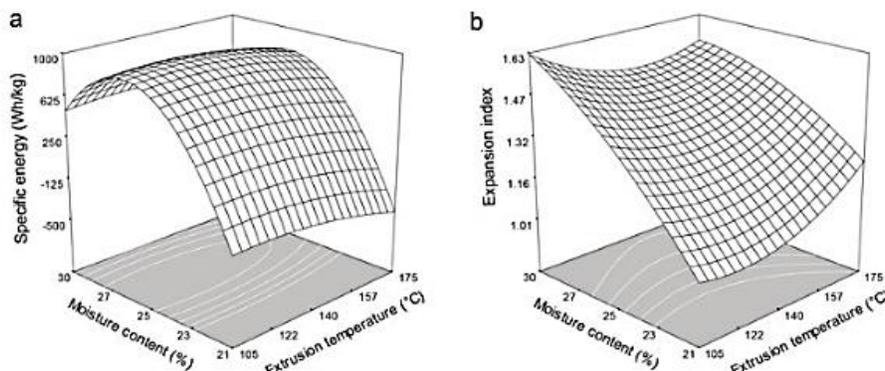


Figura 24. Diagrama de superficie de respuesta que vincula los efectos del contenido de humedad del pienso y la temperatura de extrusión sobre la energía específica (a) y el índice de expansión (b) de un cereal extruido con orujo de manzana.

Nota. Adaptado de Diagrama de superficie de respuesta por Ruiz, Sánchez y Quintero, 2017

La figura 24 es un gráfico de superficie de respuesta que vincula los efectos del contenido de humedad del alimento y la temperatura de extrusión sobre la energía específica (a) y el índice de expansión (b) de un cereal extruido con orujo de manzana. La entrada de energía mecánica específica se ve afectada por el contenido de humedad de las mezclas, donde, se obtienen valores más altos de energía específica con un contenido de humedad del 28%, y un aumento adicional provoca una disminución en la entrada de energía. Este fenómeno puede atribuirse al mecanismo de gelatinización, que se minimiza con un alto contenido de humedad, lo que provoca el deslizamiento del material durante el proceso. El índice de expansión se ve afectado por el contenido de humedad de las mezclas y la temperatura de extrusión. Los aumentos en el contenido de humedad del alimento aumentan la expansión de los extruidos a bajas temperaturas. No obstante, un aumento de la temperatura reduce la expansión incluso con un alto contenido de humedad. Evidentemente, propiedades como la expansión dependen de los factores mencionados anteriormente, que se correlacionan con el grado de gelatinización y la composición de las mezclas.

Otro estudio ha demostrado el efecto ejercido por la velocidad de alimentación, lo que resulta en un alto índice de expansión, con un bajo índice de solubilidad en agua y una alta dureza de los extruidos. El aumento en el contenido de humedad del alimento da como resultado productos con alta densidad, baja expansión, alto índice de absorción de agua, menor índice de solubilidad en agua y alta dureza. El aumento en la temperatura del barril aumentó la expansión de los extruidos, pero redujo la densidad con un aumento en el índice de solubilidad en agua. Estos resultados muestran los efectos de las condiciones de operación durante la extrusión de cereales (velocidad de alimentación, contenido de humedad de alimentación, velocidad del tornillo y temperatura del barril) en las características fisicoquímicas de los productos extruidos, por ejemplo, en la expansión, densidad, índice de absorción de agua e índice de solubilidad en agua. Estos estudios muestran la versatilidad del proceso de extrusión para obtener productos de calidad con un equilibrio nutricional adecuado y características funcionales que se pueden presentar de varias maneras (Ruiz, Sánchez y Quintero, 2017).

CAPÍTULO IV

MATERIAS PRIMAS PARA LA COCCIÓN POR EXTRUSIÓN.

Los productos extrusionados se forman a partir de biopolímeros naturales de las materias primas tales como harinas de cereales y tubérculos que son ricos en almidón, o legumbres de semillas oleaginosas y otras fuentes ricas en proteínas. Los materiales más comúnmente utilizados son harinas de trigo y maíz, pero también se pueden utilizar muchos otros materiales tales como harina de arroz, patata, centeno, cebada, avena, sorgo, yuca, tapioca, etc.

Estas materias primas las cuales la mayoría son ricas en almidón llevan un proceso particular durante la extrusión, el cual se muestra a continuación:

Proceso de las materias primas

1. Los polvos se mezclan con agua y son llevados a la zona de compresión.
2. El polvo se comprime hasta una densidad de 1g/mL a 5-10 bar.
3. El polvo se calienta mediante disipación friccional y mecánica de energía desde el motor y el calentamiento desde el cilindro.

4. Los gránulos de almidón y proteínas funden y se vuelven blandos.
5. Los gránulos de almidón y proteínas se comprimen hasta una forma comprimida.
6. Los polímeros de almidón y proteínas se dispersan y degradan para formar un continuo en el fluido derretido.
7. El medio continuo de polímero de almidón se mantiene y se expande con las burbujas de vapor de agua hasta que alcanza el punto de ruptura. En el caso de las proteínas se da la desnaturalización de estas y se forma una red tridimensional la cual encapsula al almidón.
8. Las paredes de las células de polímero de almidón retroceden y se vuelven rígidas a medida que se enfrían para estabilizar la estructura del extrusionado.
9. Los polímeros de almidón se vuelven vitreos a medida que se elimina la humedad para formar una textura dura quebradiza, de igual manera esta textura se obtiene con proteínas.

A continuación, se presenta en la tabla 5 las materias primas más utilizadas en el proceso de extrusión para la industria de alimentos.

Tabla 5. Materias primas y su uso en extrusión.
Nota. Adaptado y modificado de Productos basados en almidón por Guy, 2002.

Clase	Tipo de producto	Fuentes de almidón
Cereales de desayuno	Copos de maíz	Maíz
	Copos multigranos	Trigo, maíz, arroz, avena
	Copos de fibra alta	Maíz, trigo, arroz
	Arroz crujiente	Arroz
	Avena hinchada	Avena
Aperitivos	Barritas de patata	Patata, maíz
	Aros de patata	Patata
	Granos hinchados o rizados	Maíz
	Inflados	Trigo, patata, maíz
	Galleta de gamba	Trigo, arroz
	Productos intermedios	Maíz, trigo, patata, arroz
	Maíz frito mexicano	Maíz
Fritos estilo mexicano	Trigo, patata	
Bollos	Pan aplastado	Trigo, maíz, arroz, yuca
Alimento para animales de compañía	Formas secas para perros y gatos	Trigo, maíz, arroz
	Bocados húmedos	Trigo
	Deleites secos	Trigo, maíz
Pastas	Fideos, espaguetis, raviolis, etc.	Sémola de trigo
Piensos para peces	Flotantes y hundidos para peces	Trigo
	Tipos de hundidos para gambas	Trigo

Es importante indicar que cada uno de los productos antes mencionados se pueden realizar a base de proteína, agregando o teniendo como materia prima una harina rica en proteína como lo es la harina de soya, garbanzo, chícharo, etc.

Cada una de estas materias primas que se someten a este proceso se describen a continuación:

Almidón

El almidón es un polímero que sirve como almacén de nutrientes proporcionando gran parte de la energía, químicamente se encuentra constituido por dos polímeros: amilosa- polímero esencialmente lineal formado por

moléculas de glucosa unidas por enlaces α -D (1,4)- y amilopectina -unidades D-glucosa unidas por enlaces α -(1,4) presentando un grado de ramificación localizadas cada 15 a 25 unidades lineales de glucosa y estas cadenas laterales están unidas a la cadena central por enlaces α -(1,6).

La mayoría de los almidones están compuestos de 25% de amilosa y 75% de amilopectina. Se estima que el límite más bajo de contenido de almidón para obtener una buena expansión es del 60-70%. Se ha sugerido que un alto contenido de amilopectina conduce a la obtención de texturas expandidas homogéneas y elásticas, mientras que altos contenidos de amilosa conducen a extruidos duros y menos expandidos. A un mismo contenido de humedad, los almidones ricos en amilopectina son más blandos que los almidones ricos en amilosa, lo que favorece la expansión (Ortega y Bravo, 2017).

Trigo

El trigo (*Triticum vulgare*) es el cereal más ampliamente cultivado en el mundo y es característico de la dieta mediterránea, se usa generalmente en forma de harina fina para la fabricación de productos extruidos. El trigo tiene muchas variedades estas se diferencian en función de la textura del endospermo, según sea blando o duro.

Nutricionalmente el trigo aporta un 61% de hidratos de carbono, (8-15%) de proteínas, 10% de fibra y solo un 2% de lípidos. Contiene vitaminas, principalmente del grupo B (B1, B2, B3, B6, ácido fólico) y vitamina E. Y entre los minerales que posee, los de mayor contenido son: K, P, Mg y Ca. El aporte energético del trigo es de 249 Kcal/100 g.

Dentro de los cereales, el trigo es el que contiene una concentración relativa más alta en proteínas (8-15%) sin embargo, esta concentración puede ser modificada durante la operación de molienda por técnica de separación. Las proteínas son principalmente gluteninas y gliadinas insolubles en agua con una proporción pequeña de albuminas y globulinas. El gluten, que se forma cuando el cereal sufre un proceso de desnaturalización por alta temperatura puede sufrir reacciones químicas con otros componentes como azúcares reductores. Estas reacciones darán lugar a una pérdida de aminoácidos esenciales (Romero, 2018).

Maíz

La demanda mundial de maíz está controlada por el mercado de alimentos para animales, sin embargo, para la industria de alimentación humana, aparecen algunas características especiales que permiten diferenciar los distintos tipos de maíz y sus respectivas variedades.

Es un grano que tiene numerosas y diversas aplicaciones, constituye una importante fuente de materia prima para producir almidones, edulcorantes, aceite, alcohol, etc.

Los cereales pertenecen al grupo de las *Angiospermas* y dentro de este, a la familia de las *Gramíneas*. El maíz pertenece a la tribu *Maydeas* y al género y especie *Zeamays*. La calidad del maíz está determinada principalmente por la estructura y composición del grano, las que dependen del híbrido o variedad utilizada, así como de las prácticas de manejo, el clima, el suelo y los métodos de cosecha, secado, almacenaje y transporte.

La estructura anatómica de los cereales es básicamente similar, diferenciándose un cereal de otro solamente en ciertos detalles. Los granos de trigo, centeno y maíz están compuestos por una cubierta llamada pericarpio, un germen localizado en un extremo y un endospermo localizado en el centro de la semilla o grano. Los granos de avena, cebada y arroz contienen, además, la envoltura del fruto o semilla denominada gluma, que constituye la cáscara (Romero, 2018).

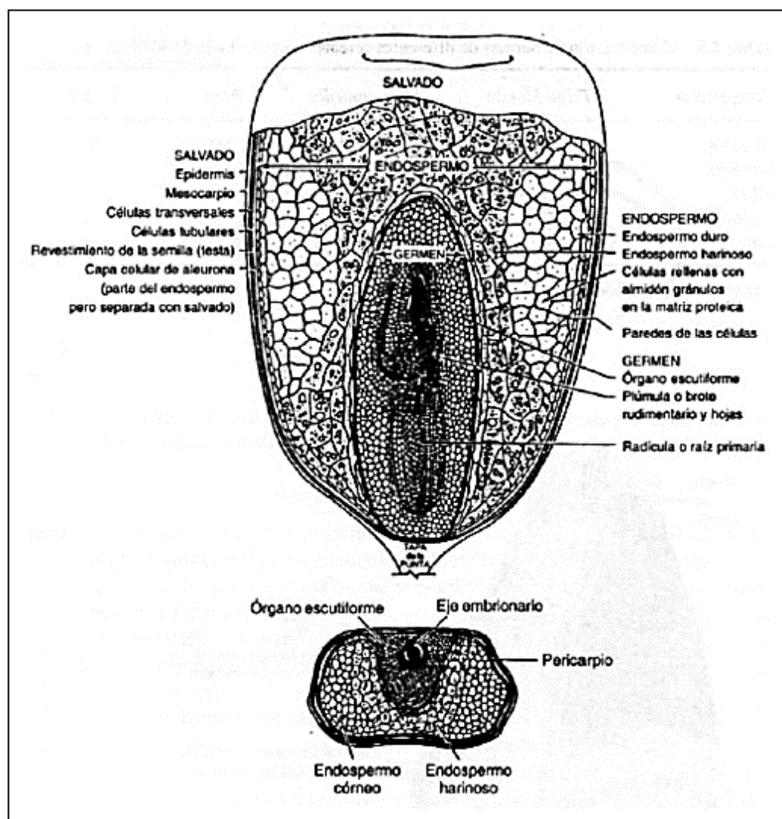


Figura 25. Estructura de un grano de Maíz.

Nota. Adaptado de estructura de un grano de maíz por Romero, 2018.

La composición química promedio de estas partes principales se muestra en la tabla 6, donde, el endospermo contiene mayor parte del almidón, el germen y los lípidos, mientras que el pericarpio y el pedicelo están constituidos fundamentalmente por carbohidratos estructurales y no digeribles.

Tabla 6. Distribución de los principales componentes del maíz

Nota. Adaptado de distribución de los principales componentes del maíz por Romero, 2018.

COMPONENTES	%	COMPOSICIÓN CENTESIMAL EN BASE SECA			
		ENDOSPERMO	GERMEN	PERICARPIO	PEDICELO
Almidón	62,0	87,0	8,3	7,3	5,3
Proteína	7,8	8,0	18,4	3,7	9,1
Lípidos	3,8	0,8	33,2	1,0	3,8
Cenizas	1,2	0,3	10,5	0,8	1,6
Otros*	10,2	3,9	29,6	87,2	80,2
Agua	15,0	-	-	-	-

*Por diferencia, se incluye: fibra, nitrógeno no proteico, pentosanos, ácido fítico, azúcares solubles, xantofilas.

Avena

La avena es un grano con gran interés nutricional por su contenido en fibra soluble, posee un 66.3% de hidratos de carbono, pero además es un cereal muy valorado por su riqueza en proteínas 16.9% y aminoácidos esenciales.

La molturación de la avena se lleva a cabo mediante un proceso especial que implica la vaporización del grano para inactivar determinadas enzimas como las lipasas, que se encuentran en las capas exteriores del grano, y un secado posterior para reducir la humedad hasta un 6-8%.

La textura del endospermo es similar a la del trigo blando por lo que se rompe fácilmente liberando el almidón. El nivel de aceite en la avena es excepcionalmente alto (7-9%) comparado con el 1-2 % que poseen el resto de los cereales, este aceite este compuesto principalmente por ácido oleico (característico en el aceite de oliva) y linoleico, aporta una calidad nutricional buena para determinados productos, pero presenta también problemas de oxidación (rancidez) (Romero, 2018).

En el proceso de extrusión, supone un problema ya que el aceite actúa como lubricante y a niveles del 7-9% ocasiona efectos importantes en procesos en los que se opera a baja humedad.

Soya

La soya es la principal fuente de proteína vegetal y un componente importante de los alimentos balanceados que se usan en la nutrición animal en el mundo.

El grano de soya consiste en dos cotiledones, los cuales representan el 90 por ciento del peso, una cubierta de la semilla o cascara (8% del peso) y dos estructuras mucho más pequeñas y livianas, el hipocótilo y la plúmula.

Los cotiledones contienen las proteínas y lípidos que constituyen el principal componente nutricional de los productos obtenidos del grano de soya. También son la principal área de almacenamiento para los carbohidratos y varios otros componentes de importancia, en particular las enzimas (lipoxigenasa, ureasa) y los factores anti-nutricionales.

El grano de soya posee un contenido promedio de 38.7% de proteína y 22.7% de lípidos, en cuanto a su rendimiento industrial, el grano de soya rinde aproximadamente 19% de aceite, 73% de harina, 7% de cáscara y 1% de otros (cenizas, etc.) (Romero, 2018).

EFFECTOS DE LA EXTRUSIÓN

Existen una serie de transformaciones en el procesamiento de las materias primas, en donde están implicados el almidón y las proteínas, estos sufren un cambio en su estructura la cual nos ayudará a activar la funcionalidad y proporcionar las propiedades sensoriales y texturales esperadas en el producto, uno de estos cambios son la gelatinización y la formación del gluten, mediante la desnaturalización de las proteínas, los cuales se describen a continuación.

Gelatinización

Se conoce como gelatinización al proceso donde los gránulos de almidón que son insolubles en agua fría debido a que su estructura es altamente organizada, se calientan (50-70° C) y empieza un proceso lento de absorción de agua en las zonas intermicelares amorfas que son menos organizadas y las más accesibles.

A medida que se incrementa la temperatura, se retiene más agua y el gránulo empieza a hincharse y aumentar de volumen. Este fenómeno puede ser observado al microscopio. Al llegar a cierta temperatura, los gránulos alcanzan un volumen máximo y pierde tanto su patrón de difracción de rayos X como la birrefringencia.

El intervalo de temperatura en el que tiene lugar el hinchamiento de todos los gránulos se conoce como intervalo de gelatinización y es característico de cada almidón. Al producirse el hinchamiento de los gránulos, hay también una extracción de la amilosa. Esta amilosa liberada queda en dispersión coloidal donde los gránulos intactos están en suspensión.

Si se continúa administrando calor a los gránulos hinchados, estos se romperán parcialmente, la amilosa y la amilopectina se dispersarán en el seno de la disolución. Al final de este proceso se genera una pasta o gel en la que existen cadenas de amilosa altamente hidratadas que rodean a los agregados, también hidratados, de los restos de los gránulos.

En la tabla 7, podemos observar la temperatura de gelatinización para cada tipo de almidón.

*Tabla 7. Temperatura de gelatinización de diferentes almidones.
Nota. Adaptado de Temperatura de gelatinización de diferentes almidones por (Riaz, 2012).*

Tipo de almidón	Temperatura de gelatinización (°C)
Triticale	59
Trigo	61
Centeno	64
Avena	56
Maíz	67
Maíz ceroso	68
Arroz	68
Papa	61
Tapioca	65

Retrogradación

Este fenómeno se define como la insolubilización y precipitación espontánea de las moléculas de amilosa, es decir, la pérdida de la solubilización del almidón gelatinizado debido a que las moléculas del almidón tienden a re asociarse y formar una estructura estrechamente compacta.

En las moléculas de amilosa, las cadenas se orientan paralelamente y forman entre sí puentes de hidrógeno a través de sus múltiples grupos hidroxilo, estas interacciones se pueden efectuar por diversas rutas que dependen de la concentración y de la temperatura del sistema; en cambio la retrogradación de la amilopectina parece que requiere en primer lugar la asociación de sus ramas exteriores, y eso requiere de un tiempo mucho mayor respecto a la retrogradación de la amilosa.

Los agregados de amilosa gelatinizada forman una red gelatinosa durante su enfriamiento, mientras que la amilopectina actúa como un agente de agregación y una red rellena. El desarrollo de las zonas de asociación en un gel puede ser considerado como la primera fase de inicio de la cristalización por parte de las moléculas de almidón, al enfriar y dejar en reposo las pastas de almidón, éste se hace progresivamente menos soluble.

La velocidad de retrogradación depende de diversas variables, entre las que se encuentra: la porción amilosa/amilopectina, el largo de sus cadenas, las estructuras de las moléculas de amilosa y amilopectina, la temperatura, la concentración de almidón y, por último, la presencia y concentración de otros ingredientes como lípidos, surfactantes y sales (Luisillo, 2014).

Hay dos rutas por las que se puede llevar a cabo la retrogradación que dependen de la concentración y temperatura del sistema:

- Rápida: Al calentar una solución concentrada de amilosa y se enfría rápidamente hasta temperatura ambiente, se forma un gel rígido y reversible.
- Lenta: Una solución diluida, se vuelve opaca y precipita cuando después de calentarse, se deja enfriar lentamente hasta temperatura ambiente.

La retrogradación está directamente relacionada con el envejecimiento del pan, esto es porque durante el cocimiento del pan, parte de la amilosa se difunde fuera del gránulo y retrograda en el momento de su enfriamiento, de tal manera que los restos de gránulo (ahora ricos en amilopectina) se ven rodeados por moléculas del polímero lineal; se considera que el envejecimiento se debe a la asociación de cadenas de amilopectina dentro del gránulo, después de haber perdido parte de la amilosa (Cerron, 2017).

Efecto en las proteínas

Los niveles más altos de proteína salen en menos expansión, ya que la proteína es más viscoelástica que el almidón. El aumento de los niveles de proteína también resulta en texturas más firmes o duras en comparación con las formulaciones de almidón. Muchas proteínas no son funcionales, es decir, no contribuirán a la expansión y unión en la matriz de producto extruido. Generalmente los productos hechos con formulaciones con niveles de proteína más altos tendrán menos durabilidad y pueden romperse y generar polvo fino durante la manipulación y el transporte (Mian y Galen 2012).

Durante la extrusión se llevan a cabo diversas reacciones con las proteínas como: la reacción de Maillard por la presencia de azúcares reductores, desnaturalización de proteínas, ruptura y formación de enlaces químicos intermoleculares (peptídicos y disulfuro) y formación de complejos proteína-carbohidrato y proteína-lípidos.

La extrusión tiende a mejorar la digestibilidad de proteínas de origen vegetal por dos razones: inactivación de inhibidores de proteasas y desnaturalización de proteínas. Existe pérdida del aminoácido lisina pero que está en función a dos factores: las condiciones de extrusión y a la reacción de Maillard por la presencia de azúcares reductores. Se tiene pérdida de lisina del 3% con tiempos de residencia de 20 a 40 s, si se da un preacondicionado de 2 a 8 min y a temperaturas elevadas mayores a 116°C la pérdida es de 13% de lisina.

Desnaturalización de proteínas

Es el desdoblamiento de la estructura tridimensional de una molécula provocado por el rompimiento de las interacciones no covalentes.

Las interacciones no covalentes que mantienen la estructura tridimensional de una proteína son débiles, y no es sorprendente que se desorganicen fácilmente. Al desdoblamiento de una proteína (es decir, la desorganización de su estructura terciaria) se le llama desnaturalización. La reducción de los puentes disulfuro conlleva a una desorganización aún más drástica de la estructura terciaria.

Las proteínas pueden ser desnaturalizadas de distintas formas. Una de ellas es por calor. Un aumento en la temperatura favorece vibraciones intensas dentro de la molécula y la energía de esas vibraciones se puede volver lo suficientemente intensa para desorganizar la estructura terciaria. A valores de pH muy altos o bajos, al menos algunas de las cargas sobre la proteína se pierden y de este modo, las interacciones electrostáticas que normalmente estabilizarían la forma activa y nativa de la proteína se reducen de manera significativa. Todo esto conduce a la desnaturalización.

La presencia de detergentes, como el SDS (dodecil sulfato de sodio), también desnaturaliza las proteínas. Los detergentes tienden a perturbar las interacciones hidrofóbicas. Si un detergente es cargado eléctricamente, también puede desorganizar las interacciones electrostáticas dentro de la proteína (Feduchi, et. al., 2015).

Formación del gluten

Las propiedades funcionales de las proteínas son muy distintas dependiendo del cereal, pero las únicas que consiguen formar una masa elástica, firme y moldeable son las de trigo (gluteninas y gliadinas) y en menor medida las del centeno (gluteninas y secalinas).

Cuando hacemos una masa hay tres actores protagonistas: el agua, las proteínas del gluten y el almidón.

Las gliadinas y gluteninas son las responsables de la formación del gluten en el amasado, estas no son solubles en agua, pero si se adhieren a ella, en el momento que añadimos agua para empezar el amasado estas proteínas cambian de forma y aparecen enlaces entre ellas, lo que da la formación del gluten. Las gluteninas pueden formar enlaces disulfuro (enlaces fuertes y estables) con otras gluteninas y las gliadinas sólo forman enlaces disulfuro internos, estabilizando su propia estructura.

Cuando amasamos, la fuerza despliega la estructura espiral de las proteínas y las alinea. Las gliadinas y gluteninas se van estirando y los enlaces que tenían se van rompiendo. Se crean nuevos enlaces que poco a poco estabilizan las cadenas para ir formando una red. Esta red es el gluten y su estructura será una columna central de gluteninas de alto peso molecular unidas entre sí por puentes disulfuro (enlaces covalentes fuertes). A esta columna se añaden gluteninas de bajo peso molecular por el mismo tipo de enlace.

Las gliadinas son las responsables de la plasticidad del gluten porque se unen a las gluteninas por enlaces no covalentes débiles (puentes de hidrógeno) y permiten que las gluteninas se desplacen unas sobre otras sin establecer enlaces entre sí.

Este proceso es lo que se conoce como desarrollo del gluten y el resultado es una masa que se puede estirar sin romperse y recupere su forma, es importante mencionar que el sobreamasado rompe las cadenas del gluten y la masa pierde sus cualidades, se vuelve pegajosa y es irreversible (Robles, 2017).

Efecto en los lípidos

Las grasas añadidas, así como los aceites de leguminosas al ser el producto extrusionado sufren un proceso de emulsión debido a la fuerte presión a la que son sometidas las finas gotas de grasa las cuales son recubiertas por los almidones y proteínas, quedando la grasa encapsulada. Generalmente las lipasas y peroxidasas son inactivadas durante el proceso de extrusión en condiciones normales, mejorando la estabilidad posterior del producto (Ortega y Bravo, 2017).

Algunos lípidos forman complejo con la amilosa lo cual reduce el carácter pegajoso del extruido caliente a base de almidón, así mismo manifiesta lo siguiente:

- Niveles de 0.5 a 1 % da lubricidad al producto evita que el almidón se degrade a humedades menores a 25%, que se vuelva pegajoso y que aumente la posibilidad de bloqueo del flujo.
- Reduce la expansión del pellet (conserva la estructura celular a niveles de grasa altos cuando la humedad es de 30-35%).
- Decrece la cantidad de grasa extraíble (se extrae 40-55% de la materia prima original y existe formación de complejos amilosa-lípidos, proteínas-lípidos).
- Da estabilidad al producto, aunque el resultado es contradictorio ya que inactiva lipasas, existe auto oxidación y destrucción de antioxidantes naturales.

Efecto en las vitaminas

Los carotenoides (vitamina A), la vitamina D y la vitamina E son significativamente afectados en su estabilidad durante el proceso de extrusión. Asimismo, manifiesta que el contenido de humedad tiene un gran efecto sobre la estabilidad de las vitaminas durante el proceso de extrusión, por lo general a mayor humedad la pérdida de vitaminas es menor. Las pérdidas de vitamina C pueden ser de hasta el 50% de acuerdo con las condiciones de la extrusión.

Las pérdidas vitamínicas de los elementos extruidos dependen del tipo de alimento, de su contenido de agua y del tiempo de la temperatura de tratamiento. Sin embargo, por lo general, en la extrusión en caliente y el enfriamiento rápido del producto a la salida de la boquilla, hacen que las pérdidas vitamínicas, y en aminoácidos esenciales sean relativamente pequeñas (Romero,2018).

Efecto en la fibra

En el caso del trigo se puede decir que la fibra del producto se solubiliza, incrementando la disponibilidad para su fermentación. Así por ejemplo cuando se extrusiona salvado el contenido en fibra soluble se incrementa significativamente. Varias observaciones indican que las paredes de las celulosas del producto extrusionado se adelgazaron y la superficie era más rugosa que la inicialmente de partida. Para conseguir efectos significativos sobre la fibra hay que procesar los productos bajo condiciones muy severas, cosa que no ocurre en condiciones de trabajo normales (Romero, 2018).

CAPÍTULO V

PÁGINA WEB EN EL APRENDIZAJE Y SU DISEÑO

El principal objetivo de este proyecto es elaborar un material didáctico en el cual los alumnos de las materias de Procesos de Manejo Mecánico de Sólidos y Laboratorio Experimental Multidisciplinario II puedan tener un mayor acercamiento al proceso de extrusión en industria de alimentos. Para lograr esto, comenzaremos describiendo que es un material didáctico, es entendido como el conjunto de medios a través de los cuales el maestro se vale para el proceso enseñanza aprendizaje con la finalidad de que los alumnos aprendan por medio de todos sus sentidos. Se pueden presentar en diferentes formatos: impresos, audiovisuales y digitales.

En cuanto a la presentación digital se conceptualiza como una vía de la educación a distancia, capacitado para el estudio de forma individual, provisto de guías didácticas de trabajo, a su vez éste puede complementarse con un tipo de servicio de asesoramiento. Asimismo, el material didáctico digital, está dirigido a los alumnos, para que estudien la asignatura de manera autónoma y éstos se desarrollan en soportes basados en: discos digitales (CDROM, DVD) y redes telemáticas (Internet, Intranets). Algunas características que presenta son: el hipertexto, multimedia, hipermedia y digitalización. La digitalización se percibe como la principal característica, la cual permite memorizar y gestionar interactivamente en el soporte de textos, sonidos e imágenes.

La forma más común y actual de difundir los objetos digitales es a través de la WEB. La Página WEB educativa, se conceptualiza como aquellos espacios o páginas en la www (World Wide Web, red informática mundial), que ofrecen: recursos, información y materiales relacionados con la educación. También se denominan espacios educativos, diseñados con la finalidad de facilitar aprendizajes y brindar recursos didácticos para el proceso enseñanza- aprendizaje (Moreno, López y Ramírez, 2014).

En relación con el desarrollo del aprendizaje significativo mediante el uso de las TIC, se concibe como "el proceso según el cual se relaciona un nuevo conocimiento o una nueva información con la estructura cognitiva de la persona que aprende de forma no arbitraria y sustantiva o no literal", se considera que cada sujeto construye activamente el significado de la nueva información en la medida que ésta se relaciona con las estructuras mentales que ya posee (conocimientos previos), formando parte de ellas para adquirir significado. Para producir aprendizaje significativo debe de existir una actitud significativa por parte del aprendiz y contar con material potencialmente relevante.

En el contexto educativo se han diferenciado diversos modelos basados en tecnología, uno de ellos es el blended learning, conocido también como aprendizaje combinado, modelo que implica un proceso de aprendizaje tanto en ambientes virtuales, donde es esencial la interacción con componentes tecnológicos y el internet, como también entornos presenciales con el apoyo de un profesor que dirige el proceso (Caballas, Alemán de la Garza & Gómez, 2012). A continuación, describiremos detalladamente el modelo blended learning.

Blended learning

Es el aprendizaje que combina el e-learning (encuentros asincrónicos) con encuentros presenciales (sincrónicos) tomando las ventajas de ambos tipos de aprendizajes. Este tipo de educación o capacitación implica utilizar nuevos elementos de tecnología, comunicación y nuevos modelos pedagógicos.

Al estar los contenidos en el LMS (Learning Management System o Sistema de gestión del aprendizaje), el alumno tiene mayor flexibilidad para acceder a ellos, puede acceder todas las veces que sea necesario y en los momentos que disponga. El docente o capacitador cambia su rol, deja de ser un expositor y fuente de conocimiento para convertirse en un guía. Por eso cuando hablamos de e-learning en general y de b-learning en particular hablamos del “Tutor”.

Para aplicar este modelo es importante considerar lo siguiente:

1. El docente o capacitador es, en este esquema, un tutor virtual, que no deja de cumplir con su rol de facilitador presencial. Con lo cual existe una retroalimentación (feedback) directa en los encuentros presenciales, pero también a través del aula virtual para estimular y guiar a los alumnos.
2. El tutor debe estar capacitado o capacitarse con nuevas tecnologías y con el entorno de enseñanza y aprendizaje.
3. Los materiales de esta aula virtual pueden ser materiales creados por los docentes. Sin embargo, el docente puede reutilizar materiales siempre y cuando los analice previamente, para asegurar que son contenidos apropiados y relevantes para su curso o materia, y que están en un soporte tecnológico que permitan ser accedidos desde cualquier dispositivo.

En la metodología b-learning, el docente no es la única fuente de conocimiento. Su intervención y guía sigue siendo importante para que los alumnos construyan el conocimiento. Sin embargo, ahora tiene otros roles como:

- Facilitar los contenidos apropiados del curso
- Estimular el aprendizaje fuera del aula física
- Guiar a los alumnos para obtener información confiable
- Personaliza el aprendizaje ofreciendo consultas, contenidos y actividades para que cada alumno avance y obtenga los conocimientos sin dejar de lado sus características, dificultades o necesidades (e-ABC, 2019).

En este proyecto se eligió la creación de una página web como material tecnológico, para esto se debe tomar en cuenta las características que debe tener para cumplir con el objetivo de ser educativas, a continuación, se describen cada una de ellas.

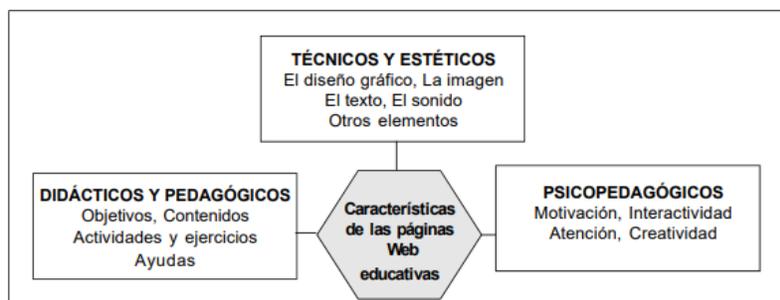


Figura 26. Características que deben presentar las páginas Web educativas.

Nota. Adaptado de Características que deben presentar las páginas web educativas por Torres, 2005.

Aspectos técnicos y estéticos

Resulta deseable que los espacios web presenten entornos originales, y que utilicen las crecientes potencialidades del ordenador y de las tecnologías multimedia e hipertexto, dicha tecnología usada con fines didácticos debe atender a diversos aspectos como son los que se consideran a continuación. La página principal será la base por la que fluirá la información, por ello, debe presentarse de forma ordenada. En ella tendrá que aparecer la estructura de contenidos o apartados que se desarrollen a través de los hipervínculos establecido con las páginas que complementen la información inicial. Se debe contextualizar la página inicial ofreciendo enlaces a instituciones, grupos, correo y además ofrecer un servicio estadístico para analizar el uso y el rendimiento de la Web.

La pantalla de un ordenador es un soporte de espacio limitado para la lectura, por esta razón hay que procurar que las páginas no sean excesivamente largas. Para evitar dicha situación se debe fragmentar la página en diferentes secciones, o usar índices de ancla. De esta forma, el usuario puede tener una idea global, aunque no abarque con la vista el contenido completo de la página.

Imagen

Las imágenes no deben aparecer únicamente como elementos decorativos, sino que deben complementar la información que aporta el texto. Si al prescindir del diseño gráfico no modifica sustancialmente su mensaje, es mejor usar texto que imágenes.

Texto

En los diseños de páginas web la información debe presentarse de forma diferente al mundo editorial, y por ello estableceremos una serie de planteamientos con los que el usuario pueda captar y percibir la información de una manera fácil.

Los textos deben estar organizados en párrafos cortos, no obstante, se debe procurar no romper abruptamente los párrafos, ni interrumpir la continuidad de las ideas que se exponen en ellos, también se pueden utilizar títulos, epígrafes o ladillos para marcar bloques de contenido, son recursos que anticipan y sintetizan los temas que se van a tratar. Asimismo, las sangrías, los saltos de línea y los interlineados, utilizados con consistencia, ayudan al lector a orientarse.

El uso de las mayúsculas va contra las normas en internet, se considera que se está emitiendo un mensaje de forma exaltada, por lo tanto, su uso debe limitarse a los títulos y encabezados, los subrayados podemos prescindir de ellos cuando no sean enlaces, ya que es una de las pocas convenciones universalmente aceptadas en la web. Los distintos colores y diferentes tipos de letras aportan información por sí mismos, ya que pueden servir para diferenciar los títulos de otros tipos de enunciados o distinguir los menús de navegación del texto de las páginas. Aun así, es conveniente que no presente una excesiva variedad de letras, de alineaciones y de colores en una misma página, pues estos recursos hacen que la lectura sea más complicada, asimismo, el tamaño de los textos deberá ser adecuado para su correcta legibilidad.

Sonido

El sonido puede ser variado: reproducciones naturales, sonidos ambientales (ecos, voces manipuladas artificialmente), banda musical, onomatopeyas, voz en «off» y silencios. Sin embargo, se aconseja que se emplee sonido sólo cuando sea necesario, pues los archivos de audio tienen un gran tamaño y hacen lenta la descarga. Las normas básicas que se consideran importantes para usar sonido en una página son:

- Dejar que el usuario elija si desea o no escuchar el sonido, especialmente cuando éste no sea relevante para la información que mostramos. Para ello, debe aparecer un enlace para activarlo y desactivarlo.

- Los botones de enlace deben ser los de uso más frecuente para el usuario.
- El usuario debe estar informado antes de descargar un archivo de audio de las características de éste, tales como tamaño, tipo de conexión a internet.

Otros elementos

Los sistemas de navegación y la forma de gestionar las interacciones con los usuarios determinarán en gran medida su facilidad de uso y amigabilidad, debe ser un entorno transparente que permita al usuario tener el control y si lo desea la navegación libre.

Es aconsejable facilitar la ruta de navegación al usuario con menús y barras de botones, para mostrarle la estructura de la Web. Las características que deben presentar son las siguientes:

- Los menús deben estar presentes en todas o en la mayoría de las páginas.
- La posición adecuada será la parte superior de la pantalla y en páginas largas en el colofón, y así evitar que el usuario tenga que usar la barra de desplazamiento.
- Evitar en lo posible los menús gráficos, pues retardan mucho la carga de la página y generalmente son más difíciles de interpretar. En el caso de usarlos, es aconsejable que se complementen con el texto.
- Los menús deben de contener siempre enlaces a las principales secciones de la web.
- La lista de enlaces debe aportar el correo electrónico y portada del responsable de la página.

Los diseños de las páginas no deben tener una excesiva saturación de objetos, para facilitar la navegación por la aplicación multimedia, aun así, es acertado la creación de iconos que comuniquen el mensaje sin necesidad de memorizarlos, su diseño debe tener el mismo perfil, proyectando siempre el mismo punto de incidencia de luz y agrupándolos en la parte inferior de la pantalla para realizar el menor número de movimientos posibles con el ratón. Deben ser fáciles de usar y auto explicativos, de manera que los usuarios puedan utilizarlos sin dificultad y ver realiza dos sus propósitos de localizar información, obtener materiales, encontrar enlaces, consultar materiales didácticos, realizar aprendizajes, por este motivo debe permitir la utilización de diferentes periféricos (teclado, ratón, joystick) para la interacción con el programa.

Aspectos didácticos y pedagógicos

Objetivos

Los objetivos que persiga la página web deben manifestarse en ella, deben aparecer definidos en la secuencia didáctica por los diseñadores/productores, para que, de este modo, se pueda comprobar la adecuación a los contenidos y al currículum de los alumnos. Nunca se pueden dar por supuesto estos objetivos por muy obvios que parezcan, pues la simple elaboración del material en soporte electrónico o en línea constituye una de las principales decisiones a tomar, y, por tanto, forma parte de la naturaleza intrínseca de estos materiales. Por otro lado, se trata de adecuar los objetivos que pretende el programa de aprendizaje a los usuarios. Los programas deben tener en cuenta las características de las personas a las que van dirigidas (desarrollo cognitivo, capacidades, intereses, necesidades) y sus circunstancias particulares.

Contenidos

Se trata de determinar la adecuación pedagógica de los objetivos y contenidos a los usuarios, a su nivel y al programa que está desarrollando. Los contenidos deben ofrecerse a través de una introducción breve y clara, dando una idea global del tema a tratar y sus antecedentes, deben presentarse en orden lógico, de los generales

a los particulares, y también por orden de importancia, con un desarrollo secuencial preciso. El volumen de información presentado tendrá que ser el suficiente para adquirir el dominio correcto de los contenidos y alcanzar los objetivos previstos para el programa.

La información que se presenta deberá ser correcta y actual, con una presentación bien estructurada y diferenciando adecuadamente los datos objetivos, las opiniones y los elementos fantásticos, los textos no tendrán faltas de ortografía y la construcción de las frases será correcta.

Aspectos psicopedagógicos

Motivación

Los espacios web deben resultar atractivos para los usuarios, y especialmente aquellos que sean de interés educativo, también denominados «material didáctico». Deben resultar motivadores para los estudiantes a fin de potenciar los aprendizajes, en este sentido, las pantallas y las actividades deben despertar y mantener la curiosidad y el interés de los usuarios hacia la temática de su contenido.

Interactividad

La red de redes fue creada con la finalidad de poder intercambiar información en cualquier momento y en cualquier lugar, a la vez que, para comunicar, potenciando la participación y el diálogo con los internautas y propiciando la interactividad, la implicación comunitaria. La comunicación en Internet es interactiva, es decir, garantiza un flujo continuo y recíproco de información entre emisores y receptores a través de canales de comunicación sin- crónicos o asincrónicos, tales como: foros, chats, listas de correos y juegos, son algunas maneras de fomentar la interactividad.

Atención

Se considera esencial el uso de contenidos de calidad y un diseño instruccional imaginativo y dinámico que evite el aburrimiento, para ello, el diseño de las pantallas debe ser general (exclusivamente la información pertinaz), claro y atractivo, sin exceso de texto y que resalte a simple vista los hechos notables, que al estudiante le llame la atención los elementos más significativos. El contenido debe presentarse con algún elemento original o un efecto de impacto. Hay que tratar de ser atractivos para ganar la atención y mantener la expectación, y la única forma de lograrlo es despertando y conectando con el interés de los receptores, sin caer en el error del «virtuosismo» que lleve al estudiante a distraerse de la información clave y significativa y a perderse en los detalles insignificantes.

Creatividad

La interacción en los espacios web debe potenciar el desarrollo de la iniciativa y el aprendizaje autónomo de los usuarios, proporcionando herramientas cognitivas para que los estudiantes hagan el máximo uso de su potencial de aprendizaje, puedan decidir las tareas a realizar, la forma de llevarlas a cabo, el nivel de profundidad de los temas y puedan autocontrolar su trabajo. Además, debe estimular en los usuarios el desarrollo de habilidades metacognitivas y estrategias de aprendizaje que les permita planificar, regular y evaluar su propia actividad intelectual, provocando la reflexión sobre su conocimiento y sobre los métodos que utilizan al pensar (Torres, 2005).

Una vez analizada la bibliografía acerca de los elementos que se emplean para que se considere un material didáctico apto para el aprendizaje, proseguiremos a diseñar la página apegándonos a esta información, por lo

tanto, a continuación, se describirá paso a paso del cómo se elaboró la página web del tema de “Extrusión en alimentos”.

Diseño de la página

1. Como primer paso se hace la elección de **WIX** como plataforma para el desarrollo de la página web, se eligió esta plataforma debido a que es de acceso gratuito y cuenta con un fácil manejo para el diseño de páginas web, está la podemos encontrar en el siguiente enlace: <https://es.wix.com/>
2. Crear una cuenta para acceder y así empezar con el diseño, es importante destacar que, para esto,
3. se hizo una elección de los subtemas que iba a contener la página, esto por medio de un resumen del trabajo escrito, a su vez se buscaron aplicaciones para poder hacer el diseño de imágenes en la cual se eligió **CANVA**, esta es una página en donde se pueden crear plantillas personalizadas de manera gratuita, la podemos encontrar en el siguiente enlace: <https://www.canva.com/>
4. Para la organización de los subtemas se tomó en cuenta el plan de estudios de la carrera de Ingeniería Alimentos específicamente de la materia de Procesos de Manejo Mecánico de Sólidos en el cual explica los subtemas y conceptos del proceso de extrusión que deberá conocer el alumno, a continuación, se muestra una parte del programa de la materia y específicamente la unidad 7 “**EXTRUSIÓN DE ALIMENTOS**”, la cual se tomó en cuenta para el desarrollo de la página.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO				
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN				
INGENIERÍA EN ALIMENTOS				
CUARTO SEMESTRE				
ASIGNATURA: PROCESOS DEL MANEJO MECÁNICO DE SÓLIDOS		CICLO:		ÁREA: INGENIERÍA APLICADA
NUMERO DE HORAS/SEMANA				
CARÁCTER: OBLIGATORIA	CLAVE 1432	TEORÍA 5	PRÁCTICA	CRÉDITOS 10
NUMERO DE HORAS/SEMESTRE				
TOTALES 80		TEÓRICAS 80		PRÁCTICAS
TIPO: TEÓRICO				
ORGANO INTERNO QUE COORDINA EL PROGRAMA DE LA ASIGNATURA:				
MODALIDAD: CURSO		SECCIÓN: INGENIERÍA EN ALIMENTOS		DEPARTAMENTO: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
ASIGNATURA PRECEDENTE:		NINGUNA		
ASIGNATURA SUBSECUENTE:		LABORATORIO EXPERIMENTAL MULTIDISCIPLINARIO II		
OBJETIVO(S) EDUCACIONALES:		Al finalizar el curso el alumno identificará los fundamentos teóricos de manejo mecánico de materiales sólidos, así como su aplicación en los procesos de separación mecánica o acondicionamiento en la industria de los alimentos.		
NUMERO DE HORAS	Unidad 7 EXTRUSIÓN DE ALIMENTOS			
	OBJETIVOS: El alumno aplicará los fundamentos teóricos de la extrusión en situaciones particulares en la industria de alimentos.			
10	7.1	Definición del proceso. Fuentes de energía. Conversión y fuentes externas.		
	7.2	Características de diversos equipos. Elementos comunes en el diseño. Función general de las partes que componen el diseño y aplicaciones.		
	7.3	Análisis del funcionamiento del extrusor. Interacciones principales entre el dado y el tornillo. Principios de selección.		
	7.4	Alimentos extruidos. Ejemplos de productos. Características de los productos terminados. Cambios de calidad durante el proceso		

*Figura 27. Programa de la materia de Procesos de Manejo Mecánico de Sólidos.
Nota. Adaptado de Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Ingeniería en Alimentos, UNAM.*

5. Una vez creada la cuenta se realizó el **SEO (Google)**, la **URL** y la descripción de la página, posteriormente se fueron diseñando los subtemas los cuales se organizaron en un menú, de igual manera el fondo de página, textos, imágenes y multimedia de la página es importante destacar que se

realizaron dos diseños uno para el uso de computadora y otro para el celular debido a que el layout es diferente para cada uno de ellos.

6. Al terminar el diseño se revisó en vista previa, para poder checar como se vería la página una vez publicada.
7. Se realizó una prueba de este como recurso para asegurar y verificar que no existan problemas con la página.
8. Por último, se adjuntó una encuesta para que cada visitante/alumno califique la página y con esto se dé una retroalimentación de la utilidad de esta y que aspectos se pueden mejorar.

La página creada la podemos encontrar en <https://extrusion-alimentos.wixsite.com/fesc>, a continuación, se adjunta una captura de pantalla de esta.

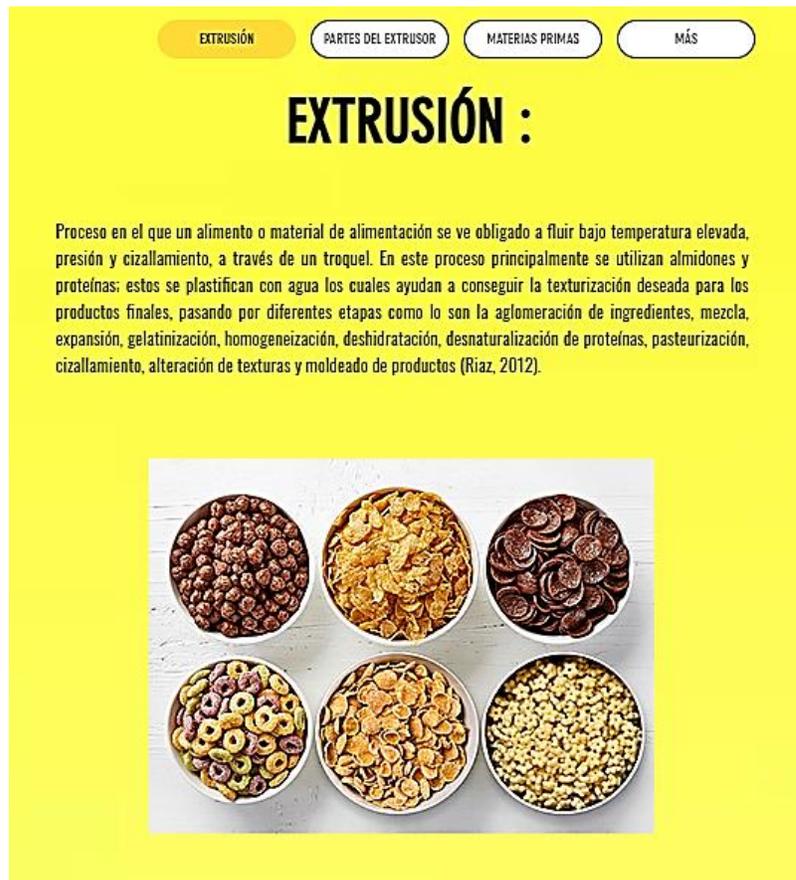


Figura 28. Página "Extrusión en alimentos".

Al finalizar todo el proceso anteriormente descrito se publicó la página, se dio un tiempo de 3 meses para recabar los resultados obtenidos y poder ver si el objetivo planteado anteriormente se cumplió, por lo tanto, a continuación, se presentan los resultados.

RESULTADOS

Es importante destacar que la encuesta fue contestada por 30 alumnos de la carrera de Ingeniería en Alimentos, los cuales están cursando la materia de Procesos de Manejo Mecánico de Sólidos y Laboratorio Experimental Multidisciplinario II.



Gráfica 1. Porcentaje de personas que estudian Ingeniería en Alimentos.

En el gráfico 1 se puede observar que el 97% de las personas que accedieron a la página y contestaron la encuesta, estudian la carrera de Ingeniería en Alimentos, el otro 3% se atribuye a aquellas personas egresadas de la carrera y que aún tienen interés en el tema, es decir, que la página puede ayudar a alumnos de la carrera y a otras personas que acceden a la red para conocer algún tema de interés, en este caso sobre la extrusión en alimentos.



Gráfica 2. Porcentaje de utilidad de la página en los alumnos.

En el gráfico 2 se puede mostrar que para todos los alumnos fue de gran utilidad el tema, es decir, que cuenta con una buena estructura, organización y con el material adecuado para la fácil comprensión de este, de acuerdo con Caballas, Alemán de la Garza & Gómez, 2012. Los sitios web de tipo formativo son óptimos para la construcción de aprendizajes significativos, éstos permiten la interactividad entre el entorno web y los estudiantes, facilitando el aprendizaje por descubrimiento con una enseñanza orientada a la construcción activa y participativa del conocimiento por los propios estudiantes, la motivación, la autonomía, la convivencia, la colectividad justifican el aprendizaje, apoyan la atención a la diversidad y regulan la conducta. Por lo tanto, es de suma importancia verificar que al aplicar un sitio web en el aprendizaje cumpla con el objetivo de ayudar a los estudiantes para una mejor comprensión de los temas.



Gráfica 3. Porcentaje de originalidad y diseño de la página.

En el gráfico 3 muestra que el 100% de los alumnos consideraron que es una manera original y didáctica para explicar la extrusión en alimentos de acuerdo con Caballas, Alemán de la Garza & Gómez, 2012. Concebir a la enseñanza como un proceso en el cual se acompaña al alumno en la construcción de aprendizajes significativos implica modificar los roles tradicionales del el docente y el alumno, debido a que expresan que el estudiante debe tener la capacidad para aprender; desaprender y reaprender, aplicar las técnicas del pensamiento abstracto, saber identificar y resolver problemas y desarrollar soluciones, así como estar capacitado en el dominio de las diferentes TIC, al cambiar este modelo pedagógico los alumnos encuentran interés lo que hace más fácil su aprendizaje y se realiza todo el proceso anteriormente mencionado.



Gráfica 4. Porcentaje de estructuración y el contenido de la página.

En el gráfico 4 se observa que el 90% de los alumnos calificó la estructuración y contenido como bueno y el 10% como regular, por lo tanto, se concluye que la planeación de este cumple con las características citadas por Torres, 2005 en donde nos explica las características de las páginas web las cuales son las siguientes:

1. Didácticos y pedagógicos (Objetivos, contenidos, actividades, ejercicios y ayuda)
2. Técnicos y estéticos (El diseño gráfico, imágenes, texto, sonidos, otros elementos)
3. Psicopedagógicos (Motivación, interactividad, atención, creatividad)

Al cumplir la mayoría de los puntos señalados se considera como una página web educativa de calidad.



Gráfica 5. Porcentaje de recomendación de la página.

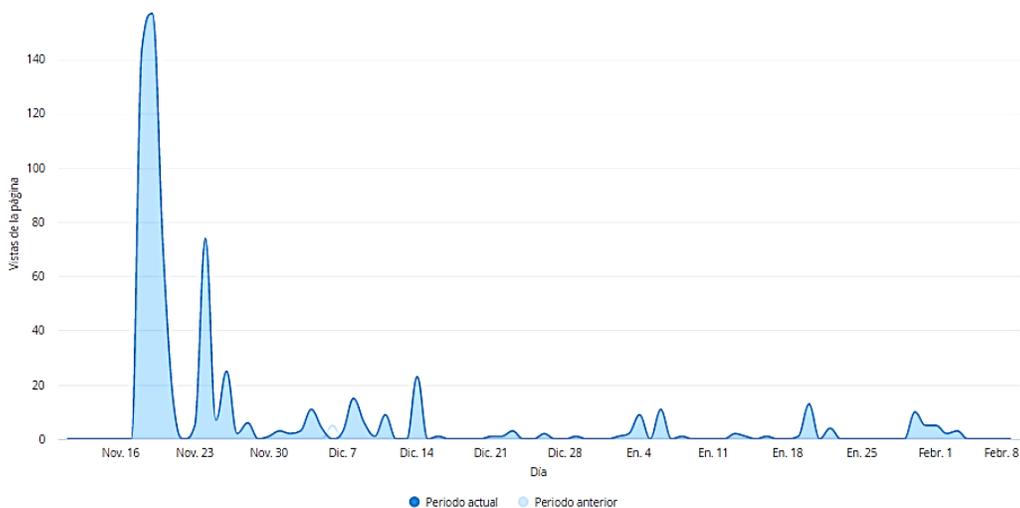
En el gráfico 5 muestra que 100% de los alumnos recomendarían la página a alumnos de la carrera de Ingeniería en Alimentos, esto para complementar su aprendizaje, además de facilitar la búsqueda del tema, debido a que se desarrolló el tema abordando la información más importante para la comprensión total del proceso.



Gráfica 6. Porcentaje de modificación en la página web.

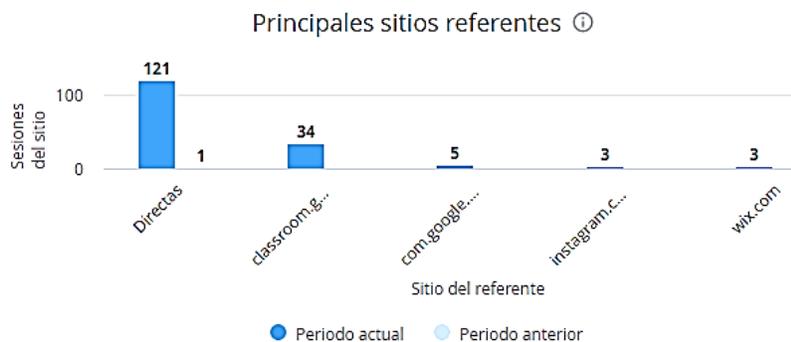
En el gráfico 6 se puede observar que el 83% de los alumnos no tienen algún comentario, sugerencia o modificación en la página web, mientras que el otro 17% les gustaría encontrar más imágenes respecto al proceso, así como videos.

De igual manera se revisaron las gráficas del resumen del tráfico en la página para poder comparar los resultados obtenidos de las encuestas, las cuales se presentan, a continuación.



Gráfica 7. Tráfico a lo largo del tiempo desde el día que se publicó la página hasta la fecha.

El gráfico anterior se puede ver el tráfico desde el 18 de noviembre del 2020 día en el que se publicó la página, hasta el 8 de febrero del 2021 y podemos observar que en los primeros 15 días se presenta el pico más alto en que accedieron más personas siendo de 157 personas en un día, esto se atribuye a que se dio a conocer la página entre los alumnos es por ello que se ve un descenso ya que solo se presentó a los alumnos que estaban cursando las materias de Procesos de Manejo Mecánico de Sólidos y Laboratorio Experimental Multidisciplinario II en el semestre 2021-1, por lo que se espera que en cada semestre tengamos picos altos y después descensos, ya que este gráfico solo representa el número de personas nuevas en el sitio. De igual manera podemos observar que en total fueron 167 personas que accedieron a la página, es importante tener en cuenta cuales fueron los sitios que contribuyeron que las personas pudieran conocer la página y acceder a ella, a continuación, se presenta una gráfica con cada uno de ellos.

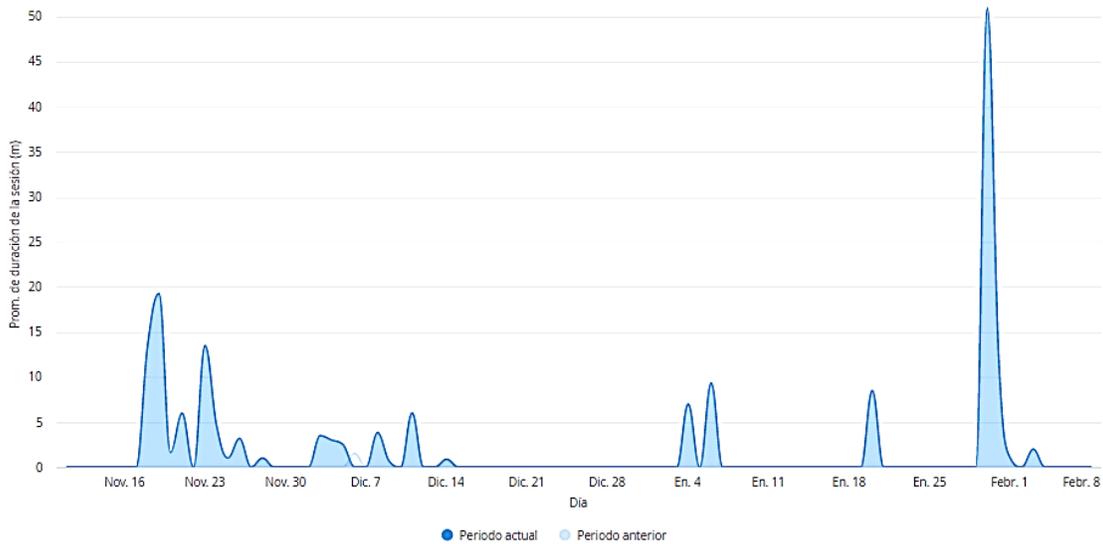


Gráfica 8. Principales sitios que visitan la página

En el gráfico 8 aparecen los principales sitios que están trayendo visitantes al sitio, teniendo que la mayor parte de los visitantes accedieron al sitio de manera directa, es decir a través del enlace que se les compartió siendo 122 personas, posteriormente por Google classroom con 34 personas y con menor número de personas esta Google search con 5 personas, Instagram y Wix con 3 personas.

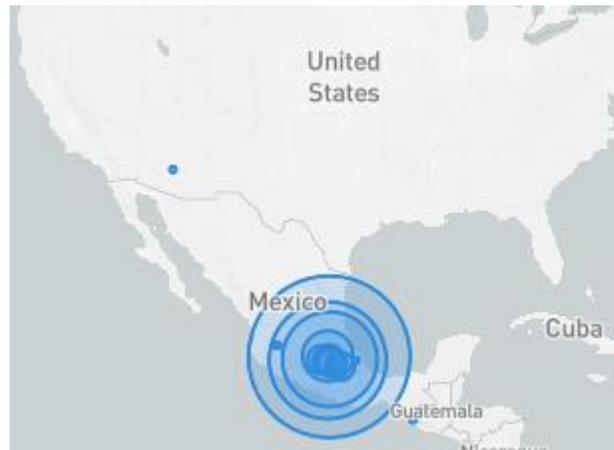
Esto nos ayuda a saber cómo se debe compartir la página para que más personas puedan tener acceso a la información y en que sitios se debe reforzar.

Posteriormente se presenta el gráfico donde se puede visualizar cuanto tiempo se tardan las personas en visualizar la página, el cual se presenta, a continuación.



Gráfica 9. Promedio de la duración de la sesión en minutos.

En el gráfico 9 se puede observar cuanto tiempo se tarda una persona en visualizar la página, teniendo que el promedio es de 6m con 09 s, es decir, que la mayoría de las personas obtienen el conocimiento general de extrusión en alimentos dedicando al menos 6 minutos, de igual forma podemos ver que hubo personas que dedicaron más tiempo siendo más alto el de 51m 14 s, esto se puede atribuir a que se analizó perfectamente la página y que fue de utilidad para poder extraer información.

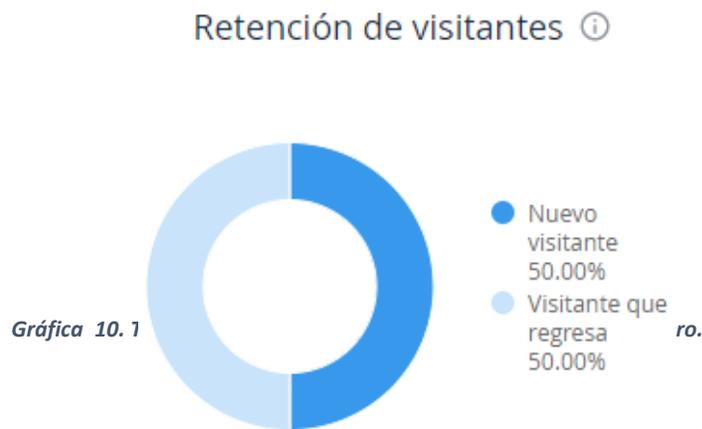


Mapa 1. Mapa mundial en donde se identifica desde que estados y países se accedió a la página.

En el panel de control podemos percibir los estados de la república y países en donde se accedió a la página, el cual se muestra en el mapa 1 con puntos azules, encontrando que los estados en el que accedieron la mayor parte de los visitantes fueron Estado de México, Ciudad de México, Hidalgo y Puebla, de menor Jalisco, Chiapas y Veracruz, estos corresponden a México y se tiene un registro de un visitante en Phoenix, Arizona.

Esto ayudará saber cuál es el impacto de la página en todo el mundo no solo en México, por lo que al ser una página de calidad y de alta visibilidad debido a que se puede tener acceso desde cualquier dispositivo sin importar el lugar ni la hora, se espera que esta se dé a conocer en diferentes partes del mundo en especial en países latinos y así cumplir con el objetivo planteado y no solo ayudar a los alumnos de Ingeniería en Alimentos de la facultad y México, si no al ser un sitio de acceso libre las personas pueden contar con la información y conocer el proceso.

Por último, se revisó el tráfico en el último mes el cual corresponde de enero al 8 de febrero del 2021, esto para analizar tanto los visitantes nuevos como los que regresaron a la página a consultar la información, teniendo que el 13 de enero se registró el punto más alto en el que regresaron siendo este de 8 personas en ese día, esto se puede ver mejor en la siguiente gráfica.



Gráfica 11. Retención de visitantes.

Continuando con lo antes mencionado se puede ver en la gráfica 10 la retención de los visitantes del mes de enero y febrero, teniendo que un 50% de los visitantes fueron nuevos y 50% de visitantes que regresaron a consultar el sitio, lo cual nos rectifica que la página es de gran utilidad para cada uno de los visitantes.



CONCLUSIONES

Una vez realizado el trabajo se concluye que se cumple con el objetivo planteado, ya que tuvo una respuesta positiva en los alumnos de la carrera de Ingeniería en alimentos, aunado a esto que gracias a su gran visibilidad pudo visualizarse en diferentes partes del mundo, así como en diferentes estados de la República Mexicana, por lo que se espera que siga ayudando a los alumnos de la facultad y personas interesadas en el tema, ya que es un página confiable en cuanto a la información que proporciona, debido a que se planeó desde la estructura, diseño, presentación y selección de cada uno de los temas, teniendo una página original ya que son pocas las páginas web en donde puedes encontrar toda la información acerca del tema y esta página recopila toda aquella información importante en el tema, añadiendo que se adjuntaron videos del extrusor que se encuentra en la Nave 2000 de la carrera de Ingeniería en Alimentos lo cual ayuda a los alumnos a visualizar el proceso de una forma más fácil, en cuanto a los alumnos que están cursando la materia de Procesos de Manejo Mecánico de Sólidos, podrán conocer el equipo con el cual trabajarán posteriormente y cuando cursen LEM II tendrán un conocimiento previo.

Es un sitio web en el cual cualquier alumno puede adquirir los conocimientos fundamentales del proceso de extrusión con una dedicación de al menos 6 minutos, lo cual les ayuda ya que minimiza el riesgo de encontrar información errónea o no útil en algún sitio, debido a que se tardarían mucho más tiempo en buscar cada uno de los subtemas descritos anteriormente y a su vez descartar la información que no sea útil. Por lo tanto, los profesores pueden usar esta herramienta ya sea de manera introductoria o en el cierre del tema para así tener un aprendizaje que sea atractivo y que los alumnos encuentren más interés en el tema, debido a que al introducir un modelo pedagógico nuevo rompemos un poco con el tradicional y creamos un ambiente en el cual los alumnos se sienten identificados, ya que cada vez son más las personas que utilizan la tecnología para mejorar su aprendizaje, pero es importante destacar que este modelo se basa en el “Blended learning”, donde se busca tener un material tecnológico y a su vez complementar este aprendizaje con ayuda de un profesor, ya que de esta manera se asegura que se cumple al 100% el proceso y el alumno obtiene los conocimientos necesarios del tema, para posteriormente poder aplicarlo.

RECOMENDACIONES

- Para complementar y ayudar el aprendizaje a los alumnos de LEM II, se podría crear un pequeño proyecto involucrando los conceptos básicos que están en la página con la teoría.
- Agregar videos y fotos para que se pueda visualizar de mejor manera el proceso.
- Aplicar un recuso evaluativo a los alumnos para ver la eficiencia de la página en el aprendizaje.
- Encontrar un sitio web en el cual se pueda crear una página que tenga mayor visibilidad en la web, eliminando anuncios y que la página sea más rápida.

IMPACTO EN LA DOCENCIA

Este trabajo ayudará a los docentes y alumnos principalmente de las materias de Procesos del Manejo Mecánico de Sólidos y Laboratorio Experimental Multidisciplinario II, debido a que se puede usar como complemento y reforzamiento del tema visto en el salón de clases, ya que cuenta con los temas descritos en el plan de estudios y de una manera conecta a los alumnos de Procesos del Manejo Mecánico de Sólidos con LEM II, esto porque cuenta con videos de la puesta en marcha del equipo que se encuentra en la Nave 2000,

de Ingeniería en Alimentos, lo cual ayudará y facilitará su comprensión del tema, en cuanto a los alumnos de LEM II, se podrán apoyar de la página para la creación de sus proyectos ya que explica de una manera específica el proceso, desde las variables que se encuentran involucradas y las materias primas más utilizadas así como el efecto que tiene cada una de las anteriores.

BIBLIOGRAFÍA

Anton, A. y Luciano, F. (2007) *Instrumental texture evaluation of extruded snack foods: a review evaluación instrumental de textura en alimentos extruidos: UNA REVISIÓN*, CYTA - Journal of Food. <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/11358120709487697?needAccess=true>.

Beltran, M. y Marcilla, A. (2013). *Extrusión*. Rúa.

Cabañas, G., Alemán de la Garza, L. y Gómez, M. (2012). *El manejo de sitios web con enfoque educativo para la construcción de aprendizajes significativos en los alumnos de Educación Primaria*. <file:///C:/Users/black/Downloads/Dialnet-Elmanejodesitioswebconenfoqueeducativoparalaconstr-5452165.pdf>

Cerron, F. (2017). *Seminario-Gelatinización y retrogradación*. http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Seminario-Gelatinizacionyretrogradacion_25483.pdf

Cisneros. (2000). *Curso de Extrusión*. Perú. Universidad Privada San Ignacio de Loyola.

Colina, M. (2013). *Extrusión*. UAM.

Cordoba, F. (2017). *Evaluación del proceso de extrusión de doble tornillo a partir del modelamiento y simulación en Dinámica de Fluidos Computacionales (CFD) para la obtención de alimentos*. Magister en Ingeniería Química. Universidad Nacional de Colombia.

Dussan, S., Hurtado, D. y Camacho, J. (2019). *Granulometría, Propiedades Funcionales y Propiedades de Color de las Harinas de Quinua y Chontaduro*. Scielo, vol.30.

e-ABC, Learning. (2019). ¿Qué es el Blended Learning?. <https://www.e-abclearning.com/blended-learning/>

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Plan de estudios de la carrera de Ingeniería en Alimentos. https://www.cuautitlan.unam.mx/licenciaturas/ing_alimentos/descargas/1432_pro_man_mec_solidos.pdf

Feduchi, Romero, Yañez, Blasco & García- Hoz. (2015). *Bioquímica*. (2da ed.). Editorial Panamericana

Guy, R. (2002). *Extrusión de los alimentos*. Acriba .

Gomide, L. (2017). *MAQUINAS E ENGENHARIA LTDA*. <https://www.ferrazmaquinas.com.br/es/conteudo/como-mejorar-mi-proceso-de-extrusion-beneficios-obtenidos-con-el-uso-de-extrusoras-de-doble-tornillo-luiz-gomide>

- Gutierrez, P y Bornacelli, J. (2008). *Metodología para el diseño de tornillos de máquinas extrusoras monohusillo*. Dirección de Investigaciones y Desarrollo Tecnológico.
- Harper, J. (1981). *Extrusion of foods*. UK: CRC.
- Justo, O. y Perez, J. (20 de 12 de 2006). *Tecnología de extrusión en alimentos*. Ciencia y Tecnología de los Alimentos, pág. 10.
- Luisillo, M. (2012). *Efecto del grado de retrogradación del almidón, en el contenido de fibra dietética, en masa y tortilla de maíz blanco nixtamalizado*. Tesis para obtener el título de Química de alimentos. Facultad de Química, UNAM.
- Maverick, T. (15 de Enero de 2019). *Allextruded*. <https://allextruded.com/entrada/recordando-la-historia-del-desarrollo-de-los-extrusores-19677/>
- Miti, E. (2020). *Dados extrusores de pasta*. Pasta biz. <https://pastabiz.com/accesorios-de-maquinas-de-pasta/dados-extrusores-de-pasta.html>
- Moreno, J. López, N. y Ramírez, R. (2014). *Elaboración de una Página Web Educativa para promover el uso y aplicación de Mapas Conceptuales como estrategia de enseñanza y aprendizaje*. DIVULGARE Boletín Científico De La Escuela Superior De Actopan, 1(2). <https://doi.org/10.29057/esa.v1i2.1592>
- Nieves, G (2020). *Extrusión en alimentos: Materias primas y su efecto en el proceso*. Tesis para obtener el título de Química Farmacéutica Bióloga. Facultad de Química, UNAM.
- Ortega, J., Bravo, E. (2017). *Efecto de la granulometría y formulación en la calidad de un snack extruido a base de arroz (Oryza sativa L.), quinua (Chenopodium quinoa Willd.) Y torta desgrasada de chía (Salvia hispanica L.)* Tesis para obtener el título de Ingeniero Agroindustrial. UNS.Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Pitchon, E., 1980. *Food Extrusion Process*. US Patent 4,225,630 filed May 24, 1978, and issued September 30, 1980.
- Reynaga A., J. L. Soto, P. Tarqui, E. Quiroz. (2012). *Prototipo de extrusor de quinua real para micro, pequeño y mediano productores*. IDH.
- Riaz, M. (2012). *Extruders in food applications*. U.S. CRC Press.
- Riaz, M. y Rokey, G. (2012). *Extrusion problems solved*. WP. Oxford Cambridge Filadelfia Nueva Delhi.
- Ruiz, M., Sanchez, M. y Quintero, A. (2017). *The Extrusion Cooking Process for the Development of Functional Foods*. Intech, 20. <https://www.intechopen.com/books/extrusion-of-metals-polymers-and-food-products/the-extrusion-cooking-process-for-the-development-of-functional-foods>
- Robles, B, (2017). *¿Qué función tiene el gluten en los alimentos?* <https://beatrizrobles.com/tecnologia-del-gluten/>
- Romero, M. (2018). *Proceso de extrusión y pelletización de alimentos*. (Tesis de licenciatura). Lima
- Tenorio, L. (Enero de 2009). *Obtención de un alimento balanceado extruido a partir de harina de pescado proveniente de Plecostomus punctatus*. (Tesis de posgrado). UNAM.

Torres, L. (2005). *Elementos que deben contener las páginas web educativas*. Pixel-Bit. Universidad de Sevilla.

Vílchez, L., Guevara, A., Encina, C. (2012). *Influencia del tamaño de partícula, humedad y temperatura en el grado de gelatinización durante el proceso de extrusión de maca*. Revista de la Sociedad Química del Perú. Lima, Perú.