



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN



**"EL PROCESO DE EXTRUSION: UNA ALTERNATIVA
TECNOLOGICA APLICADA EN LA ELABORACION
DE PRODUCTOS ALIMENTARIOS"**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERIA EN ALIMENTOS
P R E S E N T A :
EDITH BARRAZA SEGOVIA

ASESORA: ING. LAURA M. CORTAZAR FIGUEROA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1993

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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 está 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.

INDICE

	N° Página
Indice de tablas.	4
Indice de figuras.	6
Introducción.	7
Objetivos.	8

CAPITULO 1

1.	Generalidades sobre el proceso de extrusión.	9
1.1	Definición	
1.2	Aspectos históricos de la extrusión	
1.3	Aspectos económicos	11

CAPITULO 2

2.	Sistemas de extrusión.	14
2.1	Componentes básicos	
2.1.1	Tolva alimentadora	
2.1.2	Alimentador	
2.1.3	Mezclador	
2.1.4	Sección extrusora:	15
2.1.4.1	Tornillo	
2.1.4.2	Barril	
2.1.5	Inyectores de agua y vapor	17
2.1.5.1	Chaquetas del barril	
2.1.6	Dado o boquilla final	18
2.1.7	Cortador o cuchilla con velocidad variable	
2.1.8	Transportador	
2.1.9	Controles de operación.	19
2.1.9.1	Variables que intervienen en el proceso de extrusión.	
2.2	Descripción de la operación.	21
2.2.1	Zona de alimentación	22
2.2.2	Zona de transición	
2.2.3	Zona de cocción o "metering section"	23
2.2.3.1	Flujo de arrastre	
2.2.3.2	Flujo por presión	
2.2.3.3	Flujo neto	

2.3	Clasificación de los extrusores con base en:	29
2.3.1	Características funcionales.	
2.3.1.1	Extrusores de pasta	
2.3.1.2	Extrusores formadores de alta presión	
2.3.1.3	Extrusores cocedores de bajo corte	
2.3.1.4	Extrusores-Collets	
2.3.1.5	Extrusores cocedores de alto corte	
2.3.2	Características termodinámicas.	32
2.3.2.1	Extrusores autógenos	
2.3.2.2	Extrusores isotérmicos	
2.3.2.3	Extrusores politrópicos	
2.3.3	Características de humedad	32
2.3.4	Características estructurales	34
2.3.4.1	Extrusores de pistón	
2.3.4.2	Extrusores de cilindro	
2.3.4.3	Extrusores de tornillo	
2.3.4.4	Extrusión dual	

CAPITULO 3

3.	Ventajas y desventajas del uso del extrusor	36
3.1	Bajo costo	
3.2	Versatilidad.	37
3.2.1	Cereales	
3.2.2	Tubérculos	
3.2.3	Almidones	
3.2.4	Materias primas con un alto contenido de proteínas	
3.2.5	Otras materia primas	
3.3	Alta productividad y calidad del producto obtenido	41
3.4	Mantenimiento y sanidad	43
3.5	Equipo auxiliar	44
3.6	Consumo de energía.	

CAPITULO 4

4.	Aplicaciones en la industria alimentaria	45
4.1	Botanas	
4.1.1	Collets o churritos de maíz horneados	50
4.1.2	Collets o churritos de maíz fritos	54
4.1.3	Botanas de papa	54
4.1.4	Tercera Generación.	55

4.2	Cereales para desayuno	55
4.3	Harina para tortillas de maiz	58
4.4	Características generales de los equipos de extrusión.	63
4.4.1	"Anderson-Ibec"	63
4.4.2	"Appropriate Engineering"	65
4.4.3	"Bonnot"	66
4.4.4	"Brady"	67
4.4.5	"Dorsey-McComb"	68
4.4.6	"Insta-Pro"	69
4.4.7	"Manley"	70
4.4.8	"Sprout-Waltron"	
4.4.9	"Wenger"	72
4.4.10	"Chihuahua I"	76
	Conclusiones	77
	Bibliografía.	79

INDICE DE TABLAS.

Nº	Titulo	Página
1	Costos económicos del proceso de extrusión.	12
2	Relación del diámetro del rotor y la altura del álabe con respecto al tipo de extrusor y el producto elaborado	16
3	Diámetros y longitudes de los extrusores Anderson.	17
4	Relación entre la distribución de tamaño de partículas y el grado de cocción dado en el extrusor.	27
5	Datos de operación típicos para extrusores clasificados de acuerdo a sus características funcionales.	31
6	Clasificación del equipo de extrusión en base al contenido de humedad de los ingredientes.	33
7	Elaboración de pastas para la producción de "quenelles" con base en harina de trigo sin la utilización del proceso de extrusión.	36
8	Elaboración de pastas para la producción de "quenelles" con base en harina de trigo con la utilización del proceso de extrusión.	37
9	Efectos del procesamiento de harina de soya sobre algunos nutrientes.	42
10	Cuenta bacteriológica de una mezcla de cereales rica en proteína cocida en extrusores Sprout-Waldron y Wenger.	43
11	Especificaciones típicas para la granulación del malz usado en la producción de "collets" horneados.	50

12	Análisis proximal del maíz para uso en la elaboración de collets horneados.	51
13	Cobertura tipo Queso Cheddar para "collets" horneados.	53
14	Análisis proximal de alimentos industrializados.	62
15	Capacidades de producción del extrusor Anderson-Ibec.	65
16	Capacidades de producción de los extrusores Bonnot.	67
17	Descripción del extrusor-cocedor Sprout-Waldron.	71
18	Equipo disponible en la planta piloto de la Cía. Wenger.	73
19	Tipo de productos elaborados según el modelo de extrusor utilizado de la Cía. Wenger.	74
20	Capacidades de los extrusores Wenger disponibles.	75
21	Extrusores disponibles en CIATECH.	76

INDICE DE FIGURAS

<u>Nº</u>	<u>Título</u>
1	Componentes básicos en los sistemas de extrusión.
2	Configuraciones de tornillo-barril en los sistemas de extrusión.
3	Características de un tornillo para el extrusor.
4	Secciones que componen el sistema de extrusión.
5	Componentes del flujo de arrastre.
6	Extrusión dual
7	Elaboración de botanas homeados. Segunda generación.
8	Elaboración de botanas fritos. Segunda generación.
9	Elaboración de botanas. Tercera generación.
10	Elaboración de botanas fritos-inflados. Tercera Generación.
11	Proceso de elaboración de cereales para desayuno (RTE).
12	Diagrama esquemático de los procesos de extrusión y nixtamalización para el maíz.
13	Construcción típica de tornillos y barriles segmentados del extrusor Wenger.

INTRODUCTION.

México es un país que requiere implantar tecnología a bajo costo para la elaboración de alimentos con un incremento en el valor nutritivo y sin deterioro de estos.

El proceso de extrusión, cuya aplicación estuvo inicialmente limitada a la industria de los plásticos, resulta ser un método económico para la elaboración de ciertos alimentos, como por ejemplo la industrialización de los cereales y oleaginosas. (1)(2)

Los primeros productos alimenticios extrudidos fueron las pastas, para las cuales simplemente se mezclaba harina de semolina con agua y/o vapor y se pasaba a través de una boquilla a alta presión. (8)(9) La cocción, casi instantánea, era alcanzada bajo una operación continua que provocaba un daño mínimo a los elementos nutricionales sensibles al calor. (10)

Actualmente, el proceso de extrusión puede ser controlado sobre un amplio rango de condiciones de operación y es un convertidor de energía eléctrica o mecánica en energía térmica muy eficiente, además de tener características útiles como secador. (16)

El proceso de extrusión ha demostrado su vasta aplicación dentro de la industria alimentaria debido a la gran cantidad de ingredientes, texturas, formas y densidades de los productos que es capaz de procesar, así mismo es un proceso muy versátil que bajo las condiciones mínimas de higiene y la diversidad de materias primas a utilizar puede producir una gama de productos alimentarios (con o sin suplementos proteicos) como cereales para desayuno, alimentos granulados instantáneos, bebidas en polvo, alimentos infantiles, proteínas vegetales texturizadas, harinas precocidas, etc. (9) Con diferentes variables de proceso puede producirse una amplia variedad de alimentos para animales, ganado, peces y animales de laboratorio.

Los alimentos precocidos por extrusión, además de eliminar el prolongado tiempo de preparación, logran una considerable ahorro económico en combustible sobre todo en lugares donde no se dispone de gas o electricidad. (10)

El proceso de extrusión en México apenas se inicia y es una aplicación tecnológica que requiere de investigación continua, así como inversiones tanto en tiempo como en dinero, pero que a largo plazo traerá beneficios, ya que por medio de dicho proceso se reducirán los costos de producción de alimentos a base de granos y cereales, contribuyendo así a la reducción del costo del producto final.

De aquí que este trabajo tiene la finalidad de dar a conocer el proceso de extrusión mediante información técnica para su uso en la industria alimentaria, así como algunas aplicaciones dentro de la industria alimentaria.

OBJETIVOS.

Objetivo General:

Realizar una revisión y análisis bibliográfico del proceso de extrusión para conocer algunas de las posibles alternativas de aplicación en la industria alimentaria.

Objetivos particulares:

- 1.- Analizar la información acerca del proceso de extrusión.**
- 2.- Realizar un análisis bibliográfico de las condiciones de operación de los equipos de extrusión para la elaboración de productos alimenticios.**
- 3.- Mencionar las posibles alternativas de uso de la extrusión en la industria alimentaria.**

CAPITULO 1:
GENERALIDADES SOBRE
EL PROCESO DE ESTERILIZACION.

1.1 Definición.

La palabra *extrudir* proviene del latín "*extrudere*", que significa empujar, expeler, expulsar o presionar hacia afuera. (16)

La extrusión es definida como un proceso en el cual un material plástico, alimenticio, frío o caliente es cocido al forzarlo a fluir a través del orificio de una boquilla (bajo distintas condiciones de mezclado) para producir una pieza continua y de forma deseada. (12)(22)(23)

En la industria alimentaria, el cocimiento producido durante el proceso de extrusión involucra lo siguiente:

- a) La adición de agua y/o vapor, mezclado con un alimento seco para formar una masa homogénea.
- b) Se produce un calentamiento y cizallamiento de la masa para crear un fluido plástico.
- c) Hay cambios fisicoquímicos y estructurales involucrando fenómenos de gelatinización y texturización del material. (10)

El proceso de extrusión es un camino eficiente y económico para transformar diversos materiales, tales como cereales y oleaginosas, en un producto atractivo a la vista del consumidor y en algunas ocasiones altamente nutritivo.

Para llevar a cabo esta operación se requiere de un equipo conocido como *EXTRUSOR*.

Los extrusores son bombas especializadas que elaboran productos en forma constante, al forzar a los materiales sometidos a dicho proceso a fluir a través de una boquilla.

La mayor parte de los extrusores realizan, así mismo, el mezclado y la conversión de los materiales alimentados en masas manejables que puedan fluir a través de dicha boquilla. (16)

1.2 Aspectos históricos de la extrusión.

La extrusión fue usada inicialmente para la texturización de materiales termoplásticos, tales como hules y plásticos; la primera extrusión de compuestos celulósicos data desde 1870 cuando se utilizó una prensa hidráulica como extrusor.

Valerio Anderson fue quien desarrolló un tornillo mecánico de presión (una prensa) denominada "Expeller", utilizada para la extracción continua de aceite en la industria de la extracción del cebo o grasa de los desechos de la carne cocida. (23)

El expeller constaba básicamente de un barril o tonel perforado, el cual circundaba a un tornillo continuo rotatorio. El material a ser procesado era alimentado, comprimido y transportado a lo largo del barril para ser descargado a través de una abertura anular; la compresión dentro del barril "rompía" al material alimentado que contenía el aceite, permitiendo su liberación para fluir, este método de separación fue y es, aún, muy efectivo.

La gran cantidad de calor generada por las fuerzas de fricción ocurridas durante la compresión del material, era necesaria para reducir la viscosidad del aceite, permitiendo su fluidez a través de la abertura del barril. Al mismo tiempo que era calentado el aceite, la masa sólida conocida como torta, incrementaba su temperatura, cociéndose y utilizándose como alimento para animales. (23) Se tienen conocimientos de que aquellos primeros extrusores usados a principios de siglo se utilizaron en la producción de pastas.

Hacia 1930, se utilizó un extrusor que mezclaba semolina, agua y otros ingredientes para formar una masa que al ser presionada y empujada hacia fuera del extrusor y de acuerdo al diseño específico de las boquillas, formaba las diferentes pastas que hoy en día son ampliamente conocidas.

La Compañía General Meals Incorporation fue la primera en utilizar los extrusores-cocedores (cooker-extruders) cuando en 1930 empezó a fabricar cereales precocidos para consumo inmediato (Ready to eat: RTE). (16)

En la década de los cuarentas se empezaron a usar extrusores-cocedores a fin de fabricar alimentos balanceados para ganado y se iniciaba la elaboración de alimentos para consumo humano a gran escala.

En 1946, la Compañía Adams Corporation lanzó al mercado alimentos tipo botana, que fueron extrudidos y cocidos en extrusores en los que se lograban productos que eran obtenidos de materiales de baja humedad. (20) Al elaborarse dichos alimentos se encontraron ciertas limitaciones; primero, las capacidades del equipo eran pequeñas debido a que los expellers son máquinas de baja velocidad aunque con alta presión. Y segundo, el control de las variables de operación era reducido, lo que dificultaba el control de las temperaturas, provocando la obtención de productos muy cocidos e insapetentes.

En 1950, V. Anderson rediseñó su expeller al que denominó "The vertical grain expander", que se vendió hasta 1955. Este equipo se diseñó esencialmente para cocer y extrudir cereales a grandes capacidades y con gran control de las condiciones de cocimiento. Dos años más tarde, el equipo se rediseñó, de tal forma que el barril del extrusor se colocó en forma horizontal antes que en el plano vertical como al principio, ésto simplificó los procedimientos de instalación y mantenimiento, lo que permitió el uso de mecanismo cortante, que hace posible extrudir y dar tamaño en una misma operación.

Este último rediseño fue nombrado "The Anderson-expander-cooker" que aún en nuestros días es usado y conocido así. (23)

A través de los años se ha incrementado constantemente la velocidad y la potencia de este equipo para generar mayores capacidades; una de las creaciones realizadas fue un sistema constante de presión de agua para permitir un control del contenido de humedad más preciso de este proceso.

La extrusión-cocimiento tiene una alta productividad en un simple proceso que consiste en cocer, formar y texturizar. La habilidad de los extrusores para manejar una amplia variedad de ingredientes crudos y procesarlos a diversas condiciones hace de ellos un equipo de gran utilidad para la producción de alimentos.

Por otra parte, la alta temperatura y el corto tiempo de residencia durante el proceso da como resultado un tratamiento térmico de alimentos benéfico para ellos, ya que inhibe algunos factores antinutricionales que se encuentran en muchas oleaginosas. (18) El corto tiempo de residencia a temperaturas altas permite que no haya destrucción de proteínas del alimento, así mismo permite la eliminación de bacterias contribuyendo a la conservación del alimento.

Para fines de los 60's y principios de los 70's, se dió un fuerte impulso al diseño de diferentes extrusores para la elaboración de alimentos para consumo humano. En los últimos 15 años, se ha tenido un gran auge en el uso y aplicación de los extrusores dentro de la industria alimentaria a nivel mundial.

Actualmente, los extrusores-cocedores son empleados para elaborar una gran diversidad de productos entre los que se encuentran la producción de botanas, cereales listos para comer, bases para bebidas y sopas, almidones pregelatinizados, botanas expandidas, alimentos para mascotas y ganado, etc., a una velocidad de producción de cientos de Kg/hr. (16)

1.3 Aspectos económicos.

Al igual que en otros sistemas para la producción de alimentos, la elaboración de productos extrudidos genera diferentes costos: equipo, materia prima, servicios, etc.

El costo del equipo de extrusión está en función del diseño y la capacidad. En muchos casos, la versatilidad y capacidad de los extrusores incrementan los precios, si el cocimiento de ingredientes con mínima diversidad de formas y texturas de los productos son requeridos, el costo total del equipo disminuye. (21)

En la tabla 1, se encuentra resumido el proceso de extrusión en el aspecto económico, el cual es de importancia ya que nos indica que el flujo de ingredientes es el que genera mayor costo representando del 10 al 20% a diferencia de otros sistemas de producción de alimentos, en donde el equipo y su mantenimiento es el más costoso.

Los requerimientos de mano de obra son bajos y el gasto de energía eléctrica se puede considerar nula.

En México, aún no se cuenta con una diversidad de productos extrudidos, a diferencia del resto del mundo, en donde los cereales para desayuno listos para comerse ("RTE") y las botanas ("snacks"), cuentan con una gama de formas, tamaños, colores y sabores.

En Estados Unidos de Norteamérica la NFCS ("Nationwide Food Consumption Survey") realizó un estudio en donde se estableció que del 59 al 70% de los niños y jóvenes consumen frituras o botanas extrudidas durante todo el día, así como del 40 al 64% de adultos. El porcentaje de consumidores adultos disminuye con el aumento de edad. (29)

Así se tiene que en el año de 1980 el consumo de botanas extrudidas se elevó, alcanzando ventas de hasta \$270 millones de dólares por año. (31)

En la actualidad, México no cuenta con un registro de datos en relación al consumo de botanas aunque el Instituto Nacional de Nutrición tiene proyectos de una investigación acerca de éste importante tema.

Tabla 1. Costos económicos del proceso de extrusión.

	Costo flujo-material	Capacidad (ton/hr)	Capital (1) (\$)	CEI (2)	Servicios Gas Vapor	Mantenimiento (\$)	Mano de obra (\$)
Industrial (5)	120-280	4	1.2-2.0	1.6-2.6	0.0 0.33	0.30-0.33	4.8
Alimentación (5)	125-150	4	1.54	1.31	1.2 0.74	0.58	6.5
LEC (6)	125-150	0.5	2.19	3.64	0.0 0.0	1.20	2.2

(1) Costos de capital
 (2) Costos eléctricos: 2.5 cent./Kw-hr
 (3) Gas: \$2.20/1000 pies cúbicos
 (4) Vapor: \$3.61/1000 lb
 (5) Horn, R.E., Bronikowsky, J.C., 1979. "Cereal Foods World", 24(14).
 (6) LEC: Extrusores-coecedores a bajo costo.
 (\$) Dólares norteamericanos.

FUENTE: Harper, J.M. "The existing availability and capacity of cooker extruders including price..."
 Extruder Technology. Proceedings. 1980. Bangkok, Thailand.

CAPITULO 2:
SISTEMAS DE EXTRUSION.

2.1 Componentes básicos.

Para determinar cuales cambios o efectos tendrá el proceso sobre el producto a elaborar, es necesario conocer lo que sucede en el extrusor, así como las partes que lo componen.

A continuación se presentan los componentes principales del sistema de extrusión. Ver la figura 1. (2)(12)(18)(23)

2.1.1 Tolva cilíndrica.- Tiene como función el asegurar la alimentación al extrusor sin pérdida de la materia prima. Existen tres tipos de tolvas, su selección será de acuerdo a las necesidades del producto:

a) Fondo vivo LBM ("*Live-Bin-Mixer*"). Se recomienda para instalaciones de investigación y desarrollo, ya que consta de un alimentador con velocidad variable y un cilindro con doble agitador mezclador, ideal para manejar la mayoría de productos harinosos.

b) Opción LB ("*Live-Bin*"). Esta diseñada para alimentación forzada de productos secos (harinas, almidones, etc.) y materiales similares con características de fluidez muy pobres.

c) Opción S (Directo). Esta opción se usa para manejar únicamente materiales de flujo libre y que no requieran un pre-humedecido tales como maíz germinado.

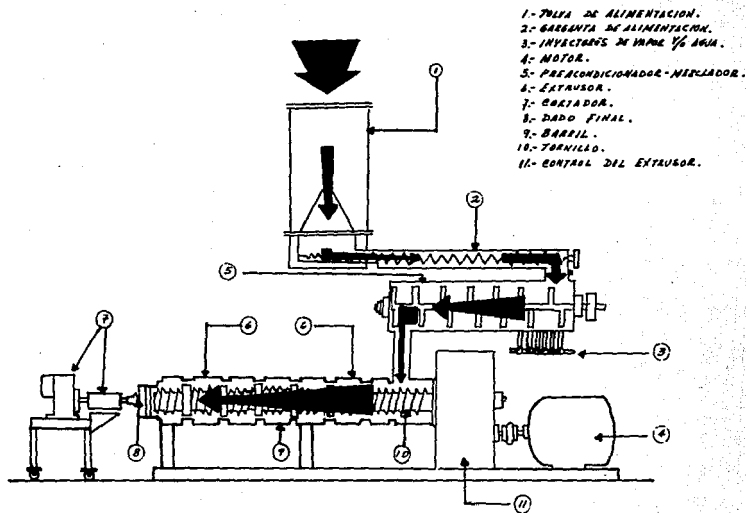
De las tolvas mencionadas, se tiene que lo más simple y lo más barato es el tipo S, lo más complicado y costoso es el tipo LBM, debido a las ventajas que proporciona.

2.1.2 Alimentador o garganta de alimentación del producto.- En algunos casos viene incluido en la tolva de materias primas del extrusor y en otros se utiliza además de alimentador a manera de mezclador donde se adicionan otros ingredientes en forma de pastas o líquidos para aumentar el contenido de humedad.

El alimentador de producto es muy útil, ya que proporciona un flujo uniforme constante a la entrada del extrusor. En instalaciones donde se tienen productos definidos, se hace a velocidad constante; en cambio, en instalaciones de investigación y desarrollo donde se tiene que trabajar con diversidad de productos, conviene que se de velocidad variable.

2.1.3 Pre-acondicionador mezclador de ingredientes con humedad, polvos u otros aditivos. En extrusores donde se desea una mezcla perfecta o inclusive la adición de humedad y temperatura con vapor o agua caliente se coloca este equipo. La etapa de preacondicionamiento consiste en elevar la temperatura a 93°C aproximadamente, así mismo, se puede incrementar el contenido de humedad a 28%, contribuyendo a la cocción del material.

FIG. 1 COMPONENTES BASICOS EN LOS SISTEMAS DE EXTRUSION.



2.1.4 Sección extrusora.

Diseñada para trabajar el producto y formar una masa, elevando su temperatura a la salida del extrusor (usualmente a 115 o 118° C) en unos segundos. La sección extrusora consta de diversos componentes que serán descritos a continuación:

2.1.4.1 Tornillo discontinuo o rotor del extrusor.- Es el corazón del extrusor, ya que ejecuta las operaciones de mezclado, amasado, corte, cocimiento y formado final. La figura 2 muestra los diferentes tipos de tornillos que se pueden encontrar en los sistemas de extrusión, cada uno proporciona diversas características al producto final.

El tornillo es discontinuo y rotatorio colocado dentro de un barril; el diseño ininterrumpido provee diversas ventajas de proceso: Primero, el arreglo discontinuo tornillo-flecha, permite la mezcla estrecha de las partículas en los alimentos dentro de una masa homogénea, así mismo dos o más corrientes alimenticias pueden ser procesadas en el mismo equipo. Segundo, las flechas crean un flujo turbulento dentro del barril, el cual asegura un cocimiento uniforme de toda la mezcla. Por último, el tornillo ininterrumpido permite a la máquina un vaciado y una limpieza de gran facilidad.

Para el diseño de un extrusor, se distinguen como características principales del tornillo o rotor, las siguientes: (Ver la figura 3)

Db = Diámetro del barril o cañón

D = Diámetro del rotor

H = Profundidad entre la base del rotor y el interior del cañón

h = Altura del álabe

df = Claro radial entre el borde del álabe y el cañón

L = Paso o distancia recorrida por un espiral completo del álabe

N = Número de álabes simultáneos (número de pasos)

Φ = Ángulo del paso del álabe con respecto al plano normal del eje del tornillo.

Existen ciertas características que nos definen un extrusor, por ejemplo, la relación D/h. A continuación se presenta la tabla 2 que indica dicha relación.

FIG. 2 CONFIGURACIONES DE TORNILLO-BARRIL EN LOS SISTEMAS DE EXTRUSION



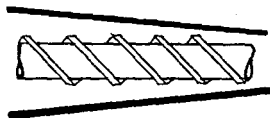
INCREMENTO DEL DIAMETRO DEL TORNILLO.



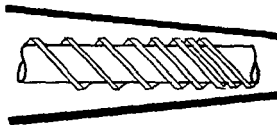
DIAMETRO DEL TORNILLO CONSTANTE, CON DISMINUCION DE PASOS.



DIAMETRO DEL TORNILLO Y BARRIL CONSTANTES, CON RESTRICCIONES EN LOS PASOS DEL TORNILLO.

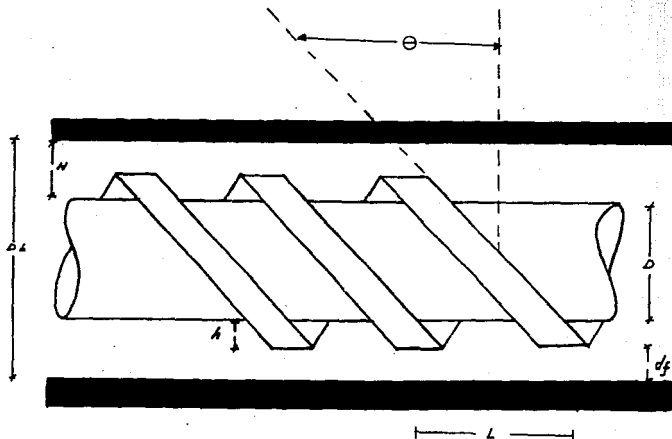


DIAMETRO DEL TORNILLO CONSTANTE, CON DISMINUCION EN EL DIAMETRO DEL BARRIL.



DISMINUCION EN EL DIAMETRO DEL BARRIL Y EN PASOS DEL TORNILLO.

FIG. 3 CARACTERISTICAS DE UN TORNILLO PARA EL EXTRUSOR.



FUENTE: Ing. Héctor Acosta Matlock. "Descripción del equipo de extrusión".
México, 1984.

Tabla 2: Relación del diámetro del rotor y la altura del álabe con respecto al tipo de extrusor y al producto elaborado.

D/h	Tipo de extrusor	Producto	RPM
3-4	Para pastas	Macarrón	30
7	Alto corte	Proteína texturizada	350-500
9	Medio corte	Bolsitas infladas	300
7-15	Bajo corte	Bases para sopas	60-200

FUENTE: Acosta, M.H., Camacho, G.A. "Diseño, instalación y operación de planta..." CIATECH, México.

Los extrusores para un producto determinado llevan un tornillo de longitud fija; sin embargo, cuando se necesita procesar varios productos diferentes, se requiere que el tornillo sea de construcción modular, es decir, que se pueda alargar o acortar según se necesite, esto se logra haciendo el tornillo de varias partes de manera que se ensamblen unas con otras.

2.1.4.2 Cañón-barril o cilindro del extrusor.- En esta parte del extrusor se realizan operaciones muy importantes como es el mezclado, corte del material y elevación de la temperatura del producto que se está elaborando.

El material impulsado por el rotor tiende a deslizarse a través del cañón o cilindro, para regular ese deslizamiento se le agregan obstrucciones al cañón, que pueden ser ranuras con bordes filosos, pernos, etc. Al chocar el producto en proceso contra los pernos o bordes del cañón se produce una fricción elevándose la temperatura hasta un valor determinado.

Existe una gran diversidad de tamaños y capacidades, dependiendo del modelo del extrusor. A continuación se presenta un cuadro con información de diámetros y longitudes del barril del Extrusor-cocedor de la Cia. Anderson (ver tabla 3) ya que conociendo dicha relación se puede elegir el extrusor adecuado para cada tipo de aplicación (ver tabla 2).

Tabla 3: Diámetros y longitudes de los extrusores Anderson.

<u>Diámetro del barril (in)</u>	<u>Longitud del barril (in)</u>
4	54
6	72
8	96
10	120

FUENTE: Compañía Anderson. "Expenders-Extruder-Cooker"

2.1.5 Inyectores de agua y vapor.

Son utilizados en algunos extrusores para la elaboración de productos en los cuales el vapor y/o agua a alta presión se inyecta directamente a la cabeza del extrusor para aumentar el contenido de humedad del producto de acuerdo a los parámetros establecidos.

Hay productos que requieren de un incremento del contenido de humedad y para evitar un pre-acondicionamiento o una humectación previa, se han elaborado extrusores que proveen de agua y/o vapor a la mezcla seca a través de unas válvulas especiales de inyección, localizadas en el barril del extrusor. (2)(12)(18)(23)

En adición al agua y vapor, cualquier otro tipo de líquido presurizado, tales como grasas o aditivos y colorantes, pueden ser inyectados directamente dentro del barril del extrusor.

2.1.5.1 Chaquetas del barril o cilindro.- En algunas ocasiones se requiere mantener la temperatura del producto en un límite máximo, que el propio extrusor no puede mantener, por lo que se controla mediante la circulación de agua a través de unas chaquetas que rodean al cilindro.

Así mismo, estas chaquetas sirven para calentar el producto con vapor indirecto, cuando así se requiere. El barril o cilindro puede ser fijo o desmontable y en ocasiones se le puede hacer un corte longitudinal para facilitar la limpieza, esto con la ayuda de pernos colocados en la superficie del barril.

2.1.6 Dado o boquilla final.

Diseñado para formar el producto extrudido al tamaño y forma deseada. (22)

Los alimentos para mascota, botanas o cereales para desayuno, requieren un tamaño y forma específico del producto. Para lograr dicho objetivo se requiere de dados o boquillas que contienen aberturas que dan la forma deseada al extrudido. Por ejemplo, la abertura estándar para alimentos de mascotas y botanas es de 1/8 o 5/8 pulg. de diámetro. (23)

Se tiene una gran variedad de formas de aberturas, entre las más comunes se encuentran: cilindros, roscas, cuadros, huesos para perros, corazones, pétalos, cruces, letras del alfabeto, etc.

Así como la forma de la boquilla es importante, el tamaño del orificio de salida es crítico, ya que determina en cierto grado la fuerza de fricción que debe ser vencida para permitir que el material fluya a través de la boquilla, como se explica posteriormente (ver zonas del extrusor).

Para algunas aplicaciones un tamaño del orificio es un requerimiento indispensable, como para la proteína texturizada de soya, en donde se ha desarrollado un dado que consta de un tamaño 1.5 veces más ancho al que se utiliza para la elaboración de algunos cereales para desayuno.

2.1.7 Cortador de velocidad variable.

Permite cortar el producto extrudido en segmentos a la longitud deseada. El tamaño del producto se obtiene con una o varias cuchillas cortadoras que giran en un eje fijo al dado y movidas por un reductor de velocidad variable, que puede ser ajustada a la velocidad deseada de acuerdo a la capacidad del equipo y al tamaño del producto. (2)

El ensamble de la cortadora es manejado con un control de la velocidad de modo que la velocidad rotacional de las navajas puede ser ajustada. Existe una variedad de diseños de cuchillas, la estándar es un diseño tipo hoz, el cual da un corte liso y limpio. Comúnmente, las cuchillas pueden estar colocadas de 0.005 a 0.008 pulg. de distancia de la boquilla o dado. (23)

2.1.8 Transportador.

Puede ser de banda o neumático y ser instalado en la descarga de la boquilla para llevar el producto hasta el enfriador y secador, donde la temperatura y humedad se reduce al intervalo óptimo según el producto que se está procesando.

2.1.9 Controles de operación.

Dependiendo de lo sofisticado del equipo, este se puede adaptar con equipo de medición, manual o automático, computarizado, siendo su costo de acuerdo a la exactitud requerida.

Los factores que requieren mayor control debido a la importancia que tienen dentro del proceso son:

a) Humedad en el proceso: controlable con inyección de agua y/o vapor, que puede ser añadida directamente a la alimentación, inyectada dentro del barril o en forma de vapor al preacondicionador como medio de control de la temperatura. (21)(22)

b) Temperatura del producto: controlable con enfriamiento por agua o calentamiento con vapor indirecto (chaquetas). (2) Está en función de la energía mecánica administrada y el calor transferido, su control es indispensable para obtener un producto final adecuado, con las características deseadas y agradables al paladar del consumidor. El control de la temperatura se realiza con instrumentos de medición conocidos como termopares, que se colocan en la superficie del barril. (21)

c) Ingredientes alimentados.- La característica final del extrudido alimenticio depende de la composición de los ingredientes alimentados al extrusor. Esto es, por lo tanto, un punto crítico para ser cuidadosamente controlado, ya que los materiales alimenticios son muy complejos y de comportamiento reológico muy específico. (22)

Las pruebas realizadas a la materia prima incluyen: contenido de humedad, tamaño de partícula, análisis proximal, propiedades funcionales (solubilidad, viscosidad, pureza), color y sabor. Dichas pruebas permiten predecir las características sensoriales finales del producto elaborado.

Una vez establecidas las características de los ingredientes individuales de la formulación, es necesario realizar una mezcla de proporciones adecuadas con un tiempo de mezclado pre-establecido para la elaboración del producto.

d) Diseño del tornillo y del barril.- La geometría del tornillo y del barril de un extrusor puede ser sustituido en alguno de sus componentes. En los extrusores alimenticios, los tornillos y barriles son segmentados lo que significa una variabilidad en la configuración geométrica del extrusor.

e) Diseño del dado o boquilla.- El tamaño, forma, número y localización de los dados o boquillas, requieren de un control total para la obtención de un producto final requerido.

f) Temperatura de las chaquetas.- El barril del extrusor es rodeado por chaquetas, las cuales son controladas para lograr una temperatura específica dentro del barril que varía de acuerdo al producto por elaborar, en el extrusor se pueden tener temperaturas que fluctúan entre 110 y 230°C. (12)(18)(22)

g) **Pre calentamiento.**- Los ingredientes alimentados pueden ser humedecidos y/o calentados con vapor en una cámara y transportados a la entrada del extrusor. El preacondicionamiento es caracterizado por los cambios en la temperatura y el contenido de humedad de los ingredientes.

h) **Velocidad de alimentación.**- Algunos extrusores no poseen un control de la velocidad en la alimentación, por lo que es necesario llenar completamente la tolva del extrusor y que el equipo mismo determine la cantidad de producto alimentado mediante los movimientos que provoca. *Bajo estas condiciones, la velocidad está en función de la naturaleza de los ingredientes, del tornillo, barril y chaqueta.* (22) Por otra parte, existen extrusores que poseen un control de la velocidad de alimentación en donde el operador puede variar y controlarla a diferentes niveles.

i) **Viscosidad.**- es afectada por la composición, humedad, cocimiento, velocidad de corte y temperatura. El control de este parámetro es importante debido a que determina las características organolépticas del producto final.(21) (22)

j) **Velocidad de corte.**- Debido a que ocurre dentro del canal del tornillo, depende de la velocidad y geometría de éste, así mismo depende también del tamaño y forma del dado o boquilla, de la velocidad del flujo y de las propiedades reológicas de la mezcla alimenticia. (21)(33)

k) **Velocidad de flujo.**- La velocidad de flujo volumétrica está en función de la geometría del extrusor, de la caída de presión y de la viscosidad de la mezcla. Determina la capacidad de producción del equipo.

l) **Presión.**- La presión a la descarga del extrusor alcanza un valor que depende de la velocidad del flujo a través del dado. Es un factor determinante en las características del producto final, principalmente su expansión.

Dado que la viscosidad de un fluido depende de la magnitud de las fuerzas intermoleculares que efectúan la transferencia de momento, la compresión de un fluido daría como resultado un aumento considerable en la viscosidad (Lewis, 1942). (12)(21)

Existen, pues, posibilidades de que un material que puede ser manejable a presiones ordinarias, al ser expuesto a altas presiones de extrusión se convierta en un sólido casi rígido. Este fenómeno daría por resultado un decremento en la rapidez de la producción de extrudidos en vez de tener un aumento al subir la presión del proceso. (12)

De aquí la importancia del control cuidadoso de ésta variable.

m) **Potencia.**- Está en función del tornillo (su geometría), caída de presión, y reología de la mezcla. (22)

n) Tiempo de residencia.- Depende de la geometría del tornillo y de la velocidad de flujo. Determina las características sensoriales del producto final, principalmente sabor, color y textura.

Puede ser obtenido mediante la técnica de estímulo-respuesta. El estímulo es usualmente una señal radioactiva o un colorante alimenticio introducido "instantáneamente" al extrusor. Se agrega la muestra de colorante y se toma el tiempo a la entrada y a la salida del extrusor.

Se puede calcular también, por medio de parámetros físicos del extrusor, tales como volumen en el tornillo (V_f) y la velocidad de flujo (Q): (33)

$$\theta = V_f / Q \quad \dots (2.1)$$

2.2 Descripción de la operación.

Para lograr entender el proceso de extrusión, es necesario determinar los cambios y/o efectos que se llevan a cabo dentro del extrusor, en donde el material es alimentado desde una tolva a la garganta de alimentación, por donde se dirige al canal del tornillo. El material al ser transportado a lo largo del canal está también sujeto a operaciones como el mezclado, el calentamiento y el esfuerzo cortante durante todo el proceso.

En la realización de los diversos estudios con respecto al análisis de operación del extrusor en la industria alimentaria ha sido necesario utilizar criterios desarrollados con base en el comportamiento de los plásticos. (12)

Considerando el flujo a régimen permanente de un fluido, los cambios que resultan en su velocidad, elevación, presión y temperatura están relacionados con el calor transferido y con el trabajo de acuerdo a un balance general de energía. (13)

Este se puede representar con la ecuación siguiente:

$$\Delta E + \Delta P E + \Delta K E = Q - \Sigma W \quad \dots (2.2.1)$$

Donde: E = energía del sistema
 PE = energía potencial
 KE = energía cinética
 Q = calor transferido al fluido
 ΣW = trabajo total realizado por el fluido

Para el procesamiento de fluidos termoplásticos la fuente de energía usada en forma más generalizada es la energía eléctrica y la conversión de esta energía a calor es uno de los aspectos más importantes en la ingeniería de los materiales termoplásticos. (13)

Es pertinente mencionar que, para aplicaciones industriales de generación de calor resulta más económico generar calor directamente a partir de la combustión de hidrocarburos, aplicando calor usando vapor u otro fluido de calentamiento. Otro tópico de particular importancia en algunos procesos termoplásticos es el de la generación de calor de la propia fricción del fluido con sus alrededores. (5) (13)(34) El proceso de extrusión ocurre de dicha manera.

La geometría del tornillo es simple y constante a través de su longitud. Al respecto, Harper y Harman (19), proponen una configuración diferente para el tornillo, en la que distinguen tres secciones constituyentes del extrusor: *sección de alimentación, sección de transición y sección de cocción.* (Ver figura 4)

Una vez que la alimentación es introducida al extrusor este producto atraviesa las tres zonas ya mencionadas y separadas entre sí, por sellos que previenen el flujo contrario del material.

A continuación se explica brevemente cada una de las zonas que intervienen en el proceso de extrusión.

2.2.1 Zona de alimentación.

La función de esta zona es comprimir el material y transportarlo a la zona de cocción. El material normalmente está en forma granular con humedades que varían entre 10 y 35%, entra en la zona de alimentación y es transportado por la acción del tornillo y comienza a transformarse en una masa al mezclar el material con agua y/o vapor inyectado directamente al barril, que al avanzar va incrementando su temperatura.

El tornillo está diseñado para proveer una acción mezcladora creando un flujo turbulento para mezclar íntimamente la alimentación y el agua en una masa homogénea. (12)(18)(23)

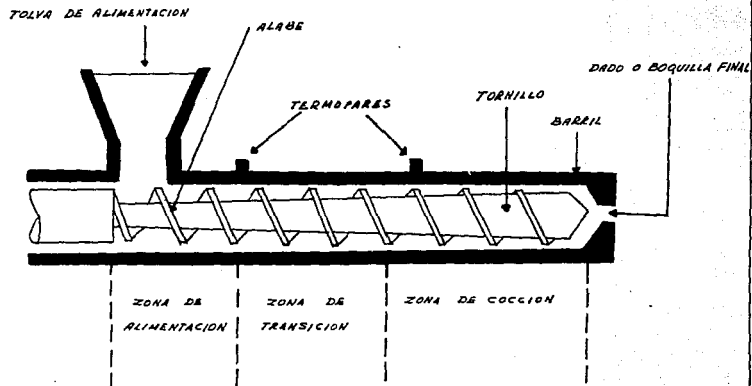
Las ecuaciones para las zonas de alimentación de los extrusores de polímeros se basan en la suposición de que el material alimentado forma un lecho sólido que se desliza a lo largo del canal en forma rígida. El análisis del modelo idealizado desprecia esta zona debido a que la transferencia de calor inicia entre la zona de transición y la de cocción. (Rossen y Miller, 1973). (12)

2.2.2 Zona de transición o de compresión.

En esta zona se continúa mezclando el material y al mismo tiempo se imparte el calor generado por el trabajo de fricción del tornillo contra el material. El calor también puede ser introducido por medio de una chaqueta al barril o mediante la inyección directa de vapor al barril. La combinación del calor y el agua empiezan a cocer el material. (12)(23)

La masa está parcialmente cocida con temperaturas que van de 120 a 170° C y presiones de 20 a 40 atm, según los casos.

FIG. 4 SECCIONES QUE COMPONEN EL SISTEMA DE EXTRUSION.



FUENTE: Martínez, A.A. "Evaluación de la calidad reológica..."
IPN. México, 1989.

Harper y Harman, consideran que dicha zona de transición involucra dos fases; observaron que cuando se alimentaban materiales alimenticios sólidos, había un comportamiento similar a la fusión de los plásticos dentro del extrusor. La fusión ocurre en la superficie del barril y en una delgada película en el lecho sólido.

2.2.3 Zona de cocción o "metering section".

Esta sección es quizás la más importante del extrusor. Su función es recibir el material, comprimirlo, homogeneizarlo y hacerlo pasar a través de la boquilla a presión constante.(10)

La homogeneización está acompañada por mezclado intensivo de los flujos longitudinal y traszversal del canal.

En ésta zona, el cocimiento es completado bajo condiciones de alta presión de 20 a 70 atm y altas temperaturas de 120-130°C, por lo que su estructura es totalmente alterada. (23)

El control de estas condiciones es indispensable para evitar una sobrecocción o un tostado excesivo. A medida que la masa atraviesa la boquilla, la presión es liberada rápidamente (durante todo el proceso la presión se mantiene contra la boquilla de salida), permitiendo que una gran parte del agua sobrecalentada sufra la evaporación, expandiendo el material. (18)

El tratamiento matemático de esta zona supone que el material actúa como un fluido, exhibe deformaciones de esfuerzo y no se desliza en las superficies del tornillo y el barril. Para entender el mecanismo ocurrido en esta zona, se supone que esta sección se comporta como una bomba centrífuga en donde la capacidad de bombeo es relacionada inversamente a la presión de bombeo.

El mecanismo de este efecto de presión puede describirse separando el flujo neto del extrusor en dos componentes ficticios denominados flujo de arrastre y flujo de presión. (12)

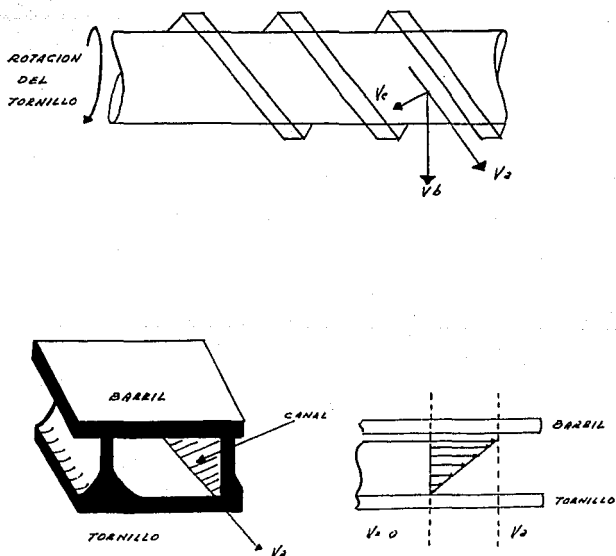
$$Q_{neto} = Q_a + Q_p \quad \dots (2.2.2)$$

en donde:

$$\begin{aligned} Q_{neto} &= \text{Flujo neto} \\ Q_a &= \text{Flujo de arrastre} \\ Q_p &= \text{Flujo de presión} \end{aligned}$$

2.2.3.1 Flujo de arrastre (Q_a).- El componente longitudinal del flujo es denominado flujo de arrastre. (12) Ver figura 5.

FIG. 5 COMPONENTES DEL FLUJO DE ARRASTRE



FUENTE: Durán de Bazúa, M.C. "Aplicación de los extrusores en la industria de los alimentos"
Chihuahua, México 1984.

Diversos autores han intentado resolver las ecuaciones de flujo para fluidos no newtonianos usando ya sea factores de corrección al modelo ideal o bien usando un modelo no newtoniano en la ecuación. Todos requieren técnicas numéricas, y aún así deben despreciar la separación entre el tornillo y el barril, no tener en cuenta los esfuerzos cortantes y aceptar la validez de superponer los efectos de flujo por arrastre y flujos por presión.

La velocidad del barril con respecto al tornillo (Vb) se puede considerar en dos componentes: el componente en la dirección longitudinal al canal (Va) que es el responsable del flujo por arrastre y el componente transversal al canal (Vc) que no afecta directamente al flujo, pero que contribuye al mezclado y corte.

El componente de presión se puede visualizar imaginando el tornillo quieto con el fluido fluyendo hacia atrás por el efecto del gradiente de presión. El componente de flujo por arrastre, se puede visualizar suponiendo que el tornillo está quieto y lo que se mueve es el cilindro o barril pero girando en sentido opuesto, así el movimiento relativo es el mismo. (18)

La velocidad del flujo de arrastre es proporcional a la velocidad promedio en el canal, y se describe por medio de la siguiente ecuación:

$$Qa = \alpha N \quad \dots (2.2.3)$$

En donde:

$$\alpha = 1/2 \pi D^2 h (1-ne/t) \text{sen } \phi \text{cos } \phi \quad \dots (2.2.4)$$

Donde:

- Qa = Flujo de arrastre
- N = Velocidad del tornillo en revoluciones con respecto al tiempo
- D = Diámetro del barril
- h = Profundidad del canal
- n = Número de canales paralelos del tornillo
- e = Espesor de la hélice
- t = $\pi D \tan \phi$
- ϕ = Angulo de la hélice del tornillo
- α = Factor en función de la geometría del tornillo

En las ecuaciones (2.2.3) y (2.2.4) puede observarse que el flujo de arrastre depende sólo de la velocidad y geometría del tornillo, es independiente de la presión y la viscosidad. Sin embargo, el enfriamiento tiende generalmente a retardar el flujo de arrastre y reducir la salida de material. (12)(18)

2.2.3.2 Flujo por presión (Q_p):

El componente del flujo debido a presión puede visualizarse imaginando un tornillo estático donde fluye el material en dirección inversa al extremo de descarga a alta presión. (12)

Como cualquier situación de flujo, la velocidad de flujo es proporcional al gradiente de presión a lo largo del tornillo e inversamente proporcional a la resistencia (viscosidad y geometría del tornillo). Una ecuación que relaciona estas variables es la presentada por Bernhardt en 1974 (12):

$$Q_p = -\frac{\beta}{\mu} \frac{\Delta P}{l} \quad \dots (2.2.5)$$

donde:

$\Delta P/l$ = Gradiente de presión con respecto a la longitud del tornillo

β = Constante

μ = Viscosidad del material

Los factores de tamaño y forma para la geometría del tornillo están expresados en:

$$\beta = 1/12 \pi D h^3 (1 - ne/l) \operatorname{sen}^2 \phi \quad \dots (2.2.6)$$

para cada extrusor, β es constante y el flujo por presión depende solamente del gradiente de presión y de la viscosidad.

2.2.3.3 Flujo neto.

La velocidad de distribución del flujo neto puede esquematizarse por superposición de las distribuciones individuales de los flujos de arrastre y de presión. (12)

El flujo por presión crea una área de flujo turbulento cerca del tornillo. En realidad este flujo, de dirección inversa, crea corrientes de conglomerados de moléculas conocidas como "eddies", que contribuyen al mezclado y corte.

La presión en el extrusor ideal alcanza un máximo en el extremo del tornillo y cuando el material pasa a través de la boquilla hay una caída de presión al descargar a la atmósfera.

La velocidad de flujo a través de la boquilla es función de la viscosidad, geometría de la boquilla (resistencia) y caída o gradiente de presión, como lo ilustra la siguiente ecuación proporcionada por Bernhardt en 1974. (12):

$$Q_{boquilla} = \frac{\Delta P^2}{\mu} k \dots (2.2.7)$$

donde:

$Q_{boquilla}$ = Flujo de material a través de la boquilla

ΔP = Gradiente de presión

μ = Viscosidad de la alimentación

k = Constante de la boquilla en función de su geometría

La boquilla tiene como función principal dar la forma y el tamaño deseados al producto terminado, como ya se mencionó. Se ha encontrado en la práctica que para una área de boquilla dado, la potencia requerida varía casi linealmente, salvo pequeños cambios ($\pm 10\%$), con el flujo alrededor del punto de control. Esto significa que una vez seleccionada la boquilla, las propiedades de un material extrudido específico están también fijadas e independientemente del flujo, en tanto que la relación potencia requerida/flujo permanezca constante. (12)

Por esto, la selección del área de boquilla resulta del balance entre las ventajas económicas de un alto flujo obtenido con boquilla grande y el grado mínimo de cocción necesario. Este último está determinado también por el tamaño de partícula del material alimentado al extrusor. Debido a que la cocción se realiza en un corto lapso de 3-12 seg., aunque en algunos equipos pueden tener de 1-1.5 min de tiempo de residencia, la transferencia de calor a través de las partículas es un factor limitante. (18)

La tabla 4 muestra un ejemplo de la influencia del tamaño de partícula en el grado de cocción tomada como viscosidad a 25°C en unidades Brabender (medición realizada en visco-amilógrafo Brabender) de harina de maíz germinada.

Tabla 4. Relación entre la distribución de tamaño de partículas y el grado de cocción dado en el extrusor.

TAMAÑO: Malla Tyler N°	1	2	Corrida N° 3	4
% en 35	12.0	1.2	0.5	trazas
% en 65	26.2	31.0	35.0	9.5
% en 80	6.6	9.5	4.6	4.2
% en 100	5.4	7.0	9.0	10.5
Potencia consumida en KVA	454.0	454.0	454.0	454.0
Viscosidad Brabender a 25°C	570.0	710.0	725.0	880.0
Producción Kg/hr	37.3	37.3	37.3	37.3

FUENTE: Rolando José González. "La extrusión en la tecnología de alimentos"
I.T.A. Universidad Nacional del Litoral

El flujo del extrusor depende del contenido de grasa del material que se extruda. Materiales con alto contenido de grasa se extruden con flujos altos y bajos en humedad. Este efecto podría ser causado por el aumento de lubricación dentro del extrusor y da por resultado menores temperaturas de extrusión.(12)

El mismo efecto lubricante puede conseguirse por adición de agua a la entrada a la cabeza del extrusor, pero aunque es atractivo económicamente, tiene la desventaja de que el grado de cocción alcanzado se reduce.

El flujo puede minimizarse por reducción del área de boquilla pero tiene un efecto limitante, el alto contenido de grasa o humedad de los materiales hace que el área de boquilla llegue a ser demasiado pequeña y no permite una operación adecuada. (12)(14)

La presión generada en la dirección del eje del tornillo no es grande hasta que el material es forzado contra la placa del fondo, en donde está localizada la boquilla. Puede por esto, suponerse que la mayor parte de la cocción ocurre en la zona comprendida entre el extremo del tornillo y la placa del fondo, y que el tiempo de cocción a alta temperatura sea igual al tiempo de residencia de esta zona (de 2 a 3 segundos), por lo que la rapidez de transferencia de calor sería un factor limitante.

Cuando el material extruido abandona la boquilla se expande violentamente con la evaporación instantánea ("flasheo") de las fracciones volátiles, la cantidad perdida de dichos compuestos son controlados por la temperatura de extrusión. Posteriormente a la expansión hay una contracción del material. La expansión inicial es causada por la transición de alta presión dentro del extrusor a las condiciones ambientales. (12)

Un balance de calor del producto durante la expansión podría expresarse así, (de Muelenaere y Buzzard, 1969) (12):

$$Mfv \lambda = M_s C_{ps} + M_{liq} C_{pli}q \dots (2.2.8)$$

donde:

Mfv = Masa de la fracción vaporizada

λ = Calor latente de vaporización

M_s = Flujo del material seco

C_{ps} = Calor específico del material seco

M_{liq} = Flujo de material húmedo (o agua)

C_{pli}q = Calor específico del material húmedo o agua

La caída de temperatura del producto extruido debida a la evaporación instantánea ("flasheo") del vapor será como sigue: (12)

$$\Delta T_{ev.inst.} = \frac{Mfv \lambda}{M_s C_{ps} + M_{liq} C_{pli}q} \dots (2.2.9)$$

Por medio del conocimiento de estos datos, se pueden controlar las condiciones de operación para poder así predecir el comportamiento del alimento ante el sistema de extrusión, contribuyendo así a la elaboración de productos con las características deseadas.

2.3 Clasificación de los extrusores.

Los extrusores pueden ser clasificados de diferentes formas, algunos involucran una diferenciación basada en las características funcionales generales de los tipos de productos obtenidos, otras clasificaciones están basadas en consideraciones termodinámicas y finalmente, los extrusores han sido clasificados con base en el contenido de humedad de los ingredientes alimenticios. (9)(12)(19)(20)

2.3.1 Con base en sus características funcionales.

La clasificación de extrusores en alimentos basada en las características funcionales y los tipos de productos obtenidos fue realizada por Rossen y Müller en 1973. (20)

Una versión modificada es la presentada en la tabla 5, con rangos y condiciones definidas, en donde son consideradas desde las propiedades del alimento hasta las características del equipo.

A continuación se presenta una descripción de las categorías de los diferentes extrusores encontrados de acuerdo al producto elaborado.

2.3.1.1 Extrusores de pasta.- Son caracterizados por la forma y el tamaño del tornillo, así como por la velocidad baja utilizada que es la ideal para elaborar productos de harina de semolina, presionándola a través de una boquilla con un pequeño cocimiento o sin el.

Para la elaboración de galletas y pastas (masas) moldeables para pastelería son utilizados este tipo de extrusores, los cuales han sido adaptados para formar rollos de huevo y ravioles.

2.3.1.2 Extrusores formadores de alta presión ("High pressure forming extruders").- Muchos productos alimenticios de diversas formas son elaborados por la extrusión de masas o mezclas de cereales pregelatinizadas a través de una boquilla para formar primero "pellets" semi-inflados, los cuales son parcialmente secados e inflados en un freidor o en un asador.

Para producir altas presiones los extrusores normalmente tienen barriles acanalados o con ranuras para prevenir desgastes en las paredes debido a las grandes compresiones ocurridas en el tornillo.

Las temperaturas excesivas de la mezcla en el tornillo pueden ocasionar un inflado no deseado en la boquilla y un funcionamiento insatisfactorio. El exceso de calor es removido con la circulación de agua fría en una ranura del tornillo o con chaquetas alrededor del barril.

2.3.1.3 Extrusores de bajo corte ("*Low-Shear cooking extruders*").- Los productos alimenticios de alta humedad, tales como alimentos para mascotas semihúmedos, son preparados en extrusores que tienen fuerzas de cizalla moderadas, una alta compresión para mezclar y ranuras en el barril para prevenir desgastes en la pared.

El calor puede ser aplicado al barril o al tornillo para calentar el producto debido a que la viscosidad de los materiales a ser extrudidos es baja y se pueden producir atascamientos.

2.3.1.4 Extrusores "Collet".- La rápida disipación de energía mecánica absorbida por el tornillo corto ($L/D = 3:1$) ocurre en el extrusor debido al relativo gran cizallamiento en la trayectoria del tornillo que opera en un barril ranurado para prevenir un desgaste en la pared.

Este tipo de extrusor normalmente extrude materiales alimenticios secos (<15% de humedad) y los calienta rápidamente a temperaturas mayores de 175°C, así el almidón es pregelatinizado. (12)

Cuando este material sale por la boquilla, el rápido cambio en la presión causa expansiones sustanciales de la pieza cocida, resultando una baja humedad y la formación de un producto rizado, quebradizo, expandido, conocido como "Collet".

El ingrediente más común extrudido en este tipo de extrusor, es el grano de maíz germinado. (9)

2.3.1.5 Extrusores-cocedores de alto corte ("High-Shear cooking extruders").- Son extrusores diseñados para producir una amplia variedad de productos alimenticios precocidos o gelatinizados.

Inicialmente fueron utilizados los extrusores de plásticos con barriles de gran longitud ($L/D = 15-20:1$), radios de alta compresión y capacidad de calentar o enfriar el producto externamente a través del barril. Tales extrusores proveen una significativa capacidad de operación a las deseadas para el proceso, tales como temperatura y presión para lograr el inflado.

Las aplicaciones a productos incluyen cereales listos para comer, proteínas vegetales texturizadas, mezclas alimenticias y botanas. Dichos extrusores han sido clasificados como HTST ("High Temperature-Short Time"), debido a que se alcanzan altas temperaturas en un corto lapso de tiempo.

Esto es, en algunas aplicaciones los ingredientes alimenticios pueden ser precalentados con vapor o agua caliente, posteriormente ser procesados en un extrusor de alto corte, para además trabajar el producto y aumentar su temperatura rápidamente. Casi inmediatamente ocurre un enfriamiento (una vez que el producto salió de la boquilla) que unido al corto tiempo de residencia en el tornillo le da el nombre de HTST. (12)(22)

La tabla 5 proporciona características más específicas sobre estos tipos de extrusores. Se puede observar que el extrusor de pasta es el que maneja contenidos de humedad más altos (de 30-31%), así mismo se observa que el extrusor Collet alcanza la temperatura más alta en el producto (200°C).

TABLA 5. Datos de operación típicos para extrusores clasificados de acuerdo a sus características funcionales.

Variable	Ext. de pasta	Ext. de alta presión	Ext. de bajo corte	Ext.Collet	Ext. de alto corte
%Humedad del alimento	31	25	20-35	12	20
%Humedad del producto	30	25	15-30	2	4-10
T ^o máxima del producto (°C)	52	80	150	200	180
Diámetro del rotor/ altura del Alabe (D/H)	3-4	4.5	7-15	9	7
N (rpm)	30	40	60-200	300	350-500
Velocidad de corte en el tornillo	5	10	20-100	140	120-180
Energía mecánica consumida (Kw-hr/Kg)	0.05	0.05	0.02-0.05	0.13	0.14
Porción de energía mecánica disipada como calor (Kw-hr/Kg)	0.03	0.04	0.02-0.03	0.10	0.10
Transferencia de calor del barril a la chaqueta (kw-hr/kg)	0.01*	0.01*	0.04	0.00	0.0-0.03*
Energía neta gastada por producto (Kw-hr/Kg)	0.02	0.03	0.06-0.07	0.10	0.07-0.10
Tipo de productos	Macarrones	Cereales RTE Botanas	Semihumedos, Bebidas	Botanas infla- dos, pasteles	Proteínas vege- tales texturi- zadas
*Calor transferido del producto a la chaqueta					

FUENTE: Harper, J.M. "Extrusion foods". CRC Press, Inc. Florida, 1961.

2.3.2 Con base en sus características termodinámicas.

Una clasificación termodinámica de extrusores de simple tornillo fue desarrollada por Rossen y Miller (17), y consiste en lo siguiente: (12)(19)(21)(22)(23)

2.3.2.1 Extrusores autógenos.- El consumo de calor proviene completamente de la disipación de la energía mecánica consumida, esto es que *"generan su propio calor por conversión de energía mecánica en el proceso de flujo"*.

Se puede decir que son adiabáticos (no permiten la entrada ni salida de calor) y no requieren chaquetas intercambiadoras de calor. Las temperaturas son controladas por la composición del alimento y por la configuración del tornillo.

Los extrusores autógenos tienen una baja flexibilidad en relación con el control de las variables y son más difíciles de manejar.

Los extrusores "Collet" y algunos de alto corte son ejemplos de éste tipo de extrusores.

2.3.2.2 Extrusores isotérmicos.- Dentro de este tipo de extrusores, se mantiene la temperatura constante mediante un medio de enfriamiento que remueve el calor generado por la conversión de energía mecánica.

Para mantener las condiciones isotérmicas, el calor es removido a través de las chaquetas colocadas alrededor del barril.

2.3.2.3 Extrusores politrópicos.- Operan entre las condiciones extremas autógenas e isotérmicas.

Todos los extrusores de alimentos son de éste tipo, pero algunos tienden hacia las condiciones autógenas y otras a las isotérmicas, en relación al control del calor generado durante el proceso. Los extrusores-cocedores en donde se tienen barriles enchaquetados y el calor es alternativamente añadido o extraído, operan en el régimen politrópico.

2.3.3 Con base en sus características de humedad.

El contenido de humedad de los ingredientes alimenticios tiene grandes efectos en el equipo de operación durante la extrusión y en las características finales del producto.

Una clasificación de extrusores basada en la humedad del producto, se encuentra en la tabla 6, la cual fue proporcionada por Harper en 1979. (19)(22)

El secado en la extrusión es caracterizado por la alta energía mecánica consumida, por los altos costos de mantenimiento y por los costos de capital dependiendo de la capacidad del sistema y del extrusor. Los costos de operación de la alta y baja humedad del sistema de extrusión son relacionados con la capacidad de los equipos.

Tabla 6. Clasificación del equipo de extrusión en base al contenido de humedad de los ingredientes.

Características	Humedad baja	Humedad intermedia	Humedad alta
Humedad (M)	$M \leq 20\%$	$28 > M > 20\%$	$M \geq 28\%$
Fuente de energía consumida	Toda la energía proviene de la disipación de la energía mecánica consumida.	La mitad de la energía proviene de la disipación de la energía mecánica y la otra mitad de la inyección de vapor.	La mayoría de la energía proviene de la inyección de vapor, con una pequeña porción proveniente de la conversión de energía mecánica a calor.
Energía mecánica (kw-hr/Kg)	0.10	0.04	< 0.02
Secado del producto	No requiere. Producto obtenido a 6% humedad	Algunos productos requieren para remover su exceso de humedad (12%)	Un producto excesivamente seco es requerido.
Forma del producto	Un mínimo de formas disponibles, además de piezas expandidas y hojuelas.	Disponibilidad de formas.	Máxima flexibilidad de formas y texturas.
Ingredientes	Mezclas alimenticias con un contenido >7% de grasas en cereales y/u oleaginosas.	Pocas limitaciones.	Pocas limitaciones.
Capacidad (Ton/hr)	0.1-0.8	0.2-3.6	0.4-10.0
Costo-Capital (extrusor, calentador y secador) (\$ / Ton)	60 000 - 350 000	80 000 - 300 000	90 000 - 270 000
Costos de mantenimiento (\$/Ton)	1.20	0.5 - 0.6	0.4 - 0.5
Fabricantes	Brady, Insta-Pro Manley, Dorsey M.	Anderson-Ibec, Wegner	Anderson-Ibec, Bonnot Sprout-Waldron

FUENTE: Harper, J.M. "Low cost Extrusion Cookers"
Colorado State University, Fort Collins, 1979.

(*\$ = Dólares)

2.3.4 Con base en sus características estructurales.

Esta clasificación se realiza con base en los componentes estructurales de mayor importancia que constituyen a los extrusores. (27)

2.3.4.1 Extrusores de pistón.- Son los de diseño más sencillo y son usados principalmente para dar forma. Consisten en un pistón solo o una batería de pistones los cuales depositan cantidades muy precisas de materiales.

Estos equipos son usados en la elaboración de productos de confitería, para depositar los rellenos dentro de los chocolates.

2.3.4.2 Extrusores de cilindro.- Los cuales son usados para dar forma a la mezcla que está fluyendo, consisten en dos cilindros concéntricos que giran a velocidades similares o diferentes y tienen superficies lisas o grabadas.

Los extrusores de cilindros vienen en numerosas configuraciones y son capaces de formar cuerdas sencillas, de capas múltiples o rellenas.

2.3.4.3 Extrusores de tornillo.- Se caracterizan porque pueden emplear un tornillo simple, doble o múltiple.

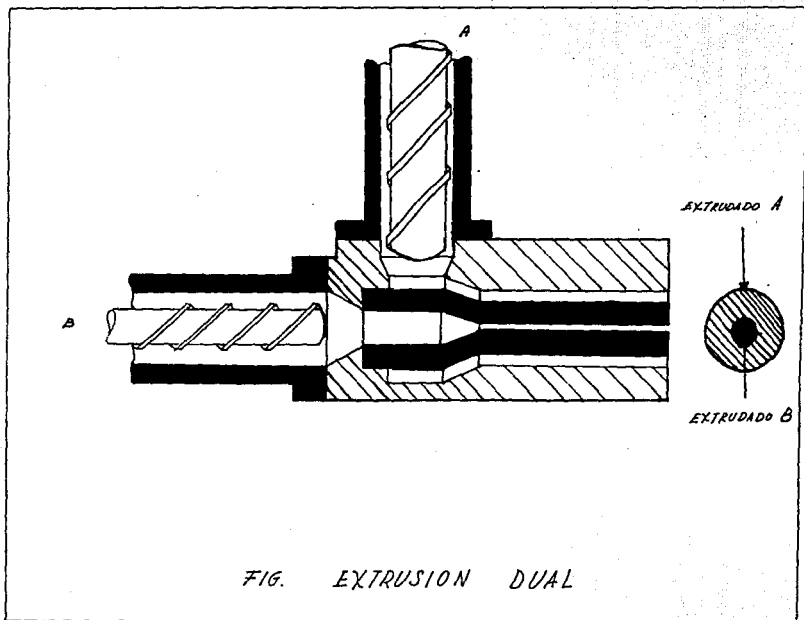
Originalmente fueron desarrollados para uso en la industria de los plásticos. Son los extrusores que proveen capacidad tanto de cocimiento como de formación y fueron introducidos en la industria alimentaria a finales de 1940.

Los extrusores de un sólo tornillo tienen baja capacidad de mezclado y son usados generalmente con materiales que han sido premezclados o preacondicionados. (27)

De las clasificaciones anteriores la más común y de mayor facilidad de manejo es la que se basa en las características funcionales, ya que mediante el conocimiento de factores tales como el tipo de producto a elaborar, las características de la materia prima, etc., se puede elegir el extrusor adecuado a utilizar de acuerdo al producto a elaborar.

2.3.4.4 Extrusión dual.- Conocida también como *coextrusión* de diferentes materiales para formar una pieza simple.

El concepto de extrusión simultánea de dos materiales formando un producto simple ha creado nuevos y complejos productos. La figura 6 muestra esta operación.



FUENTE: Harper, J.M. "Extrusion of foods"
Florida, USA. 1981

La extrusión dual consiste en dos extrusores que son unidos a un dado especial, el cual forma una pieza continua anular constituida de una mezcla (B) y recubierta con una segunda mezcla (A).

La mezcla B puede realizarse con una variedad de productos basados en aceite tales como mantequilla, crema de chocolate, de cacahuete o de queso, esto con el fin de lograr un producto de consistencia suave. (22)

En investigaciones realizadas sobre el proceso de extrusión dual se ha encontrado que las condiciones óptimas para éstos productos son: Contenido de humedad de la mezcla de 30% y temperatura de extrusión de 40°C. Posteriormente, se cortan las piezas delgadas, se secan a humedades de 6 a 10% y por último se frien. (25)(26)

CAPITULO 3:
VENTAJAS Y DESVENTAJAS
DEL USO DEL EXTERIOR.

El proceso de cocción por extrusión para la obtención de alimentos, ofrece las siguientes ventajas: (12)(14)(16)(18)(19)(20)(22)(25)(32)

3.1 Bajo costo.

Los requerimientos de mano de obra y espacio por unidad de producción son menores que otros sistemas de cocción/formación.

Los costos de procesamiento por tonelada tienen disminuciones constantes en relación con el incremento de la capacidad por caballos de fuerza y por hora-hombre. Los costos de inversión por tonelada de producción son menores para la gran capacidad de los extrusores-cocedores HTST que los costos de inversión en otros métodos de cocimiento como puede observarse en las siguientes tablas en donde se puede comparar dos diferentes formas de elaboración de pastas para la elaboración de "quenelles", que son bollos rellenos elaborados en base a harina de trigo.

Tabla 7. Elaboración de pastas para la producción de "quenelles" con base en harina de trigo sin la utilización del proceso de extrusión.

Descripción	Agua (a)	Energía combustible (MJ/h)	Aire comprim. (a)	Energía eléctrica (kW/h)
Manipulación de harina			25	55
Línea de pasta larga	0.90			39
Línea de pasta corta	0.105			45
Envasado, acondicionador de aire, generador de agua caliente, compresor			73	9
TOTAL	0.195	400	98	284
Costo total/año (b) =	1,100	22,000	500	124,000
(a) metros cúbicos por hora.				
(b) Dólares por año.				

FUENTE: Bartholomai, A. "Fabricas de alimentos. Procesos, equipamiento, costos." España, 1991.

Tabla 8. Elaboración de pastas para la producción de "quenelles" con base en harina de trigo con la utilización del proceso de extrusión.

Descripción	Agua (a)	Vapor (kg/h)	Energía eléctrica (kW/h)
Mezclado			4
Cocción, extrusión	1000		12
Escalfado	2000	400	2
Aglomeración			5
Envasado	1000		3
TOTAL	4000	400	26
Costo total/año (b) =	8,000	22,400	5,200
(a) Metros cúbicos por hora			
(b) Dólares por año			

FUENTE: Bartholomé, A. "Fábricas de alimentos. Procesos, equipamiento, costos", España, 1991.

Se puede observar que el gasto total del primer método es mayor que en el segundo, aunque el gasto de agua es mayor en el segundo proceso se recupera al ser menor el gasto de energía eléctrica siendo así costeable.

3.2 Versatilidad.

Una amplia gama de alimentos con diversas formas pueden ser obtenidos en el sistema de extrusión y que en algunas ocasiones no pueden obtenerse por medio de otros procesos.

Dentro de los factores que contribuyen a la versatilidad del proceso de extrusión se pueden mencionar los diseños específicos del extrusor, las variables de operación, la gran variedad de materias primas que se pueden procesar y las diferentes características que pueden obtenerse en los productos terminados (formas, texturas, colores, sabores, etc.).

Una de las características principales de los extrusores es que pueden operarse a diferentes velocidades de tornillo, con distintas temperaturas y presiones, lo que permite variar los niveles de humedad, de mezclado y de cocción de los materiales, y así obtener la gran variedad de productos. (16)(19)(27)

El uso de extrusores proporciona al productor de alimentos una versatilidad en relación a las materias primas que pueden utilizarse. A continuación se describen algunos de ellos: (12)(32)

3.2.1 Cereales.- Existe una amplia variedad de productos secos de cereales molidos que han sido utilizados en la producción de alimentos extrudidos entre los cuales se tienen:

a) Maíz: ha sido el más comúnmente utilizado en la extrusión, debido a su bajo costo y a la característica que posee de expandirse tanto a bajas como a altas condiciones de humedad en el proceso de extrusión.

A través del proceso de extrusión, el sabor del maíz tiende a hacerse más marcado y por tanto dicho sabor permanece en el producto extrudido obtenido.

b) Avena: entre los cereales, es éste una de las principales fuentes de proteínas. Debido a su alto contenido de grasa y bajo contenido de carbohidratos, la avena requiere de altas temperaturas y humedades para lograr ser expandida. (16)

c) Arroz: El color blanco y su capacidad para expandirse, lo hace ideal para productos como botanas y cereales para desayuno. Sin embargo, su bajo contenido en proteínas y grasa, así como su relativo alto costo, comparado con otros cereales, son su principal desventaja. (16)

d) Cebada: debido a que posee un sabor amargo su utilización ha sido poco frecuente.

e) Sorgo: tiene características muy similares a las del maíz. Los productos extrudidos de este cereal, tienden a tener un color tostado y un sabor menos agradable al del maíz. Es comúnmente utilizado como alimento para los animales. Para consumo humano se utiliza en mezclas con otro cereal u oleaginoso.

f) Centeno: presenta un sabor desagradable y un color oscuro (negro).

g) Trigo: posee un alto contenido de proteínas, por lo tanto requiere de altas temperaturas y humedades para su expansión. Se utiliza en mezclas con otros cereales.

3.2.2 Tubérculos.- Son pocos los estudios realizados con este tipo de materia prima, solo se tiene registrada a la tapioca.

a) Cassava o tapioca: los productos extrudidos de este tubérculo tienen un color claro y se requieren altas temperaturas combinadas con moderadas humedades para elaborar un producto expandido y blanco. (16)

3.2.3 Almidones.- Son varios los tipos de almidón utilizados en alimentos extrudidos. Se distinguen dos tipos que han sido incorporados a las aplicaciones de extrusión: los inmodificados y los modificados. (16)(32)

Los almidones inmodificados tienden a expandirse fácilmente y a proporcionar al producto extrudido una textura crujiente. Los almidones modificados se expanden menos debido a lo corto o a lo alterado de la molécula de almidón.

Mediante la utilización de los almidones modificados, la estructura celular, la velocidad de rehidratación y la retención de aceite en el producto terminado pueden ser controladas.

A continuación se presenta de una manera breve las características requeridas de los almidones para su utilización en el proceso de extrusión:

- a) Densidad.- Los almidones con un alto contenido en amilopectina, producen extrudados altamente expandidos y de baja densidad. Por el contrario, un almidón químicamente modificado o alto en contenido de amilosa, producirá un extrudido más denso.
- b) Solidez.- Algunos almidones modificados pueden incrementar la solidez y reducir la ruptura en los productos extrudidos. A menudo, esto también es asociado con una textura más dura o firme.
- c) Vida de anaquel.- Los almidones ricos en amilopectina y ligeramente modificados (pregelatinizados) mejoran la vida de anaquel de aquellos productos crujientes.
- d) Captación de humedad.- Los almidones modificados tienen la capacidad de reducir la velocidad de captación de humedad en productos extrudidos. Esto es debido a la dura textura del producto extrudido, la cual impedirá que los alimentos se vuelvan pastosos en el medio ambiente.
- e) Capacidad de retención del agua.- Los almidones modificados (dextrinas, por ejemplo) pueden ser utilizados con éxito a fin de reducir la actividad acuosa de los alimentos semi-húmedos.
- f) Incorporación de grasas.- Los almidones modificados tienen la habilidad de atrapar o ligar grasas en productos extrudidos, reduciendo así la pérdida de volumen de estos. (16)

Las fuentes genéricas de almidón pueden ser enlistadas como: maíz, sorgo, papa, casava y trigo.

La relación en el almidón de amilosa a amilopectina, tiene gran influencia en las propiedades de textura de los productos extrudidos: la amilopectina promueve el inflado dando productos muy claros y muy frágiles. Por el contrario, los almidones ricos en amilosa tienden a elaborar productos más duros y con poca expansión. (16)

En el caso de botanas infladas, un 20% de amilosa en el almidón debe ser considerado como mínimo, mientras que contenidos en amilosa de 50% dan un producto extremadamente denso y falto de expansión. (12)(16)

3.2.4 Materias primas con un alto contenido de proteínas.- Un cierto número de materiales proteínicos son empleados en los extrusores para elaborar productos con características variables y en algunos casos crear productos fortificados con proteínas. Muchos de los materiales proteínicos empleados son parte de cereales, por ejemplo el glúten de trigo o las proteínas de las oleaginosas.

Las proteínas de soya han tenido un uso extendido en la extrusión que cualquier otra proteína de legumbres u oleaginosas. Esto debido principalmente a su bajo costo, accesibilidad y versatilidad de propiedades funcionales.

Por su alto contenido en proteína, la soya es a menudo utilizada para incrementar el contenido proteico de cereales extrudidos y para mejorar la calidad de la proteína restante en la mezcla; la proteína de soya tiene exceso de lisina, que es el aminoácido esencial deficiente en los cereales, mientras que los cereales tienen exceso de metionina, que es el aminoácido esencial limitante de la proteína de la soya. (16)(35)

Algunos otros tipos de proteínas son comúnmente adicionadas a los productos extrudidos, por ejemplo las proteínas de leche, suero, caseinato de sodio, gelatina, extractos de levadura y albúmina de huevo.

3.2.5 Otras materias primas.- Un cierto número de otro tipo de materiales pueden ser adicionadas en la alimentación de los extrusores, esto con el fin de crear ciertas características específicas en el producto.

El papel que juegan estos tipos de ingredientes son:

a) Las grasas: estas y los aceites adheridos a los productos extrudidos tienden a atenuar o disminuir las pastas resultantes y reducen la dureza de los productos e incrementa la plasticidad de estos. La adición de grasas puede afectar también la textura de los productos extrudidos.

b) Los emulsificantes.- son generalmente adicionados a muy bajos niveles (< 1.1%) y pueden también afectar la textura y densidad del producto extrudido, también puede actuar como lubricante para la pasta.

La acción de los emulsificantes es la de alterar la acción interfacial entre el agua, la grasa, el almidón y las proteínas, además de retardar la gelatinización del almidón. (16) (22)

c) Los modificadores del pH.- La adición de ácidos o sales básicas a los materiales de alimentación del extrusor pueden alterar las características de un producto extrudido, particularmente si están presentes grandes cantidades de proteínas.

Con la modificación del pH pueden surgir cambios en la velocidad de rehidratación, sabor, densidad, textura y dureza del producto.

d) Los azúcares.- La adición de azúcar puede alterar las características sensoriales incluyendo textura de los productos. Debe tenerse cuidado al adicionarla, ya que la mezcla obtenida puede resultar muy pegajosa o viscosa y difícil de manejar.

e) Los hidrocoloiodes.- Generalmente operan a bajos niveles ($< 1.0\%$) y se combinan con más de 500 partes de agua para formar la estructura del gel. (16)(25)

Las propiedades espesantes de estos materiales son muy utilizadas para desarrollar productos con alto contenido de humedad (tipo pastas), las cuales pueden ser formadas por medio de simples formadores para producir ciertos tipos de botanas o alimentos.

f) El agua.- Uno de los factores principales para controlar la temperatura y velocidad de extrusión, así como las características del producto extrudido, es sin lugar a dudas el contenido de humedad de las materias primas alimentadas al extrusor.

El contenido de humedad necesario de los ingredientes de alimentación, puede ser adicionado de varias maneras: agua, vapor, mezclas de ingredientes tales como emulsiones y jarabes. La adición de agua a los ingredientes de alimentación, es esencial cuando se busca obtener una uniformidad en el producto terminado. (16)

3.3 Alta productividad y calidad del producto obtenido.

La naturaleza de los diferentes tipos de extrusores que actualmente son usados a nivel mundial implica que la extrusión sea un proceso continuo con una capacidad mayor de producción en comparación con algunos procesos diferentes de cocción/formación.

La capacidad de los equipos de extrusión varía desde equipos a escala laboratorio (1-5 Kg/hr) hasta extrusores que pueden producir de 5 a 10 toneladas por hora de materiales poco densos (0.5-0.7 g/cm³) y, debido a que son equipos continuos, se tiene un mejor control del proceso y se obtienen productos más uniformes. (16)(22)

Con respecto a la alta calidad del producto, se tiene que el proceso HTST (alta temperatura-corto tiempo) minimiza la degradación de nutrimentos por calor mientras que provee mayor digestibilidad por la gelatinización de los almidones. (22) Esta es la ruptura de moléculas a través de una combinación de humedad, calor, presión y esfuerzo mecánico que en el proceso de extrusión da como resultado una mayor absorción de agua en el producto extrudido, lo que mejora la digestibilidad del producto. (12)

Los almidones gelatinizados por extrusión son capaces de ligar microingredientes tales como vitaminas, minerales, colores, sabores, etc., de manera uniforme e irreversiblemente a través del producto extrudido.

El tratamiento HTST (*"High Temperature Short Time"*) destruye algunos factores no deseados en los alimentos, tales como compuestos inhibidores de tripsina, hemoglutinas y algunas enzimas como lipasas y determinados microorganismos, se ha demostrado que los productos obtenidos poseen cuentas bacterianas bajas, en condiciones de higiene adecuadas. (25)

Debido a que el tiempo promedio que pasa una partícula del alimento en un extrusor puede ser de unos cuantos segundos, se disminuyen las probabilidades de destrucción de vitamina C y Niacina, en comparación con otros sistemas como se puede observar en la tabla 9.

Tabla 9. Efectos del procesamiento de harina de soya sobre algunos nutrimentos.

Nutrimentos	En 2 minutos de hervor % de destrucción	Proceso de extrusión % de destrucción
Niacina	6.2	2.8
Vitamina A	24.9	52.5
Riboflavina	—	—
Tiamina	—	0.5
Lisina disponible	—	3.8
Vitamina C	78.6	33.4

FUENTE: Rolando J. González Instituto de Tecnología de Alimentos.
Universidad Nacional del Litoral.

3.4 Mantenimiento y sanidad.

El sistema está diseñado para ser fácil y rápidamente desensamblado para su mantenimiento y su limpieza. Consta de partes y equipo disponible para una posible expansión,

Estudios microbiológicos realizados tales como cuenta total de bacterias indican un bajo contenido de estos microorganismos. En relación a microorganismos patógenos (como *Salmonella*) no han sido encontrados ni en el equipo, ni en el producto, así como tampoco insectos ni larvas, por lo que la vida de anaquel del producto es superior a otros productos elaborados por diferentes procesos. (32)

En la tabla 10 se presenta una comparación entre la cuenta de bacterias de mezclas de cereales ricas en proteína, extrudidas en el extrusor Sprout-Waldron y en el extrusor Wenger X-25, se puede observar que aunque la materia prima se encuentre contaminada, la cocción por extrusión destruye prácticamente todos los microorganismos.

Tabla 10. Cuenta bacteriológica de una mezcla de cereales rica en proteína cocida en extrusores Sprout-Waldron y Wenger.

	<u>Antes</u>	<u>Después</u>	
		<u>Sprout-Waldron</u>	<u>Wenger</u>
Coliformes/100g	1600	Negativo	2
Staphylococcus	Positivo	Negativo	Negativo
Streptococcus no hemolíticos	Positivo	Negativo	Negativo
E. Coli	Positivo	Negativo	Negativo
B. Lactic aerogenes	Positivo	Negativo	Negativo
B. Subtilis	Positivo	Positivo	Positivo
Salmonella	Negativo	Negativo	Negativo

FUENTE: Dra. Ma. del Carmen Durán de Bazúa. "Aplicación de los extrusores en la industria de los alimentos". 1984.

3.5 Equipo auxiliar.

Para la posible expansión del área, el sistema no requiere de equipo auxiliar como secadores, calentadores o equipo de post- acondicionamiento, que incremente los costos y pueda contaminar al producto, debido a que el extrusor se compone de segmentos que pueden añadirse en caso de ser necesario. (20)

3.6 Consumo de energía.

Los extrusores-cocedores consumen menos energía total por tonelada de producto que otros procesos de cocción y son termodinámicamente eficientes. (12) Ver tabla 7 y 8.

Así mismo, los sistemas de extrusión operan a relativamente baja humedad mientras cocen los productos alimenticios. La baja humedad reduce la cantidad de calor requerido para la cocción y el secado después de la cocción. (22)

La inexistencia de efluentes en el proceso es importante debido a que previene la liberación de contaminantes al medio ambiente. No hay agua de desecho, excepto la utilizada para la limpieza.

El proceso de extrusión presenta algunas desventajas que son mencionadas a continuación:

- a) Los extrusores procesan solamente harinas o materiales granulares. Puede añadirse el sistema de molienda como parte complementaria, aunque con pérdida de eficiencia, capacidad y flexibilidad en la gama de texturas. (12)
- b) En mezclas que contienen proteínas le leche se observa una mayor destrucción de lisina que en otros productos, por lo que requieren ser cocidos en el menor de los rangos disponibles de temperatura de extrusión, es decir de 100 a 135°C.
- c) Algunas de las vitaminas microencapsuladas pueden premezclarse en los cereales antes de la cocción y mostrar poca pérdida de estabilidad vitamínica. (12)
- d) En relación a la introducción de una nueva tecnología, se tiene que en ciertos estratos sociales no se acepta fácilmente por las costumbres y/o hábitos en la elaboración de productos, como la elaboración de harina para tortillas por ejemplo, ver sección 4.3. (14)

CAPITULO 4:
APLICACIONES EN
LA INDUSTRIA ALIMENTARIA.

4.1 Botanas.

Las botanas (snack foods) comprenden una amplia variedad de artículos incluyendo palomitas de maíz, galletas, nueces y productos extrudidos. (19)(22)

Las botanas de maíz extrudidas y expandidas fueron desarrolladas comercialmente en 1946, aunque se tienen datos de su existencia desde 1936, cuando fueron producidas por la Corporación Adams.

Las botanas extrudidas se encuentran en el mercado en una variedad de formas, además de los comunes "Collets", se encuentran ruedas, sombreros, hongos, bastones y paletas, que pueden poseer sabores a base de aceite-queso y que pueden incluir vinagre, cebolla, ajo, etc. La mayoría de estas botanas son realizadas con maíz, aunque se pueden encontrar de papa, trigo y harina de arroz con mezclas de almidones. (19)

La producción de botanas se ha caracterizado de acuerdo a su evolución en el desarrollo y complejidad de estos, teniendo así tres generaciones:

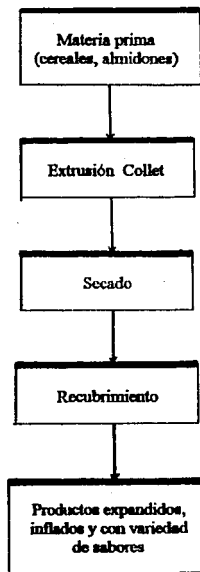
- a) La primera, comprende la elaboración de botanas de papa (potato chips) y de galletas horneadas.
- b) La segunda generación abarca a los "collets" inflados ("puffed collets"), en donde la mezcla debe tener un contenido de humedad bajo ($< 15\%$), la fuente de energía proviene del extrusor, se producen collets expandidos. Posteriormente se secan a un contenido de humedad de 4% máximo. El producto obtenido es cubierto con sabores.
- c) La tercera generación involucra la producción de una extensa variedad de formas y texturas que no es posible realizar con la tecnología "collet". La tercera generación se caracteriza por la mezcla de cereales, almidones (simples o modificados), aceite vegetal y emulsificantes, los cuales son cocidos en un extrusor y formados en un segundo extrusor. Véase sección 2.3.4.4. (22)

En las figuras 7 y 8 se presenta un diagrama de bloques de los procesos alternativos para la elaboración de botanas de la segunda generación.

En las figuras 9 y 10 se muestran los diagramas representativos de los procesos de elaboración de botanas de la tercera generación.

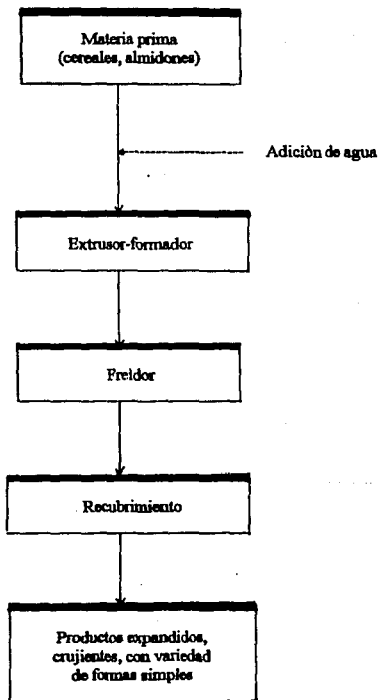
Las condiciones de operación y las formulaciones no fueron proporcionadas por las compañías elaboradoras de este tipo de productos, por ser las que actualmente se utilizan.

**FIG. 7 ELABORACION DE BOTANAS HORNEADAS
SEGUNDA GENERACIÓN**



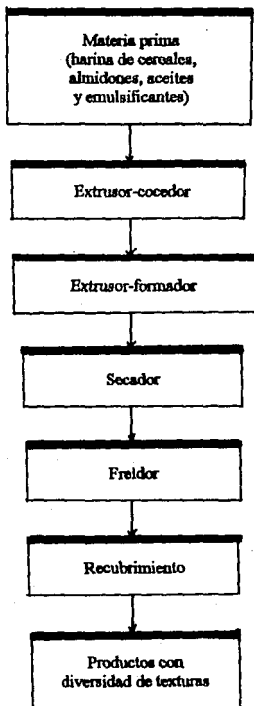
FUENTE: Harper, J.M. "Extrusion of foods". CRC Press, Inc. Florida, 1981.

**FIG. 8 ELABORACION DE BOTANAS FRITAS
SEGUNDA GENERACION**



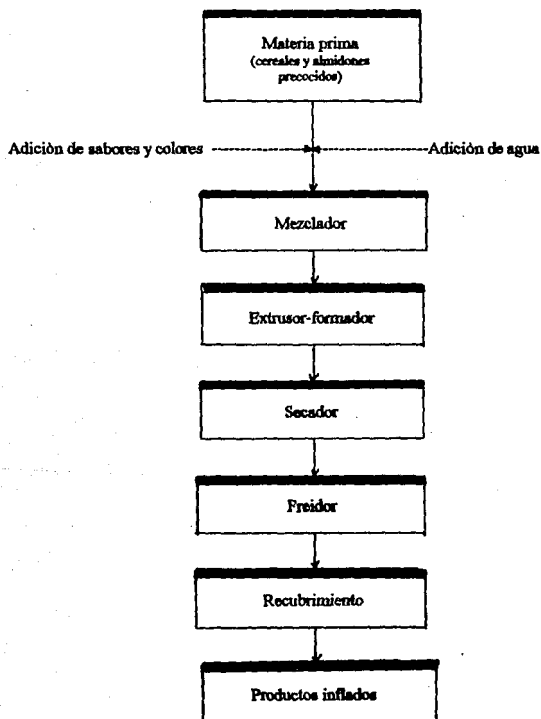
FUENTE: Harper, J.M. "Extrusion of foods". CRC Press, Inc. Florida, 1981.

**FIG. 9 ELABORACION DE BOTANAS
TERCERA GENERACION**



FUENTE: Harper, J.M. "Extrusion of foods" CRC Press, Inc. Florida, 1981.

**FIG. 10 ELABORACION DE BOTANAS FRITAS-INFLADAS
TERCERA GENERACION**



FUENTE: Harper, J.M. "Extrusion of foods" CRC Press, Inc. Florida, 1981.

4.1.1 Collets de maíz horneados.- Los granos de maíz amarillo han sido y siguen siendo el ingrediente principal de este tipo de botanas. A continuación se presentan las condiciones involucradas dentro del proceso:

1.- Línea de proceso. Es compacta y relativamente simple. (20) Consiste en una línea completa en donde el extrusor es la parte principal.

Los granos de maíz con un contenido de humedad de 13-14% son alimentados directamente a la boquilla de alimentación del extrusor. Algunos fabricantes administran aspiradores y humedecedores para el precondicionamiento de los granos antes de la extrusión, lo que ayuda a eliminar los desperdicios a través de una mezcla con agua para asegurar uniformidad y control de humedad antes del proceso principal. (22)

En la boquilla final del extrusor, los collets son cortados con una velocidad variable e introducidos a un secador, una vez secados se les aplica una mezcla de aceites o saborizantes por medio de aspersión.

Posteriormente, los "collets" son dirigidos a las máquinas de empaque.

2.- Ingredientes. Los granos de maíz usados para la producción óptima de collets, son requeridos con ciertas especificaciones con respecto a su composición y granulación.

En la tabla 11, se presentan las especificaciones para el maíz utilizado en la elaboración de collets horneados, en donde se tiene que el número estándar más común para la producción de este tipo de botanas es de -20 a +30, aunque el resto se utiliza sin obtener la misma calidad del producto elaborado.

Tabla 11. Especificaciones típicas para la granulación del maíz usado en la producción de collets horneados.

Tamaño (µm)	Número estándar (U.S.)
+ 1190	+ 16
+ 841	- 16 + 20
+ 595	- 20 + 30
+ 420	- 30 + 40
- 420	- 40

FUENTE: Harper, J.M. "Extrusion of foods"
CRC Press, Inc. Florida, 1981.

La existencia de harina excesiva en la alimentación puede producir serios problemas de extrusión (como atascamientos) y dar un producto no deseado. El grano de maíz utilizado, debe contar con las siguientes características para la obtención de un producto adecuado:

Tabla 12. Análisis proximal del maíz amarillo para uso en la elaboración de collets homeados.

	%
Humedad	13.0 - 14.4
Proteínas	6.5 - 8.0
Cenizas	0.2 - 0.3
Grasas	0.5 - 1.0
Fibra	0.2 - 0.4
CHO's	por diferencia

FUENTE: Horn, R.E. "Principles and applications of extrusion cooking".
Symposium in Paris, France. 1977.

3.- Operaciones. Antes de iniciar el proceso de extrusión, el barril y el dado o boquilla final son precalentados de 90 a 110°C, para crear una temperatura uniforme, se espera un calentamiento hasta lograr el equilibrio de temperaturas en las secciones del extrusor.

La temperatura de extrusión utilizada es de 150°C durante el proceso de extrusión adecuado. Un sobrecalentamiento da como resultado una reducción de tamaño y/o un producto quemado y con sabor desagradable.

Para empezar los granos son prehumedecidos, hasta obtener un contenido de humedad de 20-25% y son alimentados lentamente.(19)(20)(22)

El collet resultante es rígido con una textura lisa y una estructura abierta, teniendo un diámetro de 20 a 40 mm., después de expandido.

En seguida de la extrusión, los collets son secados a 175°C por 5 minutos y con una reducción en el contenido de humedad de 8% a menos de 4%. La reducción del contenido de humedad es necesaria para lograr una estabilidad en el almacenamiento y una larga vida de anaquel.

4.- Aplicación de sabores. Los productos collets son cubiertos con una mezcla aceite-saborizante para lograr un producto aceptado por el consumidor que generalmente busca productos tipo botana.

La más común de las coberturas es una mezcla de queso/aceite. Un ejemplo de una formulación de este tipo que se aplica a los collets homeados es la presentada en la tabla 13.

Tabla 13. Cobertura tipo Queso Cheddar para collets horneados.

<u>Formulación</u>	<u>%</u>
Queso Cheddar	45.0
Sólidos de leche no grasos	24.0
Sólidos de suero de leche	14.0
Aceite vegetal	9.0
Sal	3.0
Levadura	1.5
Sabor artificial de queso	0.8
Proteína vegetal hidrolizada	0.7
Acido láctico	0.6
Acido cítrico	0.5
<i>Estabilizante</i>	0.4
Emulsificante	0.3
Color alimenticio	0.2
<u>Mezcla queso/aceite:</u>	
Aceite de coco 76°	60.0
Queso Cheddar preparado	40.0
<u>Cobertura:</u>	
Collets secos	68.5
Mezcla queso/aceite	30.0
Sal	1.5

FUENTE: Zick, W.F. *Cereal Science Today*. 1969.

El queso Cheddar es mezclado y preparado con los demás ingredientes. Posteriormente se mezcla con el aceite en tanques con calentamiento y agitación constante para evitar que el queso se asiente. La temperatura de la mezcla se mantiene de 40 a 55°C.

De los tanques la mezcla es bombeada para cubrir los collets mediante espreas. La sal es añadida después de la mezcla, se agrega de 1.5 a 2% logrando un sabor agradable al paladar del consumidor. (22)

4.1.2 Collets de maíz fritos.- Son las botanas extrudidas que originalmente salieron al mercado, su popularidad se ha frenado debido a que su tamaño es menor y dan la apariencia de proveer menor producto por más dinero. (20)

La línea de procesamiento es similar a la de los collets horneados pero con la diferencia de que en lugar de un secador se tiene un freidor. El alimento es humedecido de 20 a 30%, se lleva a cabo el proceso de extrusión y se frie.

Al salir del extrusor se realiza una pequeña expansión del producto, la expansión final y mayor ocurre al freir el producto, en donde el contenido de humedad disminuye a 2% y el contenido de grasa se incrementa a 20-25%. (22)

Mientras el producto está caliente y la superficie está cubierta de aceite, los saborizantes y la sal son esparcidos.

4.1.3 Botanas de papa.- Después de los extrudidos elaborados con maíz, se encuentran las botanas expandidas elaboradas con papa. Su producción consiste en extrudir en seco y freir posteriormente. (22)(23)

Un método para elaborar botana de papa inflada utilizando un extrusor collet estándar es el siguiente:

Se alimentan al extrusor el 75% de los ingredientes secos que consiste en las papas sólidas granuladas y el 25% restante que son hojuelas de maíz con el 19% de humedad. Se realiza el proceso de extrusión a una temperatura de 130°C y una presión de 60 atm. Con esta alimentación se obtiene la producción de 1.2 Kg/min. (22)

La producción de papas a la francesa es realizada con la utilización de un dado o boquilla final de forma cuadrada con 0.7 mm por cada lado. Se utiliza un cortador de producto para obtener tiras de 6 cm de largo. El producto es secado en un horno a 150°C por 3 minutos, freído con aceite y cubierto con sal.

4.1.4 Tercera generación de botanas.- Consiste en productos basados en una mezcla de cereales y almidones cocidos en un primer extrusor y formados en uno segundo que provee de formas muy elaboradas y complejas. (22)

Un ejemplo de este tipo de botanas, son los anillos de cebolla que consta de una mezcla de : 93 partes de harina de arroz, 5 partes de cebolla (en trozos pequeños) y 2 partes de sal. La humedad máxima de la mezcla es de 30%.

Se extrude a través de un dado con forma anular con un diámetro externo de 19 mm aproximadamente. Los aros son cortados y llevados a un secador hasta obtener un contenido de humedad de 8.5%; son empanizados antes de ser fritos.

La tercera generación es caracterizada por la variedad de formas sofisticadas y complejas elaboradas por el diseño del dado. Las formas obtenidas son de flor con líneas de colores, de rizos y de rollos entrelazados, principalmente. (19)(22)

Otra forma de botanas pertenecientes a la tercera generación involucra la *extrusión dual o coextrusión* que ya se mencionó con anterioridad. (ver capítulo 2)

4.2 Cereales para desayuno listos para comerse.

Los cereales listos para comerse (RTE- Ready to eat) han llegado a ser el principal y más popular de los desayunos, debido a la conveniencia y aceptabilidad de estos por el consumidor, en relación al costo y sabor.

El origen de los cereales RTE data de 1860 cuando se elaboraban una variedad de desayunos llamados "Granolas", consistentes en una mezcla de cereales cocidos. (22)

La producción de cereales cocidos, hojuelados e inflados se realizó posteriormente.

Las primeras aplicaciones de extrusores para la elaboración de cereales RTE fueron en 1930, cuando se utilizaron mezclas de cereales cocidos, los cuales eran secados y eventualmente inflados.

4.2.1 Tecnología de los cereales RTE.- El proceso inicial para la producción de cereales RTE hojuelados era realizado con mezclas de cereales cocidos, colorantes, sabores y azúcar.

Los cereales se usaban enteros o en trozos grandes y libres de harinas. El cocimiento se realizaba en hornos rotatorios con vapor presurizado, con un tiempo de residencia de dos horas para productos de maíz y de una hora para productos de trigo; obteniéndose mezclas con un contenido de humedad entre 30 y 50% dependiendo de los ingredientes utilizados.

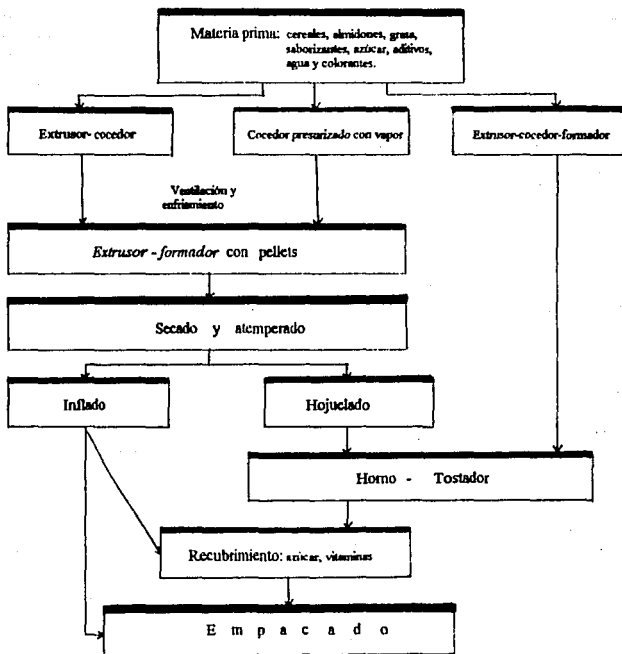
La mezcla cocida era secada hasta obtener un contenido de humedad de 18 a 30%. El producto obtenido se hojuelaba, se tostaba (dándole al producto textura quebradiza, así como sabor) en hornos a temperaturas de 150-250°C dependiendo de la humedad de las hojuelas y con un tiempo de residencia del producto dentro de los hornos de 1-4 min.(22)

Una sección de enfriamiento después del tostado brindaba al producto la temperatura adecuada para su empaque y almacenamiento.

Actualmente el uso de los extrusores simplifica el proceso de elaboración, aunque se basa en el procedimiento anterior.

A continuación se presenta el diagrama que resume el proceso de elaboración de los cereales RTE para desayuno, que actualmente muchos fabricantes utilizan. (22)(23)

FIG. 11 PROCESO DE ELABORACION DE CEREALES PARA DESAYUNO (RTE).



FUENTE: Harper, J.M. "Extrusion of foods". Florida, 1981.

El uso de extrusores para la elaboración de cereales RTE para desayuno, provee de ventajas tales como el tiempo de cocimiento que disminuye a 3 minutos debido a que el extrusor trabaja a temperaturas de 130-180°C y el contenido de humedad de la mezcla es de 20-30%, mientras que con otros métodos se tiene un tiempo de cocimiento de 1-2 horas y a temperaturas de 110-120°C, con una humedad de 30-50%. (22)

Debido a que los cereales tienen un bajo contenido en proteínas, en especial el aminoácido esencial lisina (limitante en los cereales), los cereales RTE pueden ser fortificados con materiales proteicos (tales como proteína de soya y caseinato de sodio), que incrementan la calidad proteica.

La adición de 10-15% de estos ingredientes incrementa el contenido de la mezcla a 12-20% en contenido proteico. Un exceso en la adición de estos materiales proteicos tiende a reducir el inflado de la mezcla, ya que se hace muy viscosa y hace difícil el paso a través del extrusor, en especial del dado de salida. (22)

4.3 Harina para tortillas de maíz.

México es un país cuya sociedad está distribuida en forma piramidal y en el que la clase de nivel socio-económico bajo representa la base de esta estructura, con el mayor porcentaje de la población mexicana. (30)

Es esta población la que presenta los problemas nutricionales más serios, ya que su alimentación es rica en carbohidratos, pero carece de un suministro adecuado de proteínas, debido a que los alimentos con contenidos elevados y de buena calidad de éste nutrimento tienen un precio prohibitivo para esta clase social. (14)(30)

El maíz es el producto básico en la alimentación del pueblo mexicano. Tiene un contenido bajo de proteínas, las cuales son de mala calidad y gran parte de este cereal se consume en forma de tortillas.

Algunos estudios han demostrado que sólo existen ligeras diferencias nutricionales entre la materia prima (maíz) y el producto terminado (tortillas), dado que se ha observado que la calidad proteica de este último con respecto al primero presenta tan sólo una ligera tendencia a mejorar.

En México, el maíz utilizado para la elaboración de tortillas es sometido a un tratamiento de cal, dicha operación es conocida con el nombre de *nixtamalización* y presenta tanto ventajas como desventajas.

Dentro de las ventajas se encuentra que el producto final tiene un mayor contenido de calcio, ya que este mineral es un constituyente de la cal, contribuyendo así a cubrir los requerimientos de este mineral.

Otra ventaja del cocimiento alcalino es que ayuda a evitar la pelagra, que es una enfermedad que se presenta en regiones donde sus habitantes consumen el maíz sin el tratamiento de la nixtamalización. (30)

La pelagra es una enfermedad producida por una insuficiencia vitamínica múltiple, especialmente del complejo vitamínico B2 y más concretamente del ácido nicotínico. Se caracteriza por trastornos mentales y nerviosos (insomnio y depresión, alucinaciones e ilusiones), dermatitis (eritematosa eccematóide), inflamaciones en la piel y síntomas gastrointestinales (estomatitis, enteritis y diarrea). (11)(15)

Durante el tratamiento en condiciones térmico-alcálinas se destruye a la leucina, con lo que se reduce la relación leucina/isoleucina en el maíz y se mejora el valor nutritivo de la proteína.(30)

Las principales desventajas de la nixtamalización son que el gasto de agua es sumamente elevado y el tiempo de proceso es muy largo.

Es a causa de estas desventajas que se utiliza la extrusión como alternativa al proceso tradicional de elaboración de la harina de maíz para tortillas.

Debido a que la tortilla es un producto de amplio consumo en nuestro país, podría servir como medio para incrementar el consumo de proteína de bajo costo sin necesidad de modificar costumbres de alimentación, que en muchos casos representa un problema en la introducción de nuevos productos.

En la figura 12 se presentan los diagramas de elaboración de harina de maíz para la elaboración de tortillas por el método de nixtamalización y por el proceso de extrusión, así como las características de cada uno de ellos.

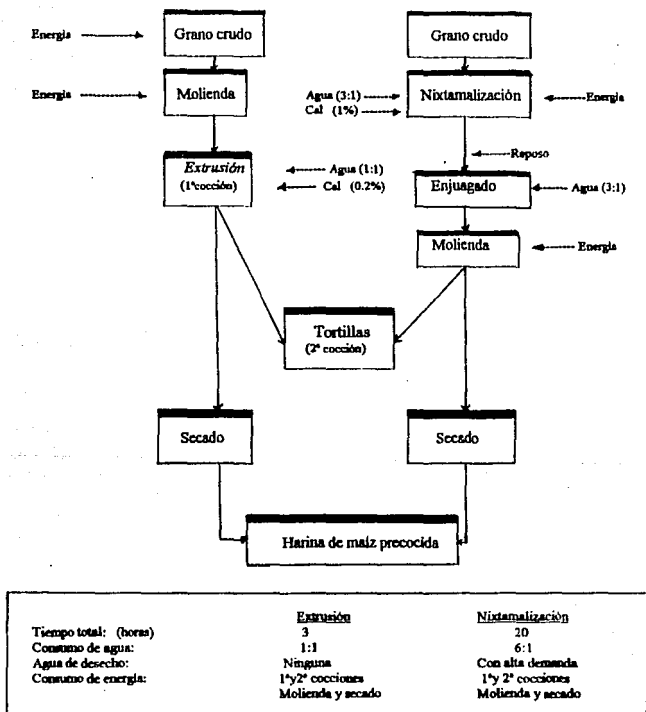
Como puede observarse las ventajas del proceso de extrusión en la elaboración de harina y tortillas de maíz son las siguientes: (4) (14)

- a) Ahorros considerables en el consumo de agua.
- b) Ahorros considerables en el tiempo de proceso.
- c) No hay agua de desecho.
- d) Mejoramiento de la calidad nutricional del producto ya que no hay pérdida de nutrientes solubles en el agua de desecho y se tiene un corto tiempo de residencia en el extrusor.

Como desventaja principal del proceso de extrusión se tiene la siguiente: (4) (14)

- a) La introducción de una nueva tecnología, lo cual no se logra fácilmente sobre todo en ciertos estratos sociales en donde por hábitos alimenticios no se consumen productos que no sean los conocidos.

Figura 12. Diagrama esquemático de los procesos de extrusión y nixtamalización para el maíz.



FUENTE: Durán de Banzo, C., Oserra Vargas, R. "Nuevos productos agrícolas procesados"
 Rev. Tecnol. Alim. Vol 15 (6). México.

Diversos estudios realizados por la Comisión Nacional de Alimentación del Instituto nacional de la Nutrición "Salvador Zubiran", muestran el valor nutricional de algunos de los productos extrudidos existentes en el mercado. (24)

En la tabla 14, se puede observar que son productos con alto valor nutricional principalmente a nivel energético y proteico, ya que a productos tales como alimentos para niños se le agregan concentrados altamente nutritivos.

TABLA 14. ANALISIS PROXIMAL DE ALIMENTOS INDUSTRIALIZADOS. (g/100g producto)

PRODUCTO	TIPO	NOMBRE COMERCIAL	HUMEDAD	ENERGIA (Kcal)	CHO's	LIPIDOS	PROTEINAS	FIBRA CRUDA	CENIZAS
ALIMENTOS INFANTILES	PICADO	GERBER	3.7	360	50.5	1.4	36.3	1.1	7.0
BOTANAS	CHARRITOS	BARCEL	2.2	546	47.3	39.4	5.6	1.5	4.0
		SABRITAS	1.7	531	51.0	35.6	6.1	1.7	3.9
	PAPAS FRIITAS	BARCEL	3.2	530	51.4	33.2	6.4	1.8	4.0
		SABRITAS	2.6	538	52.3	33.9	5.8	1.6	3.8
HARINA DE MAIZ	HELTAMALIZACION	MINSA	11.9	363	70.9	4.6	8.7	2.2	1.7
CEREAL	DESAYUNO	ALL BRAN	3.6	347	66.9	2.2	13.0	7.6	6.7
		CERELAC	1.1	404	78.1	5.0	13.5	0	2.3
		CORN-FLAKES	4.9	375	82.4	0.6	7.9	0.8	3.4
		RICE KRISPI	4.4	381	81.5	1.4	8.1	0.8	3.8
		CORN-POPS	2.9	392	89.8	0.3	4.4	0.6	2.0
SOYA	HARINA INTEGRAL	HARINA	4.0	458	21.2	24.0	43.6	2.6	4.6
		PASTA	6.3	307	34.2	1.1	44.1	6.6	7.7
	TEXTURIZADA	PROTOLES	7.1	320	32.8	0.9	50.1	3.3	5.8

FUENTE: **Mendoza, M.E., Bourges, R.H., Morales, J.**
 Composicion de alimentos industrializados. Tablas de uso practico
 I.N.H. 1987

4.4 Características generales de los equipos de extrusión.

Diversos fabricantes suministran equipos de extrusión que difieren en características mecánicas y en las condiciones de operación. Cada uno de los fabricantes provee al comprador de una descripción completa del equipo, que incluye las características que lo distinguen (con ilustraciones), así como las aplicaciones que tiene.

A continuación se presentan algunas de las características de los equipos, proporcionadas por los fabricantes.

4.4.1 Anderson-Ibec. (Division of International Basic Economy Corp., 19699 Progress Dr., Strongsville, Ohio 44136). (3) (26)

La Cia. Anderson se inició fabricando prensas de tipo gusano para la extracción de aceite a principios de 1900. Estas prensas encontraron su primera aplicación para la extracción de derivados de los desperdicios de la carne y para la elaboración de gelatinas, pegamentos, etc. (22)

A principios de 1950, Anderson-Ibec rediseñó su primera extractora de aceite para extrudir grano en la producción de alimentos para animales. Las primeras máquinas fueron lanzadas al mercado en 1955 y se llamaron "Expansores verticales de grano".

El extrusor-expansor horizontal similar en configuración a los actuales diseños, se introdujeron en 1958 con las modificaciones y mejoras que se le han hecho para aumentar la capacidad del equipo. (3) (22)

Las principales características del extrusor Anderson-Ibec con cocimiento HTST son las siguientes:

- 1) El tornillo posee una discontinua trayectoria con un radio de una proporción de 12:1 (L/D).
- 2) Consta de pernos de corte, que dan compresión en el tornillo.
- 3) El tornillo lleva unos cortes especiales en los alabes para que no interfieran al girar con los pernos de corte.
- 4) Las secciones del tornillo en el extremo de la descarga, están sujetos al desgaste por lo que pueden reemplazarse con facilidad y están contruidos con material resistente.
- 5) Se usan camisas de acero inoxidable endurecido, que se instalan en el barril o cilindro y se sujetan con los pernos de corte. Las camisas son reemplazables.

6) El barril no lleva chaquetas de calentamiento y/o enfriamiento, ya que son costosas y el uso de ellas elevaría el costo total de el extrusor.

7) El juego entre el rotor (tornillo) y el barril es aproximadamente de 3 mm.

8) Los extrusores Anderson no tienen equipo para pre-acondicionamiento. Los ingredientes se alimentan a través de la tolva, utilizando un alimentador volumétrico.

El agua se agrega a una presión de 0.7 Kg/cm^2 a través de una válvula de inyección colocada a una distancia de cuatro veces el diámetro del extrusor, contando a partir de la tolva de alimentación.

El tornillo transporta el producto humedecido como una masa moldeable. Normalmente se le inyecta vapor al producto a través de dos o tres entradas localizadas a una distancia de aproximadamente cinco diámetros de la salida. (3) (22)

Se le puede inyectar vapor (10 Kg/cm^2) a la raíz del tornillo o rotor, mejorando la incorporación de humedad al producto.

9) Tienen una transmisión para mover el rotor del tipo de bandas.

10) Posee un cortador de producto que se ajusta a la salida sobre un eje en la placa que contiene los dados que le dan forma al producto.

Es conveniente obtener un extrusor con una transmisión de velocidad variable en el cortador para lograr variabilidad de combinaciones en relación a los tamaños.

11) Los extrusores Anderson-Ibec poseen capacidades de producción amplias para los siguientes productos: cereales pregelatinizados, almidones pregelatinizados, proteína texturizada, alimentos para animales, cereales expandidos y botanas. (3)(22)

La tabla 15 muestra las características principales del extrusor Anderson-Ibec.

Tabla 15. Capacidades de producción del extrusor Anderson-Ibec.

Tamaño nominal (in)	Diámetro-tornillo (cm)	Longitud-cilindro (cm)	Motor (HP)	Capacidad (ton/hor)		
				Botanas baja densidad	Alimentos para animales	Proteína texturizada
4.5	11.4	137.0	25.0	0.19	0.36	0.23
6.0	15.2	183.0	30.0	0.45	0.91	0.54
8.0	20.3	244.0	125.0	1.36	3.63	1.47
10.0	25.4	305.0	205.0	2.50	7.26	2.95

FUENTE: Anderson-Ibec. Strongsville, Ohio.
Harper, J.M. "Extrusion of foods"

4.4.2 Appropriate Engineering. (815 West Ninth, St., Corona California 91720) (3)(22)

El diseño original creado por Appropriate Engineering se enfocó en un sencillo y pequeño extrusor para ser construido en ciudades desarrolladas para la producción de alimentos nutritivos a base de soya. Posteriormente, han sido elaborados a pequeña escala para uso en laboratorio. Sus características principales son las siguientes:

- 1) Son construidos de acero inoxidable, para uso en alimentos.
- 2) Tienen tolva alimentadora volumétrica.
- 3) El barril es elaborado con segmentos encaquetados intercambiables.
- 4) El tornillo es construido por aletas cubiertas y soldadas alrededor de una flecha.
- 5) Poseen controles de operación de velocidad de alimentación, de temperatura del producto en sus diversas secciones y de la cantidad de humedad inyectada.
- 6) El extrusor puede ser usado para expandir cereales, para producir proteína vegetal texturizada y para elaborar una gran variedad de alimentos para consumo humano (botanas, cereales para desayuno, etc.), así como para mascotas.

4.4.3 Compañía Bonnot. (805 Lake Street, Kent, Ohio 44240). (3)(22)

Tiene una larga historia en el campo de la extrusión en donde empezaron fabricando extrusores para productos de arcilla. Desde hace algunos años, se han dedicado a diseñar y desarrollar extrusores para alimentos.

El extrusor-cocedor Bonnot tiene un diseño similar a los extrusores para plásticos donde el tornillo tiene secciones definidas de alimentación, transición y medición. La sección alimentadora abarca dos álabes más, adelante de donde termina la abertura de alimentación y una sección mediadora que abarca hasta la mitad de la longitud del tornillo.

Con este diseño, la sección de transición es bastante larga y tiene un aumento gradual en el diámetro de la raíz, para evitar que el producto se quede atrapado sin fluir. (3)(22)

Las características principales del extrusor Bonnot son:

- 1) El barril está fabricado en secciones que llevan chaquetas par la adición de agua o vapor.
- 2) Es común que se utilice agua fría en la chaqueta en la sección alimentadora y vapor a temperatura variable en el resto de las chaquetas.
- 3) El material usado es acero inoxidable, incluyendo los tornillos (con acero tipo ARMCO 17-4), que tienen resistencia a la tensión y al desgaste.
- 4) Para dar una resistencia adicional al desgaste, se le aplica en las orillas de los álabes, una soldadura tipo Stellite con un esmerilado y pulido final.
- 5) La cantidad de calor que llega de la disipación de la energía mecánica, es una función del producto y su viscosidad.

Condiciones de baja humedad resultan en consumos altos de energía mecánica, mientras que alimentos de alta humedad (35-40%) requieren menos de un 20% de la energía.

- 6) La mayoría de los extrusores Bonnot tienen adaptada una transmisión de velocidad variable para ajustar el rango de extrusión y la disipación de energía, pero generalmente operan a menos de 100 rpm.
- 7) Los cortadores a la salida del producto, pueden ser de varios tipos, los más comunes son: navajas rotativas, navajas rolantes (fuera de centro) y cortadores de guillotina.
- 8) Los extrusores Bonnot no tienen cámaras para el pre-acondicionamiento, aunque la compañía puede suministrar mezcladoras de paletas para hacer mezclas secas y húmedas.

9) La entrada al extrusor puede suministrarse con una tolva del tipo "Fondo vivo", que consiste en una serie de pequeños alimentadores de gusano girando y que alimentan uniformemente productos que tienden a pegarse y formar arcos o bóvedas.

10) Los extrusores Bonnot se han usado para fabricar los siguientes productos: cereales listos para comer, botanas, proteínas texturizadas de soya, almidones pregelatinizados, alimentos para mascotas, etc.

11) Los extrusores Bonnot se fabrican en una gran variedad de tamaños.

La tabla 16 presenta una descripción de las capacidades, potencia, etc., de los extrusores Bonnot.

Tabla 16. Capacidades de producción de los extrusores Bonnot.

Tamaño nominal (m)	Diámetro-tornillo (cm)	Longitud-tornillo (cm)	Motor (HP)	Capacidad nominal	
				(Kw)	(Kg/hr)
2.25	5.72	114.0	20	14.9	50
4.00	10.20	204.2	40	29.8	270
6.00	15.20	304.0	150	112.8	820
8.00	20.30	406.0	250	186.0	1360
10.00	25.40	508.0	400	298.0	2320

FUENTE: Complete Bonnot and Manufacturing, Kent, Ohio.

4.4.4 Extrusor Brady. (The Koehring Farm Division, Appleton, Wisconsin 54911).

Los extrusores Brady comúnmente utilizados son los modelos 206 y 2106, que son equipos similares cuya única diferencia es que la primera es portátil mientras que la segunda es de construcción estacionaria con una base permanente. (3)(22)

El extrusor Brady fue diseñado para uso intermitente en el campo, pero con algunas modificaciones ha operado con dos turnos al día de producción.

Sus principales características son las siguientes:

1) El tornillo está construido de un tubo hueco de aproximadamente 11.4 cm de diámetro por 86 cm de longitud.

- 2) Los álabes están formados de una varrilla enrollada en espiral alrededor del tubo y mantenida en posición por medio de soldadura.

De esta manera se tiene un tornillo con una hélice uniforme con un ángulo aproximado de 5° y una altura del álabe de 0.8 cm.

- 3) Para el control de la temperatura de extrusión, el tornillo lleva en el extremo de la salida una pieza cónica que ajusta con otra estacionaria llamada "cup" o taza.

El movimiento longitudinal del tornillo puede hacerse durante el funcionamiento para ajustar el clavo entre el cono y la taza, según la abertura entre éstos, se eleva la temperatura del producto a la salida.

- 4) Como únicamente cuenta con un dado, un cono y una taza, las formas del producto a la salida están restringidas a productos de hojuelas irregulares expandidas, planas y delgadas.

El material puede ser molido para producir una *harina precocida* y nutritiva adecuada para realizar atoles instantáneos, bebidas, sopas o productos panificados.

El pretriturado de los ingredientes mejora la operación de extrusión, así como la uniformidad del producto.

- 5) El extrusor Brady puede procesar y cocer cereales tales como maíz, arroz, trigo y sorgo, en combinación de oleaginosas (soya, ajonjolí, etc) o leguminosas (garbanzos).

- 6) Puede ser operado desde 540 a 1000 rpm.

- 7) La capacidad a la salida es de 550 Kg/hr cuando se usa un motor de 100 HP. La potencia específica para este tipo de extrusor en seco es de 0.10 Kw-hr/Kg.

La humedad máxima del alimento debe ser de 20%, bajo estas condiciones el Brady tiene una capacidad de 340-350 Kg/hr.

4.4.5 Extrusores Dorsey-McComb (Dorsey-McComb, Inc., 999 Tejon, St. Denver, Colorado 80204). (22)

Fabrica extrusores tipo collet, que representan una clase especial de extrusores-cocedores diseñados para cocer y expandir maíz germinado a baja humedad (< 12%) u otros cereales a esta humedad dentro de piezas llamadas collets.

Los tornillos en los extrusores Dorsey son equipados con una chaqueta para mantener la temperatura uniforme en la boquilla, pero para iniciar la operación del extrusor, el barril y la boquilla a menudo son precalentados. Se han realizado extensas modificaciones al tornillo

y a la boquilla para obtener productos como los conocidos con el nombre de "Fried corn curls" (rizos fritos de maíz).

Las características del extrusor elaborado por la Cia. Dorsey-McComb son mencionadas a continuación: (22)

- 1) Tienen una capacidad de producción de 135 a 450 Kg/hr, con controles de operación.
- 2) El tornillo es de doble trayectoria y tiene canales redondeados y profundos.
- 3) El barril tiene ranuras en forma de espirales para lograr la forma del producto deseada.
- 4) El equipo es construido de acero inoxidable, provee una capacidad de producción continua para una gran variedad de botanas expandidos, con forma y sabores deseados.

4.4.6 Extrusor Insta-Pro. (Triple "F", Inc., 10301 Dennis Dr., Des Moines, Iowa 50322).

Ha desarrollado un extrusor autógeno para el tratamiento de frijol entero de soya con incremento de calor.

El barril y el tornillo son realizados en segmentos. Las secciones del barril tienen canales longitudinales y aros internos reemplazables, los cuales corresponden a la ubicación de antecámaras de vapor. (22)

Debido a que la cantidad de energía disipada en las antecámaras de vapor es significativa, muchos de los desgastes ocurren en los aros que unen a las antecámaras con el extrusor mismo, por lo que dichos aros son reemplazables, reduciendo en costo de mantenimiento.

Los extrusores Insta-Pro se encuentran en dos modelos: 500 y 2000, con una capacidad de 275-450 Kg/hr y de 600-900 Kg/hr respectivamente.

Ambos extrusores operan a 540 rpm y tienen alimentadores volumétricos, sistemas de inyección de agua, una boquilla múltiple y ensamblaje para una cortadora.

El extrusor Insta-Pro ha sido operado como parte del proceso de molienda comercial en los Estados Unidos, en donde ha demostrado tener la capacidad de llevar a cabo operaciones eficientes en procesos continuos en la elaboración de alimentos.

Las mezclas de cereales y oleaginosas o leguminosas con un contenido menor al 10% de grasa, requiere una adición de agua de 5-15% para el modelo 500 y de 3-7% para modelo 2000. (22)

4.4.7 Extrusores Manley. (Manley, Inc., 1920 Wyandotte, St., Kansas City, Mo. 64141).

Al inicio de los 60's, Manley expandió su línea de procesamiento de botanas, la cual se centro en palomitas de maíz.

Actualmente fabrican dos extrusores básicos tipo Collet, cuyas características son las siguientes:

- 1) Tiene una velocidad de producción de 90 Kg/hr.
- 2) Poseen cuatro tornillos con canales rectangulares que giran a 300 rpm y con un diámetro de 10 cm.
- 3) Tienen un sistema de recirculación de agua fría para el barril y un control de temperatura en la boquilla.
- 4) Tienen una cortadora o cizalla con velocidad variable para elaborar productos a una longitud deseada.

La Cia. Manley puede administrar todo el equipo necesario para la producción de botanas o botanas extrudidas-expandidas incluyendo transportadores, secadores, freidores, etc.

4.4.8 Extrusores Sprout-Waldron. (Metal Products Div., Koopers Company Inc., Muncy, PA 17754). (3)(22)

Han elaborado extrusores-cocedores desde 1958. Su funcionamiento es el siguiente: una cantidad significativa de los ingredientes alimentados es cocida a la presión del horno o cocedor colocado en la parte superior del tornillo del extrusor.

Para mantener la presión arriba de la atmosférica, se usa un alimentador de velocidad variable que lleva un sello el cual se carga con aire para mantener el sellado. (3)

La flecha del cocedor a presión tiene paletas para remover y transportar el producto. La flecha gira entre 10 y 24 rpm y da un tiempo de residencia de aproximadamente 3 minutos.

Puede ser añadida una cantidad de vapor y/o agua a baja presión para dar un cocimiento y una humedad uniforme al producto.

El tornillo del extrusor se fabrica con acero inoxidable tipo 304, con álabes sencillos en la sección alimentadora seguido de álabes dobles. Los álabes de los tornillos son profundos con un ángulo de 13° en la hélice y una relación L/D de 8:1.

En ciertos tornillos se colocan pernos en el canal del tornillo cercanos a la descarga, para impartir mezclado y para darle mayor disipación de energía. (22)

Las condiciones típicas de extrusión son de 33% de humedad y aproximadamente de 0.7 atm de presión. El tornillo del extrusor gira a una velocidad constante de 280 rpm y está directamente acoplado a una transmisión reductora de engranes en línea con el motor.

El barril es segmentado y no tiene camisas, en la mayoría de los casos tampoco chaquetas. Los segmentos se hacen de acero inoxidable fundido tipo 431 y tiene una dureza de 38-42° Rockwell C.

El producto obtenido cae directamente a la succión de un sistema de transporte neumático, que sirve como preenfriador y secador para el producto cuando aún está caliente.

El extrusor-cocedor Sprout-Waldron se fabrica en dos tamaños, una descripción de ellos es la resumida en la tabla 17.

El modelo SW-450 ha sido usado extensamente como el modelo para planta piloto y puede suministrarse con una amplia variedad de tornillos y una transmisión para trabajar un gran rango de productos y a condiciones de operación diferentes. (3)(21)(22)

La ventaja sobresaliente de los extrusores, es su habilidad para precocer los ingredientes bajo presión durante seis minutos. Este extrusor se usa para elaborar: alimentos para mascotas, cereales listos para comerse, almidones pregelatinizados, harina de soya, botanas, etc.

Además de los extrusores, la Cia. Sprout-Waldron administra y distribuye componentes para los sistemas de extrusión: molinos, enfriadores, mezcladores, transportadores neumáticos, cernidores, transportadores de gusano, etc. (31)

Tabla 17. Descripción del extrusor-cocedor Sprout-Waldron.

Modelo	Tamaño nominal (in)	Diámetro-tornillo (cm)	Longitud-tornillo (cm)	Motor de transmisión (HP)	Capacidad (productos de densidad moderada) (Kg/hr)
450	4.5	11.4	variable	75	910 - 1360
775	8.0	20.3	157	50-150	910 - 2730

FUENTE: Sprout-Waldron Inc. Mancy, P.A.

4.4.9 Extrusores Wenger. (Cla. Wenger, Sabetha, Kansas 66534). (3)(22)

Es una de las compañías tecnológicamente más adelantada y es el mayor fabricante de extrusores-cocedores del mundo, cuentan con una planta piloto muy completa en donde se puede experimentar con productos a base de granos y harinas.

Se iniciaron en 1946 con la construcción y venta de equipo para melazas alimenticias para animales. En 1960, los extrusores fueron realizados para elaborar productos para consumo humano.

Estos extrusores se caracterizan por lo siguiente:

1) El barril y el tornillo son de fabricación modular, es decir se puede añadir o eliminar secciones, logrando varias longitudes y relaciones L/D.

Esta cualidad modular nos permite obtener una serie de combinaciones del tiempo de residencia y temperatura de los productos. Ver figura 13.

2) Cada segmento del barril tiene una camisa a través de la cual se puede agregar calor con vapor o enfriar con agua fría, con esto se logra un control de temperatura en el punto deseado.

En ciertos modelos, la inyección directa de vapor al producto es realizada a través de orificios localizados a los lados de las secciones del barril.

3) El barril donde se desliza el producto, tienen una configuración especial con ranuras transversales o longitudinales o en espiral para darle al producto una serie de cortes y fricción para lograr el cocimiento.

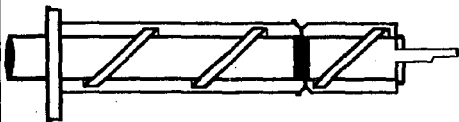
4) El tornillo segmentado tiene diferentes formas a todo lo largo así por ejemplo, la sección alimentadora tiene una hélice sencilla de paso normal, las secciones intermedias llevan una doble hélice con un paso más cerrado de 12° aproximadamente. La última sección se hace cónica para aumentar la compresión y el corte, aumentar así la temperatura rápidamente.

5) El material utilizado en los extrusores para alimentos es el acero inoxidable tipo 304 o 316 los cortes del barril y tornillos son tratados con acero inoxidable caliente o con Stellite.

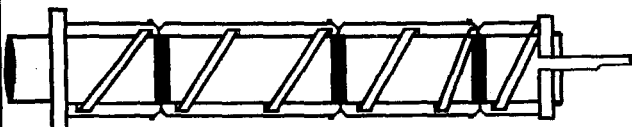
En la tabla 18 y 19 se presenta el equipo disponible en la planta piloto de la compañía Wenger y las aplicaciones de cada uno de los modelos existentes.

Por último en la tabla 20 se encuentran las capacidades de los extrusores en forma resumida.

Fig. 15 Construcción típica de tornillos y berritas acimentados del extractor Wenger.



2 cabezas



4 cabezas

Fuente: Wenger Manufacturing Co.
Sabetha, Kansas.

Fig. 1. Modelo. Encino disponible en la planta piloto de la Cia. Wmeyer.

Modelo	Canales		Lote	Módulo	Capacidad	(Módulo)	Corte	Cerveza	Botanas	Botanas	Jarana de	Sera	Alimento	Alimento	Vanilla	Borracho	Pa-est.	Conf.	Corte	Corte	Corte
	anual	para pruebas																			
	an	lt	an	lt/hr	lt/hr	MP	lt	lt	lt	lt	lt	lt	lt	lt	lt	lt	lt	lt	lt	lt	lt
1-1	8	50	24	50-200	20-100	25	X	X													
1-2	150	100	40	250-1000	100-450	100															
1-15 24-24	120	100	40	250-1000	100-450	75	X	X													
1-25 24	120-80	100	40	250-1000	100-450	75	X														
1-11	180	2000	400	10000-11000	4500-7200	150	X														
1-26	221	2000	1420	12000-22000	1500-13000	200	X														
2a- B	80	50	20	100-1500	40-800	75															
2a-110	113	150	40	400-500	100-220	75															
2a-20	81	30	20	50-400	20-180	7.5															
2-133	180	500	200	1500-7000	200-1400	40															
2-27	271	1000	410	6000-2000	1800-2600	75															
2-31	8	50	24	150-200	70-140	7.5	X														

Fuente: Wmeyer Manufacturing Co.

TABLA 19. TIPO DE PRODUCTOS ELABORADOS SEGUN EL MODELO
DE EXTRUSOR UTILIZADO DE LA CIA. WENGER.

MODELO	X-20	X-20 S	X-155 B	X-175	X-200
Proteina vegetal texturizada	x		x	x	x
Cereal enriquecido c/proteina.	x				x
Cereales RTE p/hojuelarse					x
Productos de harina integral de soya.			x	x	x
Harina de cereales gelatinizados.			x	x	x
Almidones para la industria.	x		x		x
Alimentos para gatos y perros.			x	x	x
Alimento para animales de laboratorio.			x	x	x
Alimento para peces.			x	x	x
Alimentos balanceados para ganado (granovores).			x	x	
Botanas a base de papa	x				
Polvo para bebidas proteinado.	x				
Alimento para infantes.	x				
Analogia de carnes.					x
Botanas fritas.		x			

FUENTE: Ing. Hector Acosta Matlock.
Mexico, 1984.

Tabla 20. Capacidades de los extrusores Wenger disponibles.

Modelo	Diam. Tornillo (cm)	Módulos -cilindro	Potencia (Kw)	Botanas	Capacidad (Kg/hr)	
					Alimento p/animales	Proteinas texturizadas
X-20	8.3	3 - 7	22	70-110	360	70-140
X-25	13.3	3 - 7	45-56	110-410	136	160-320
X-155	18.4	6 - 8	75-93	700	4500	700-1100
X-175	20.9	6 - 10	112-150	800	5500	900-1400
X-200	24.1	4 - 8	150-186	1140	9100	800-2700

FUENTE: Ing. Héctor Acosta Maslock.
México, 1989.

4.4.10 Extrusor Chihuahua I. (CIATECH, Chihuahua, México.)

Este extrusor fue diseñado principalmente para cocer y extrudir granos de soya, maíz, avena, arroz y combinaciones de ellos.

Consiste en un barril con soleras de corte dentro del cual gira el tornillo que tiene álabes muy cortos y de paso sencillo. (3)(4)(7)(8) (9)

El control de la temperatura del producto se realiza ajustando la abertura entre un cono situado en el extremo del tornillo que encaja en una taza cónica.

La transmisión para mover el tornillo puede ser de engranes o de poleas.

Actualmente el CIATECH, tiene diseñados tres tamaños de extrusores: ECH-4, ECH-6 Y ECH-8. La tabla 21 muestra las características de cada uno de ellos.

El extrusor Chihuahua I se diseñó principalmente para la fabricación de harinas, de ahí su sencilla construcción. Sin embargo, se tiene en proyecto adicionarle accesorios opcionales tales como:

- a) Cabezal para dados con formas diversas.
- b) Conexiones para la inyección de agua y vapor.
- c) Camisas de enfriamiento.
- d) Trasmisión de velocidad variable.
- e) Alimentación de producto variable.
- f) Cortador del producto.

Tabla 21. Extrusores disponibles en CIATECH.

Modelo	Diámetro de barril (in)	Capacidad (Kg/hr)	rpm	Potencia (HP)
ECH-4	4	200	1200	30
ECH-6	6	500	900	75
ECH-8	8	1400	650	200

FUENTE: Ing. Héctor Acosta Matlock.
México, 1989.

CONCLUSIONS.

1. El proceso de extrusión es una alternativa en la elaboración de productos alimentarios, en la cual se puede incrementar el contenido proteico del producto extrudido final. Dicho proceso consiste en cocer, formar y texturizar las diferentes materias primas alimentadas.
2. Debido a que la cocción es casi instantánea provoca un daño mínimo a los factores nutricionales sensibles al calor.
3. El extrusor es un equipo mediante el cual se logra transformar en forma eficiente, la energía eléctrica o mecánica en energía térmica, realizando así una mezcla homogénea y de fácil manejo.
4. Los extrusores están diseñados en forma segmentada para una posible expansión, obteniéndose capacidades de producción muy altas y productos finales con cuentas microbiológicas muy bajas debido a que dicha segmentación permite la limpieza detallada de cada una de sus partes, lográndose así un producto con una larga vida de anaquel.
5. Un extrusor ideal para el manejo de productos alimenticios deberá cumplir con las siguientes condiciones de diseño y construcción: ser fabricado de materiales no corrosivos ni tóxicos, con superficies lisas que no posean cavidades donde el producto se puede acumular, degradarse y/o contaminarse. Preferiblemente que las partes que tienen contacto con los alimentos sean de acero inoxidable.
6. El proceso de extrusión es empleado en la actualidad para elaborar una gran diversidad de productos entre los que se tienen la producción de botanas (snacks), cereales listos para comerse (RTE), bases para bebidas y sopas, almidones pregelatinizados, alimentos para mascotas, ganado y peces, harinas enriquecidas proteicamente, etc.
7. Mediante el proceso de extrusión se pueden obtener una amplia variedad de formas, tamaños y texturas de los productos extrudidos, utilizando diversas materias primas con diferentes características (contenido de humedad, contenido de grasas, etc.), usando extrusores que van de los más simples y sencillos (como extrusores de laboratorio o extrusores de pasta) hasta los más complejos (extrusores duales), en donde se logra un control total de cada una de las variables de operación (temperatura, presión, etc.)

8. Se anticipa un fuerte crecimiento a nivel mundial en el consumo de productos extrudidos principalmente de botanas, ya que son productos agradables organolépticamente (sabor, color y textura) al consumidor; además, se agrega otro aspecto importante: el bajo contenido en grasas en productos elaborados recientemente, lo que aumenta el porcentaje de consumidores adultos.

9. Actualmente en México, no se cuenta con la información suficiente del proceso de extrusión, por lo que se requieren investigaciones profundas en éste aspecto, para lograr así su introducción en la industria alimentaria, contribuyendo a la obtención de productos nutritivos, de buena calidad y a bajo costo para el consumidor.

BIBLIODRAFIJA.

- (1) Abdullah, A. "An interview of extruder technology in Malaysia"
Malaysian Agricultural Research and Development Institute.
Extruder Technology. Proceedings. 14-25 January, 1980.
Institute of Food Research and product development, Kasetsart University.
Bangkok, Thailand.
- (2) Acosta, M. H. "Descripción del equipo de extrusión"
Presentado en la Primera Reunión Panamericana de extrusión de alimentos.
Chihuahua, México. 1984.
- (3) Acosta, M.H. "Marcas y tipos de extrusores para la producción de alimentos"
Presentado en la Primera Reunión Panamericana de extrusión de alimentos.
Chihuahua, México. 1984.
- (4) Acosta, M.H., Camacho, G.A. Corte, O.C. "Diseño, instalación y operación de planta industrial fabricada totalmente en Chihuahua de harina de maíz 65% más nutritiva"
Centro de Investigaciones y Asistencia Tecnológica del Estado de Chihuahua, A.C.
(CIATECH). México, 1982.
- (5) Balzhiser, R.E., Samuels, M.R., Eliassen, J.D. "Termodinámica Química para ingenieros".
Editorial Prentice/Hall Internacional. Madrid, España. 1980.
- (6) Bartholomai, A. "Fábricas de alimentos. Procesos, equipamiento, costos".
Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España. 1991.
- (7) Camacho, G.A. "La transferencia de tecnología en la producción de alimentos. La experiencia "LEC" en Chihuahua".
Trabajo presentado en el Seminario Internacional "Culturas locales y transferencia de tecnología". CIATECH. Génova, Italia. 1986.
- (8) CIMA. "Plantas completas para la producción de alimentos altamente nutritivos y de bajo costo". Chihuahua, México. Folleto.
- (9) Cilindro, A.G. "Adaptation of extrusion technology in the preparation of infant foods"
Food and Nutrition Research Institute National Science Development Board.
Manila, Philippines. Extruder Technology. Proceedings. 1980. Institute of Food
Research and product development. Kasetsart University, Bangkok, Thailand.
- (10) Conway, H.F., Anderson, R.A. "Protein Fortified extruded food products"
Northern Regional Research Laboratory. Peoria, Illinois 61604. April, 1973.

- (11) Diccionario Pequeño Larousse Ilustrado.
Ediciones Larousse. México, D.F. 1990.
- (12) Durán de Bazúa, M.C. "Aplicación de los extrusores en la industria de los alimentos"
Presentado en la 1ª Reunión panamericana de extrusión de alimentos. Chihuahua,
México. 1984
- (13) Durán de Bazúa, M.C. "Bases teóricas de la extrusión".
Presentado en la 1ª Reunión panamericana de extrusión de alimentos. Chihuahua,
México. 1984.
- (14) Durán de Bazúa, M.C., Guerra, V.R. "Los centros de investigación y educación
superior en el desarrollo de agroindustrias. Parte II: Nuevos productos agrícolas
procesados".
Rev. Tecnol. Alimentaria. Vol. 15 (6). México, 1985.
- (15) Enciclopedia Salvat. Diccionario.
Tomo 10. Ed. Salvat Editores, S. A.
México, 1983.
- (16) Enriquez, G.M. "Introducción a la extrusión de alimentos"
Presentado en la 1ª Reunión Panamericana de extrusión de alimentos.
Chihuahua, México. 1984.
- (17) Glicksman, M. "Gum technology in the food industry".
Academic Press, Inc.
New York, 1969.
- (18) González, R.J. "La extrusión en la tecnología de alimentos"
Instituto de Tecnología de Alimentos. Universidad Nacional del Litoral, Argentina.
- (19) Harper, J.M. "Alternative processing technologies for producing precooked food
products".
Department of Agricultural & Chemical Engineering. Colorado State University, USA.
- (20) Harper, J.M. "Economical processed blends of soybean and cereal as human food".
Department of Agricultural & Chemical Engineering. Colorado State University.
Fort Collins, Colorado. USA.
- (21) Harper, J.M. "The existing availability and capacity of cooker extruders including
price..."
Extruder Technology. Proceedings. 1980.
Institute of Food Research and product development. Kasetsart University.
Bangkok, Thailand.

- (22) Harper, J.M. "Extrusion of foods".
CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida. 1981. Vol. I y II.
- (23) Horn, R.E. "Principles and applications of extrusion cooking".
Prepared for CTU - Symposium in Paris, France. January, 1977.
- (24) Instituto Nacional "Salvador Zubiran". "Composición de alimentos industrializados. Tablas de uso práctico".
México, D.F. 1987.
- (25) Jansen, G.R. "The nutritional advantages of extruded foods".
Department of Food Science and Nutrition. Colorado State University.
Extruder Technology. Proceedings. 1980.
Institute of Food Research and product development. Bangkok, Thailand.
- (26) Marin, C.L. "Posibilidades de elaborar alimentos proteicos de bajo precio por el sistema de extrusión en México".
Tesis. UNAM- Facultad de Química. México, 1974.
- (27) Martínez, A.A. "Evaluación de la calidad reológica y nutricional de un producto extrudido elaborado con frijol endurecido".
Tesis. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. IPN. México, 1989.
- (28) Mercado, H. S. "¿Cómo hacer una tesis: Tesis, Informes, Memorias, Seminarios de investigación y Monografías."
Editorial Limusa. México, 1993.
- (29) Morgan, K.J. "The role of snacking in the american diet".
Department of human nutrition, foods and food systems management. University of Missouri-Columbia. American Association of Cereal Chemists, Inc. 1983.
Cereal Foods World, Vol. 28 N°5.
- (30) Ramírez, M.L. "La extrusión como alternativa para la elaboración de una harina enriquecida para tortillas".
Tesis. UIA. México, 1984.
- (31) Smith, O.B. "Pre-cooking of cereal and protein blends".
Wenger Manufacturing, Kansas City, Missouri. To the National Symposium on Oilseed Proteins and Concentrates. 1967.
- (32) Stauffer, C.E. "Corn-based snacks".
Technical Foods. A.A.C.C.
Cereal Foods World. 1983. Vol.28 N°5.

- (33) Van de Voort, F.R., "Fundamental and practical aspects of twin screw extrusion".
Cereal Foods World. A.A.C.C.
November, 1989. Vol.34 N°11.
- (34) Van Wylen, G.J., Sonntag, R.E. "Fundamentos de Termodinámica".
Editorial Limusa. México, 1977.
- (35) Wenger International, Inc. "Extrusion cooking systems"
Kansas City, Mo. USA. 1980.
- (36) Wiedmann, W.M., Schuler, E.W. "Extrusion cooking of dairy enriched products and
modification of dairy proteins".
Presentado en la 1ª Reunión Panamericana de Extrusión de Alimentos.
Chihuahua, México. 1984.