



Universidad Mayor de San Andrés
Facultad de Ingeniería
Carrera de Ingeniería Industrial



REVISTA INDUSTRIAL 4.0
Edición Digital Nro. 4
Mayo 2022

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

M.Sc. Oscar Arnaldo Heredia Vargas	Rector
Phd. Maria García Moreno	Vicerectora
Ing. José Alberto Vásquez	Decano a.i. Facultad de Ingeniería
Ing. Teodoro Busch Dekovice	ViceDecano a.i. Facultad de Ingeniería
Ing. Franz José Zenteno Benitez	Director de Carrera Ingeniería Industrial

**Revista Industrial 4.0
Edición Impresa N° 4 Mayo 2022**

Comite Editor:
Ing. Fernando Sanabria Camacho
Ing. Grover Sanchez Eid
Ing. Mario Zenteno Benitez
Ing. Oswaldo Terán Modragón
Ing. Mónica Lino Humerez

Diseño Versión Impresa & Web:
Ing. Enrique Orosco Crespo

Imprenta:
Walking Graf

Deposito Legal:
4-3-68-20

Web:
<http://industrial.umsa.bo/revistaindustrial-40>
Email:
revistaindustrial4.0@umsa.bo

Dirección:
Av. Mcal. Santa Cruz, Plaza Del Obelisco.
Mezzanine, Edificio Facultad de Ingeniería.
Tel. 2205000 - 2205067 Int. 1402

PRESENTACIÓN

Con mucho orgullo presento el cuarto número de la revista Industrial 4.0, que responde al trabajo desarrollado por el Comité Editor y la contribución permanente de Investigadores docentes y universitarios que desarrollan sus actividades en diferentes áreas del conocimiento de la ingeniería. La regularidad de la publicación permite cumplir con los objetivos que tiene una carrera universitaria integrada: fomentar la investigación en todos los niveles de formación y difundir el trabajo multidisciplinario que llevan adelante.

Es importante que una investigación deba presentar alternativas de soluciones a problemas identificados, las que deben integrar los conocimientos tecnológicos especializados de los ingenieros en las diferentes áreas y no descuidar la opinión de la población la que es al final su beneficiaria.

Fomentar la investigación en la comunidad universitaria es un objetivo que tiene la carrera de Ingeniería Industrial conjuntamente con sus tres institutos de investigación y la unidad de posgrado; todos los graduados desarrollan actividades no curriculares de investigación como requisito previo la titulación, participan en forma activa en los diferentes proyectos que llevan adelante los investigadores, y como resultado varios trabajos son publicados por este medio.

En el presente número se toca temas relacionados con la construcción, industria de alimentos, seguridad industrial y salud ocupacional, ingeniería de mantenimiento y ecología; temas muy diversos pero que hacen a las diferentes áreas de formación de un ingeniero. Agradecer a los todos los que postularon y presentaron sus artículos para la divulgación.

Reiterar los agradecimientos a los miembros del Comité Editor, que de manera desinteresada dan su tiempo para revisar y aprobar los documentos que atienden la convocatoria que se realiza oportunamente.



Ing. MBA. Franz José Zenteno Benitez
DIRECTOR
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Ing. MBA. Franz José Zenteno Benítez
DIRECTOR
INGENIERÍA INDUSTRIAL

LA EXTRUSIÓN DE ALIMENTOS; SU COMPLEJIDAD Y TRANSDISCIPLINARIEDAD COMO OPERACIÓN UNITARIA

Ing. Hugo A. Mobarec Clavijo, ORCID: 0000 0002 0383 8373

Ingeniería Industrial, Universidad Mayor de San Andrés

Email: hmobcla@yahoo.com

Recibido: 13 de marzo; aprobado: 6 de mayo

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación es la de conocer y relacionar las variables más importantes, así como determinar las operaciones unitarias que participan en la extrusión de alimentos a fin de ligarlas en sus interacciones y tratar de comprenderlas cualitativamente en sus efectos combinados, entendiendo que el sistema no es solamente complejo, sino que nos lleva a la transdisciplinarización.

Se comienza definiendo el concepto de operaciones unitarias, el mismo que ha dado origen a la sistematización de las ciencias aplicadas en las ingenierías de producción.

Luego se define la extrusión de alimentos, las operaciones unitarias que participan, así como sus variables dentro del análisis sistémico. Se relacionan con los conceptos de complejidad y transdisciplina, como una emergencia de su estudio.

Se hace hincapié en los procesos de extrusión que involucran el cocido de los alimentos y sus variables dentro del proceso.

Finalmente, se desarrolla algunos aspectos de su conveniencia de utilización en Bolivia, así como los requerimientos transdisciplinares.

Palabras clave: Extrusión de alimentos, complejidad en operaciones unitarias, transdisciplina del proceso de extrusión.

ABSTRACT

The objective of the present investigation is to know and relate the most important variables, as well as to determine the unitary operations that participate in the extrusion of foods in order to link them in their interactions and try to understand them qualitatively in their combined effects, understanding that the system is not only complex, but also leads us to transdisciplinarization.

It begins by defining the concept of unitary operations, the same one that has given rise to the systematization of applied sciences in production engineering.

Then, food extrusion, the unit operations involved, as well as its variables within the systemic analysis are defined. They are related to the concepts of complexity and transdiscipline, as an emergency of their study.

Emphasis is placed on extrusion processes that involve cooking food and its variables within the process.

Finally, some aspects of its suitability for use in Bolivia are developed, as well as the transdisciplinary requirements.

Keywords: Food extrusion, complexity in unit operations, transdiscipline of the extrusion process.

1.- INTRODUCCIÓN:

¿Qué es operación unitaria?:

En un principio se consideraba que las industrias eran diferentes en sus procesos productivos, con principios diferentes, así, por ejemplo, la industria de panificación no tenía nada en común con la industria de cerámica a pesar de utilizar hornos similares. Con el paso del tiempo y sobre todo en el despertar de las ciencias conductistas en 1923, William H. Walker, Warren K. Lewis y William H. Macadams escribieron el libro Los principios de la ingeniería química y explicaron que las variedades de industrias químicas tienen procesos que siguen las mismas leyes físicas, proponiendo el concepto de "operaciones unitarias" [1].

Cada operación unitaria sigue las mismas leyes físicas, se puede observar que de acuerdo a un análisis cualitativo una bomba de agua es similar a una bomba de combustibles o de reactivos ante una reacción bioquímica, y su diseño es al menos parecido, utilizando los mismos principios físicos.

Creemos por ello que las operaciones unitarias conforman en su totalidad una parte fundamental de los procesos productivos, tanto en las preparaciones iniciales de la materia prima, sus reacciones y el acondicionamiento final para el producto terminado.

Se puede clasificar a las operaciones unitarias de la siguiente manera

- 1.- Procesos de flujo de fluidos, incluido el transporte de fluidos, la filtración y la fluidización de sólidos.
- 2.- Procesos de transferencia de calor, incluyendo evaporación e intercambio de calor.
- 3.- Procesos de transferencia de masa, incluyendo absorción de gases, destilación, extracción, adsorción y secado.
- 4.- Procesos termodinámicos, incluyendo licuefacción de gases y refrigeración.

5.- Procesos mecánicos, incluyendo transporte de sólidos, trituración y pulverización, y cribado y tamizado.

Apreciamos básicamente 3 tipos de transferencia, de cantidad de movimiento, de masa y de energía. Los procesos de producción complejos tienen una combinación de ellos, constituyendo una fase crítica, donde en muchos casos incluye reacciones químicas. De la concepción final del proceso productivo, dependerá el diseño y selección del equipo y maquinaria adecuada.

Se puede apreciar que cada operación unitaria tiene su correspondiente modelado matemático en base a las variables importantes que se deciden tomar en cuenta.

¿Qué es extrusión de alimentos?:

La extrusión de alimentos es hacer pasar alimentos, mezclas de ellos y/o aditivos, por un molde que es básicamente un orificio de forma específica consiguiendo que a través de este paso forzado el alimento tenga un cambio de forma y/o textura, y se lleven a cabo reacciones químicas como la cocción, generalmente este proceso es continuo y con ello sus rendimientos son comparativamente altos. De acuerdo con los equipos se tendrá cambios de temperatura y presiones que pueden llegar a ser altos, pero de tiempos de exposición muy bajos [2].

La fuerza que empuja a los alimentos generalmente es un tornillo o varios que solidariamente actúan en la masa de alimentos, este mecanismo actúa dentro de un “cañón”, que es el cilindro que contiene al tornillo sinfín, se puede controlar en primera instancia humedad, temperatura y esfuerzos de corte que genera las presiones a las que se desea someter al alimento.

Durante el paso dentro del extrusor los alimentos adquieren viscosidad, se plastifican y alinean las moléculas en la dirección de flujo, con ello se forman nuevas estructuras proteínicas, se desnaturalizan las proteínas y se gelatinizan los almidones. Este proceso ha sido descrito como uno de alta temperatura y corto tiempo, logrando la destrucción de las enzimas, microorganismos y sustancias indeseables poco resistentes al calor.

Si bien los equipos de extrusión son simples ya que su trabajo está centrado en un cilindro con un tornillo sinfín que genera energía mecánica por fricción, en realidad el proceso es muy complejo, ya que actúa a nivel molecular, consiguiendo en principio la fluidización de las mezclas de alimentos que en su interior sufren efectos de cambios de temperatura, presiones, de migración de películas de masa, de reacciones y cocción, con los respectivos mecanismos de transporte de cantidad de movimiento, masa y energía simultánea, pero que una vez estabilizado es de alta confiabilidad y producción elevada.

Tiene las ventajas de ser proceso de bajo costo, poca superficie donde instalar los equipos, siendo los alimentos que produce de una gran variación de formas, textura, colores etc. Su utilización de energía es menor, pudiéndose sacar alimentos secos y pre-cocidos.

Se puede automatizar con mucha seguridad de operación y con grandes capacidades de producción.

Jugando con la cantidad de agua y la temperatura se puede variar en los cambios organolépticos con eficiencia, y de mayor vida en anaquel.

Las presiones altas también generarán variaciones que en el momento de diseño del producto serán muy importantes.

El proceso de extrusión actualmente, ofrece un amplio rango de aplicaciones, generando alimentos pre-cocidos o preformados, cereales instantáneos para el desayuno, golosinas, alimentos para bebé, sopas instantáneas, proteínas vegetales texturizadas, sustitutos de carne, harinas compuestas y enriquecidas, sustitutos lácteos, productos de panificación, almidones modificados y gelatinizados, productos de confitería, pastas para sopas, espaguetis y macarrones, alimentos para animales y aditivos de uso.

¿Qué operaciones involucra la extrusión?

Según Riaz [2], las funciones más frecuentes en la extrusión de alimentos son:

Aglomeración, que consiste en la compactación en trozos distintos.

Desgasificado, se puede desgasificar las bolsas de gas en la masa del alimento.

Deshidratación: Se lleva a cabo una pérdida de humedad.

Expansión, es decir darle una apariencia porosa de acuerdo a las necesidades.

Gelatinización, sobre todo de los almidones en la masa del alimento.

Trituración, dentro del extrusor se tritura los ingredientes

Homogenización, dentro del extrusor se homogeniza a niveles muy eficientes la masa de alimentos tratada.

Mezclado: es evidente que con el paso de la masa por los tornillos se mezclan todos sus componentes.

Pasteurización y esterilización: sin duda al aplicar altas temperaturas en tiempos cortos se logra ese efecto.

Desnaturalización de proteínas: Por cocción sin problema y de manera muy efectiva y homogénea se puede realizar la cocción de los alimentos.

Moldeado: de fácil y regulable logro con el troquel al final del extrusor.

Cizallamiento: se consigue con la aplicación de los diferentes ángulos de la rosca de los tornillos.

Alteración de la textura: Por el uso de la extrusión se logra cambiar las texturas físicas y químicas.

Cocción térmica: De acuerdo al control de las variables se puede conseguir el grado de cocción deseado.

Saborización y regulación de aditivos: introduciendo al extrusor los aditivos formulados de manera correspondiente.

Estas son las principales funciones de un extrusor que corresponderán a cada caso según su diseño, de otra manera, si no fuera todo el proceso de extrusión, cada operación unitaria se deberá llevar a cabo independientemente y de forma

correlativa por separado, alargando el proceso e introduciendo variables de control por cada uno.

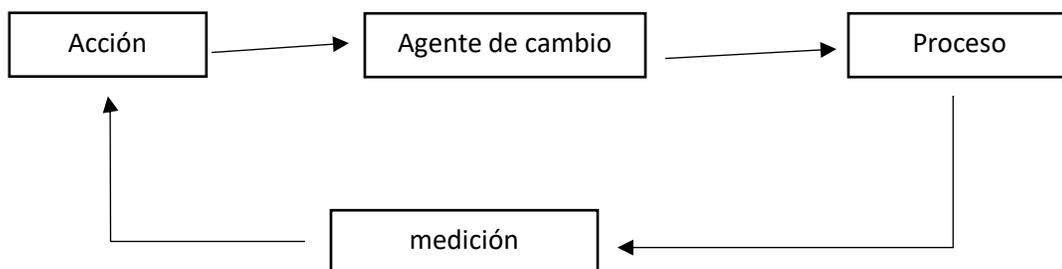
Es posible considerar que la mayor parte de las operaciones unitarias que se deben realizar con los alimentos al procesarlos, puedan ser llevados a cabo en una sola etapa al extrudarlos, y de esta manera se acortan tiempos y movimientos.

2.- DESARROLLO.

2.1 Elementos del proceso de extrusión:

Las características de un bucle de control de retroalimentación están expresadas en:

Grafico 1: Bucle de control de retroalimentación



Elaboración propia (2022)

Las mediciones de variables macroscópicas deberán ser lo más precisas posibles, pero son pocas ya que están relacionadas con, distribución de tiempos de residencia (Caudal másico), cantidad de cizalla o fuerzas de corte, perfil de temperaturas a lo largo de los tornillos, el perfil de presiones y el perfil de la velocidad del flujo de masa y la caída de presión a la salida del molde.

En la cocción por extrusión los almidones y las proteínas se plastifican con agua, son sometidos a fuerzas de cizalla hasta conseguir la textura que se busca.

Es aquí, donde se muestra la extrusión de alimentos en su dimensión compleja, es un sistema donde intervienen entre otras las variables de:

Parámetros de proceso: Configuración del tornillo, velocidad del tornillo, caudal de alimentación, caudal de agua, geometría del troquel, perfil de calentamiento y perfil de enfriamiento.

Materias primas: tipo de almidón, contenido y calidad de proteína, contenido en grasa, contenido de agua, absorción de agua, tamaño de partícula, formulación de materia prima, así como de aditivos.

Reacciones químicas básicas: Gelatinización de los almidones, desnaturalización y Texturización de proteínas, dextrinización. Etc.

Se dice que un sistema es complejo cuando, las variables que lo definen interactúan entre ellas de manera no fácilmente predecible, a menudo no son lineales y dependen de factores muy sensibles al cambio. En algunos casos se autorregulan y en otros tienden a algún desequilibrio.

Como vemos la extrusión de alimentos tienen muchas variables, las mismas que no solo interactúan, sino que en muchos casos actúan sinérgicamente obteniéndose resultados muy diferentes a los predichos en base a la lógica lineal, el factor importante que genera desequilibrios, es la iteración en el tiempo, de condiciones no reversibles que imponen estados de control muy rígido.

Casi siempre se utiliza controladores como el “Todo-Nada” [3]., los mismos que imponen desarrollo práctico y experimental previo para situarse en rangos de variables conocidos, es decir una vez iniciado el proceso no será muy flexible.

El extrusor, ya sea de uno o dos tornillos, gira dentro del barril impelido por un motor eléctrico y un sistema de gran reducción de velocidad que aumenta el torque. Tratar de modelar el interior de un extrusor es muy complicado, es muy difícil conocer a fondo las reacciones que se producen, así como no se puede predecir los fenómenos que no son lineales en su mayoría, pues resultan de interacciones de masa, energía, momentos, además de transformaciones físico químicas.

Como son muchos los efectos que se logran en un extrusor, es de observar que son pequeños los rangos iniciales para altos cambios y sobre todo poca la variación que se debe dar a las variables para obtener efectos deseados.

2.2 Variables Importantes:

Debemos analizar en principio que es más importante; si parte del proceso y/o las reacciones químicas y las materias primas que estamos utilizando, o los productos finales que deseamos obtener como resultado final del proceso.

En un principio, pretendemos controlar las características químicas del producto, con la inexistencia de sensores directos, que nos den la medida de estas características, es a través de las variables de producto como variables macroscópicas de control, estas están relacionadas con las variables de proceso. Las conexiones entre las variaciones de producto y las de proceso son aún poco conocidas y dependen mucho de la materia con la que se esté trabajando.

El operador llega a conocer “por experiencia” las relaciones empíricas entre estas variables. Estas variables “macroscópicas” son, la presión y la temperatura en los distintos puntos del recorrido del tornillo, su caudal, el torque que se somete a las mezclas que se extrudan, la forma del cabezal y del molde de salida. Así como la humedad del producto, esta última es muy sensible a las otras lo que genera un especial cuidado, ya el agua participa como insumo de reacción química, y de acción físico-química en las propiedades reológicas y de textura.

Será necesario en cada caso y en función de las características de la materia prima con la que estemos tratando, encontrar una matriz de correlación entre las variables de producto que queremos controlar y las variables de proceso que podemos controlar. La elección de los parámetros de las variables de proceso debe tener siempre en cuenta la estabilidad general del sistema. Una de las propuestas más ampliamente aceptada [4] propone considerar como variables de proceso: la potencia o el par del motor como indicador de la energía mecánica introducida, la presión a la salida del extrusor y la temperatura del producto. Tal y como se muestra en publicaciones posteriores [5] y [6], se mantiene la idea fundamental de las tres

variables de proceso (Potencia de motor, Presión y Temperatura a la salida) como variables principales y que caracterizan de manera más clara el comportamiento del sistema. Como variables manipuladas o de entrada al proceso tenemos: caudal de alimentación, tanto de materia prima como de aditivos, humedad en la alimentación, temperatura en diferentes puntos del proceso y velocidad del tornillo, también se puede medir las presiones a lo largo de la carcasa del tornillo.

2.3 Operaciones unitarias dentro del proceso de extrusión:

Cocción: La cocción por extrusión de productos alimenticios requiere la aplicación de calor por tiempo suficiente para completar las reacciones deseadas, usualmente la gelatinización de almidones. El calor puede ser agregado por conversión, convección o conducción, la transferencia de calor es rápida respecto a otros sistemas de calentamiento.

Una alta viscosidad es necesaria para un uso efectivo de la energía mecánica, a viscosidades menores, la conducción y convección son aún efectivas. La humedad es un factor importante también, ya que entre otros aspectos posee un efecto de enfriamiento, además de participar en la reacción misma, es un reactor en gelatinización y la fuerza motriz detrás de la expansión. Los otros dos factores más importantes en la cocción, junto con lo que es humedad y corte, son el tiempo y temperatura. A temperaturas elevadas, menos tiempo es necesario. El proceso de cocción puede ser caracterizado por su aplicación de temperatura, tiempo y humedad.

Texturización: La Texturización es el proceso que cambia la textura de las proteínas alineándolas y otras moléculas grandes a través de aplicación del esfuerzo de corte en el extrusor y moldes de salida, con la expansión del producto a la salida de éste.

Deshidratación: los productos que salen de la alta presión en el extrusor están frecuentemente a temperaturas por encima del punto de ebullición y pueden perder una cantidad substancial de humedad por evaporación. Aunque esto no es usualmente el propósito principal del proceso de extrusión, es frecuentemente útil en el producto, reduciendo la necesidad de secado mediante medios menos

eficientes. Hasta 8 % de humedad puede ser removido del producto por evaporación conforme sale del extrusor (Aún más si se aplica presión de vacío).

Mezclado: cuando están adecuadamente configurados con elementos para mezclar a lo largo del tornillo, los extrusores son buenos para combinar ingredientes en sistemas viscosos. Esto es usualmente bien utilizado en la parte posterior del extrusor donde las corrientes de líquidos y sólidos se unen. En extrusores de un solo tornillo, un buen mezclado requiere tornillos bien llenos, para desarrollar corte.

Transferencia de masa: el vapor u otro gas sometidos a una súbita caída de presión puede ser una forma efectiva de remover constituyentes volátiles como lo son sabores no deseados. Los orificios de ventilación y dados sirven para este propósito.

Operaciones secuenciales: el arreglo lineal del tornillo del extrusor, se presta a una serie de operaciones unitarias en una sola unidad.

2.4 Uso de extrusores para alimentos en Bolivia:

En Bolivia se usa extrusores desde los más simples a los más complejos de varios tornillos, El procesamiento de cárnicos, por ejemplo, utiliza extrusores de pistón y de tornillo, tanto en la molienda, como en la embutición.

Los extrusores mono-tornillos se utilizan para la fabricación de piensos de uso animal, así como para la extrusión de maíz.

Los de doble tornillo son los más utilizados, sobre todo porque pueden procesar mezclas íntimas de harinas de cereales, lo que significa que pueden jugar con las composiciones dentro de medianos márgenes.

3.- ANÁLISIS.

3.1 Visión de la extrusión de alimentos a través de la complejidad:

El principio sistémico liga el conocimiento de las partes al conocimiento del todo “el todo es más que la suma de las partes”, siendo la extrusión de alimentos una suma de todas sus variables que generan un producto muy diferente a las interacciones particulares de cada una de ellas. Se puede considerar que la salida del producto es una “emergencia” con cualidades muy diferentes a las predecibles por solo cada una de sus variables.

El principio hologramático se podría interpretar como, que el producto final obtenido por la extrusión de alimentos es una consecuencia de las interacciones desde el principio del proceso, pero a su vez este producto final está determinando los valores de las variables en el proceso.

Este efecto se puede apreciar mejor con la aplicación del principio del bucle retroactivo que permite el conocimiento de los procesos auto-regulados, ya que es un proceso con la capacidad de lograr auto controlarse con los rangos de variables [7].

3.2 Requerimientos transdisciplinarios:

El objetivo final es entender cómo la ingeniería con enfoque transdisciplinar en general y específicamente en la extrusión de alimentos nos permite un análisis más completo de un determinado proceso, desde la concepción de que todo sistema está inmerso en la complejidad como modelo de pensamiento.

Se trata de ir más allá del conocimiento que nos aporta las disciplinas como consecuencia de la fragmentación fenomenológica de la aplicación de las ciencias conductistas y reduccionistas [8].

La transdisciplina no solo se da en este caso entre ingenierías, como ser la Ingeniería química, industrial, mecánica, etc. Sino en otras disciplinas que abarcan aspectos sociales, estudios de mercados, análisis de comportamientos culturales,

etc. Que al final resultan en una expresión de todo el proceso, la transdisciplina nos exige conocer el entorno completo del desarrollo del sistema productivo.

La transdisciplina como enfoque y como recurso permite la constructiva relación de saberes tanto disciplinares como otros que nos lleva a entender que un proceso desde ya complejo, se relacione con las necesidades y costumbres de la sociedad boliviana

El ingeniero que esté a cargo del uso de un extrusor de alimentos requiere de creatividad y capacidad para observar distintos detalles en las diversas situaciones que aborda, en especial para los procesos investigativos. Debe considerar un enfoque transdisciplinar que vaya de acuerdo no solo al uso de las materias primas y los productos que requiere obtener, sino sobre todo estar en equilibrio con su entorno y con las costumbres y tecnología del ambiente.

3.3 Posibilidades para los alimentos bolivianos:

La producción de cereales extruidos está creciendo en todo el mundo, Bolivia es productor de algunos cereales de primerísima calidad, con el proceso de extrusión no solo se puede conseguir grandes producciones, sino calidades competitivas aún para la exportación y la sustitución de importaciones; algunas empresas dentro del país lo vienen haciendo muy competitivamente.

Si bien la cocina tradicional tiene una gran variedad e importancia en nuestro medio, se puede conseguir metodologías de extrusión que optimicen el proceso global, como por ejemplo la producción de pitos de cereales andinos que tienen una tecnología ancestral muy definida, especialmente para la quinua y la cañahua.

Se ha podido producir pitos de estos cereales con las características tanto de composición, textura y sabor por medio de extrusión.

También con la cocción por extrusión se puede obtener harinas pre-cocidas de manera de simplificar otros procesos, al introducirse como productos intermedios industriales.

La combinación de cereales y otros granos como las oleaginosas apenas han sido analizadas en este mundo de posibilidades, constituyen una invitación para desarrollar tecnología en tiempos actuales, dando soluciones oportunas, baratas y de grandes producciones.

Sin duda converger en el uso de los extrusores, no es solo un requerimiento productivo, es la integración de todos los aspectos transdisciplinarios que al final logrará un equilibrio sostenible con el ambiente y las costumbres sociales.

3.4 Características técnicas:

A pesar de la complejidad del proceso de extrusión estos tienen las siguientes características:

1) Gran versatilidad: Pueden ser elaborados una amplia gama de productos, mediante la combinación de distintos ingredientes y condiciones operativas, que difícilmente puedan generarse por otros procesos

2) Alto rendimiento productivo: Proceso continuo que realiza simultáneamente operaciones de mezclado, cocción, Texturización y secado parcial. Asimismo, requiere de poca mano de obra y espacio para su instalación

3) Eficiente utilización de la energía: El sistema opera a una humedad relativamente baja y la operación sirve además de cocimiento

(El consumo de energía es del orden de 0,02 a 0,1 KW/h*kg de producto)

4) Permite el desarrollo de productos con de múltiples características texturales.

5) Alta calidad nutricional del producto: Proceso de alta temperatura y corto tiempo (HTST) que evita daños en componentes sensibles en el alimento

6) Proceso favorable al ambiente: No se generan efluentes que deban ser tratados.

4.- CONCLUSIONES:

1.- El proceso de extrusión de alimentos engloba varias operaciones unitarias, las que, junto a las variaciones de composición de la materia prima e insumos, y de las variables de control, generan un sistema altamente complejo, en la producción, además de estar ligada a factores transdisciplinarios que merecen constantes retroalimentaciones.

2.- Aceptar y observar desde esa complejidad, nos lleva a la transdisciplinarización como consecuencia de integrar varias disciplinas, conocimientos, saberes, etc. que redundan en un mayor enriquecimiento creativo de la aplicación de esta tecnología.

3.- En Bolivia el uso masivo de la extrusión de alimentos, genera efectos de competitividad, y baja de costos, además de otros efectos que mejoraran la calidad y precios.

4.- La tecnología de extrusión de alimentos es muy amigable con el medio ambiente, ya que no genera grandes cantidades de residuos. Esto, junto con el dialogo cultural de los saberes y usos de alimentos de cereales y oleaginosas con la sociedad tendremos equilibrios ecológicos sostenibles.

5.- REFERENCIAS:

- [1] WALKER, L. - McADAMS & GILLILAND, Principles of Chemical Engineering, McGraw-Hill Book Co.
- [2] RIAZ MIAN N. Extrusores en las aplicaciones de alimentos. España, Zaragoza: Acribia. 3ra edición. 2014
- [3] Gutiérrez & Iturralde, 2017 Manual de Instrumentación y Fundamentos Básicos de Instrumentación y Control Primera Edición, 2017 Editorial UPSE.
- [4] Kulshreshtha, Manoj K., Zaror, Claudio A. and Jukes, David J., (2017) "Automatic control of food extrusion: problems and perspectives". Food Control, April. 2017.
- [5] Lu, Q., Mulvaney, S.J., Hsinch, F. and Huff, H.E., (2018) "Model and strategies for computer control of a twin-screw extruder". Food Control, 2018.
- [6] Singh, Bhajmohan and Mulvaney, Steven J., (1994). "Modeling and process control of twin-screw cooking food extruders". Journal of Food engineering 2da edición. (1994).
- [7] MORÍN, E. Introducción al pensamiento complejo. Buenos Aires: Gedisa, 1995.
- [8] Nicolescu, Basarab (1 de enero de 2002). Manifiesto of Transdisciplinarity. SUNY Press. ISBN 9780791452615.

6. BIBLIOGRAFÍA:

Arias G., R. M., Pérez P., G. y Durán de B., Condiciones de operación de extrusores de tornillo simple para mezclas de harina de trigo. Tecnología, Ciencia, Educación. (2007).

Bird, r.b., stewart, w.e., and lightfoot, e. N., Transport Phenomena, John Wiley & Sons, Inc., N. Y. 2007.

Campbell-Platt, G. Ciencia y tecnología de los alimentos EAN9788420011769ISBN978-84-200-1176. 2017.

CHAPMAN, Heat Transfer, 2a. De. Macmillan, N. Y. 1967.

CENGEL YUNUS A., Transferencia de Calor y Masa, Tercera Edición, McGrawHill, 2007.

Dravet F., Castro G. Transdisciplinariedad y Educación del Futuro HAL CCSD ; Universidade Catolica de Brasilia. 2020.

FOUST, WENZEL, CLUMP, MAUS & ANDERSEN, Principios de Operaciones Unitarias, Jonh

Fore D., Young G. Tecnología de Extrusión para Alimentos y Piensos: Teoría de la Extrusión: Un Enfoque Aplicado. Editorial Food Industry Engineering. 2021.

Fox & McDONALD, Introducción a la Mecánica de Fluidos, Jonh Wiley & Sons Inc. Wiley & Sons Inc

Ramesh K. Shah, Dusan P. Sekulic Fundamentals of Heat Exchanger Design. Editor John Wiley & Sons, 2003.

Guerrero A., Zarzosa H, Operaciones Unitarias En La Industria Alimentaria, Dextra Editorial. 2021.

GILES, R.V., Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas, Schaum McGraw-Hill Book Co.

GOODING, N., Balance de Materia y Energía, U. Nal., 1993.

Harper, J. Food extruders and their applications. Extrusion cooking. AACC. St Paul. Minn, 1989.

Hernández B., Fundamentos Físicos Para La Ciencia De Los Alimentos. Acribia Editorial, 2018.

Janssen, L.P.B.M., (1986) "Models for cooking extrusion". Food Engineering and Process Application, Unit Operations Applied Science Publishers, Ltd.

KERN, Donald. Procesos de Transferencia de Calor. Trigésima primera reimpresión. Mexico. 2010

M. Max-Neef. "Transdisciplina, para pasar del saber al comprender". Enero, 2015. [En línea]. Disponible en: <http://disi.unal.edu.co/~lctorress/PSist/PenSis07.pdf>

MATAIX, C., Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas, Editorial Harla 2017.

McCabe, W.L.; Smith, J.C.; Harriot, P. Operaciones unitarias en ingeniería química. McGraw-Hill. Serie: Ingeniería química, 2007. 7ª edición.

Perry, Robert. H.;Green, Don W. Manual del ingeniero químico (4 tomos). McGraw-Hill, cop. 2001. Madrid.

Riveros A., Vergara M., Crespo F. Las diversas definiciones de la transdisciplina. 2020.

TORREALBA, C.; PÉREZ, P.; CASTILLO, N. El pensamiento complejo y la transcomplejidad: visión emergente en el desarrollo de un enfoque epistemológico en la investigación educativa. Revista Arbitrada del Centro de Investigación y Estudios Gerenciales, n. 33, p. 139-154, sept. 2018.

WELTY, J.R., Transferencia de Calor Aplicada a la Ingeniería, John Wiley & Sons. Ed. Limusa 2009.

WELTY, J.R., WICKS, Ch and WILSON, R. , Fundamentals of Momentum, Heat and Mass transfer. 2009.



ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA
Ministerio de Educación
Mamerto Gómez Franco
Yachay Kambacha
Yachay Kambacha

00056

MINISTERIO DE
educación
ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA

MERCOSUR **cnacu**

LA COMISIÓN NACIONAL DE ACREDITACIÓN
DE CARRERAS UNIVERSITARIAS
*En sujeción y al amparo de la Ley N° 870 de la Educación "Avelino Siñani - Elizardo Pérez,"
del 20 de diciembre de 2010*

CERTIFICA

Que la Carrera de:
INGENIERÍA INDUSTRIAL
de la
**UNIVERSIDAD MAYOR DE
SAN ANDRÉS**
con sede académica en la ciudad de LA PAZ, ha cumplido
los criterios establecidos para la
ACREDITACIÓN
al Sistema **ARCU - SUR**, del **MERCOSUR EDUCATIVO**
*Este reconocimiento de la Calidad Académica tiene alcance Regional en el MERCOSUR,
con validez de un período de seis (6) años.*
La Paz, septiembre de 2019

Msc. Edmundo Cordero Rodríguez
Presidente de la Comisión Nacional de
Acreditación de Carreras Universitarias de Bolivia

Msc. Juan Carlos Rodríguez, Apolo
Vicepresidente de la Comisión Nacional de
Acreditación de Carreras Universitarias de Bolivia



Todos los Derechos Reservados, 2022
La Paz - Bolivia



Av. Mcal. Santa Cruz N° 1175
Plaza del Obelisco
Mezzanine, Edificio Facultad de Ingeniería
Tel. 2205000 - 2205067 Int. 1402
Web: industrial.umsa.bo
Email: ingeindustrial@umsa.bo
ingeindustrialumsa@gmail.com