



Tecnología, Ciencia, Educación

ISSN: 0186-6036

imiqac@sercom.com.mx

Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos A.C
México

Arias-García, Rosa María Elena; Pérez-Palacios, Gregorio; Durán de Bazúa, Carmen
Condiciones de operación de extrusores de tornillo simple para mezclas de harina de trigo. Parte 2:
Montaje, arranque y operación de una planta industrial
Tecnología, Ciencia, Educación, vol. 22, núm. 2, julio-diciembre, 2007, pp. 67-77
Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos A.C
Monterrey, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48222203>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Condiciones de operación de extrusores de tornillo simple para mezclas de harina de trigo. Parte 2: Montaje, arranque y operación de una planta industrial

Rosa María Elena Arias-García^{*1,2}, Gregorio Pérez-Palacios², Carmen Durán-de-Bazúa¹

¹ Programa de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental, Facultad de Química, UNAM, ² Pastas y Pellets de México S.A. de C.V. Correo-e: pielosita@yahoo.com

RESUMEN

De experimentos previos llevados a cabo en un extrusor Wenger, modelo X-5, variando la humedad de la materia prima (cuatro tipos de harinas de trigo) y las revoluciones del tornillo sinfin se encontraron las mejores condiciones para operar el equipo y obtener productos deseables para los consumidores, 600 rpm, 35% de humedad, utilizando harina de tipo pastelera y 25% de almidón de maíz. Con las condiciones óptimas de operación y la elección de la mejor harina del estudio a escala de laboratorio, se llevaron a cabo estudios de escalamiento a nivel industrial. Así, la selección, supervisión del montaje y arranque de una planta industrial que procese 350 kg/h, fue el objetivo importante de la presente investigación de ingeniería aplicada. En esta parte se estudiaron los equipos comerciales de mezclado y acondicionamiento de la materia prima, el extrusor cocedor, el extrusor formador, el equipo de la etapa de secado y se seleccionaron los idóneos. Se llevó a cabo la supervisión del montaje y del arranque de los equipos, poniendo en operación, una planta industrial de botanas de trigo de tercera generación.

Palabras clave: Botanas, tercera generación, trigo, cocción-extrusión, extrusor formador

Keywords: Snacks, third generation, wheat, extrusion cooking, extrusion forming

* Autora a quien debe enviarse la correspondencia
(Recibido: Abril 26, 2007, Aceptado: Noviembre 30, 2007)

INTRODUCCIÓN

Como se mencionó en el estudio previo, existe mucho interés por desarrollar nuevos y diferentes métodos para producir alimentos completos, balanceados e higiénicos que satisfagan la enorme demanda que cada día crece con la población, especialmente con altos contenidos de energía y costos razonables (Arias-García y col., 2007).

También se mencionó que uno de los problemas más importantes que se enfrentan al tratar de llevar a cabo nuevos procesos, es el de obtener la textura adecuada para cada tipo de alimento, la cual debe simular lo mejor posible las características sensoriales de alimentos naturales (Arias-García y col., 2007). Existen actualmente muchas técnicas para el desarrollo de productos con características y textura apropiadas y de éstas la *extrusión térmica* viene a ser una de las más importantes (Durán, 1988).

Dentro de los productos alimenticios fabricados con base en la *extrusión*, las botanas han venido incorporándose de manera exitosa al tipo de vida del hombre actual. El presente estudio se refiere exclusivamente a botanas extrudidas desarrolladas con base en harina de trigo, siendo el trigo la planta más ampliamente cultivada en el mundo y una fuente de proteínas e hidratos de carbono muy importante para la dieta del hombre. La extrusión permite la elaboración de formas interesantes de presentación de los productos que resultan muy atractivas para el consumidor, sobre todo para los niños, quienes necesitan fuentes de energía en sus etapas de crecimiento. Con esta tecnología no sólo se pueden producir alimentos atractivos para los niños y para el consumidor en general sino, además, más nutritivos

e higiénicos, ofreciendo lo que se puede considerar una buena botana.

En el estudio previo se establecieron las condiciones de laboratorio para la elaboración de un producto seco, conocido en el mercado y en la industria como “pellet”, del latín pila, bola o pelota, el cual puede procesarse de diferentes maneras. Estos ofrecen varias ventajas (Arias-García y col., 2007):

1. Por tratarse de un material seco, se tiene una mayor vida de anaquel del producto. Conservan su calidad sin deteriorarse por lo menos un año después de haber sido producidos, en condiciones adecuadas de almacenamiento, como son el no estar expuestos a humedad y calor excesivos, antes de su procesamiento final que, generalmente, es la fritura y su subsecuente saborización.
2. Los “pellets” requieren de un menor espacio de almacenamiento ya que ocupan mucho menor volumen en relación a su tamaño expandido después de la fritura, comparándolos con las botanas que son directamente expandidas.
3. Una mejor flexibilidad en la producción, ya que se pueden elaborar, almacenar y procesar a diferentes tiempos y lugares dependiendo de los requerimientos de la producción y del mercado.
4. Menores costos de distribución, en particular cuando deben trasladarse a grandes distancias e incluso exportarlas, gracias a su menor volumen y a que el producto no se altera fácilmente.

El objetivo de esta investigación es seleccionar, a nivel industrial, los equipos y accesorios para montar una planta de extrusión, adquiriéndolos dentro del mercado mundial. También se plantea la supervisión del montaje y arranque de los diferentes equipos. Se realizarán diferentes pruebas tomando en cuenta los resultados obtenidos a nivel de laboratorio y se discutirán los resultados obtenidos con fundamentos obtenidos de las revisiones bibliográficas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Calidad panadera y análisis proximal de la harina utilizada y los productos extrudidos

La determinación de la calidad panadera de la harina empleada se realizó en la Compañía Harinera de México, con las determinaciones de cenizas, humedad, proteína y parámetros obtenidos mediante alveogramas (Carvajal, 1981). En el alveógrafo se preparó primeramente una masa que se corta en plastones redondos de

diámetro y grosor constante para luego insuflar aire a presión constante en el plastón. A un cierto nivel de presión el plastón comienza a desarrollar un globo. El manómetro registrador del alveógrafo imprime las variaciones de la presión de aire dentro de la burbuja, hasta que se rompe. Los análisis químicos se realizaron de acuerdo a las metodologías aprobadas por la AOAC (1984): Determinaciones de humedad, cenizas, proteína cruda, extracto etéreo o grasa cruda, fibra cruda, carbohidratos asimilables. Para los productos extrudidos se tomó un total de 150 muestras diferentes y se evaluaron por medio de pruebas fisicoquímicas y una evaluación sensorial, aplicando las determinaciones ya mencionadas (Arias-García y col., 2007).

Evaluación sensorial con consumidores

Como en las pruebas a nivel de laboratorio, para evaluar la aceptación de los productos seleccionados, se realizó una prueba de nivel de agrado con una escala hedónica no estructurada con consumidores universitarios (entre 18 y 23 años) de ambos sexos. Para obtener confiabilidad en los resultados se evaluó una población de 150 jueces no entrenados (consumidores). En los cuestionarios realizados se formuló la pregunta «¿Por qué calificó así al producto?», con lo cual se pretendió conocer los atributos sensoriales más importantes del producto para la posterior realización de un estudio sensorial analítico que requiere el entrenamiento de jueces (Pedrero y Pangborn, 1989). El formato del cuestionario utilizado en la evaluación sensorial se presenta en la literatura (Arias-García, 2006).

Aplicación del proyecto en la industria

Metodología de selección y seguimiento de la supervisión del montaje y arranque de una planta industrial de extrusión

Selección

El montaje de una planta de *extrusión* contempla varios aspectos muy complejos. El primero a considerar es la realización de todo un estudio de los equipos necesarios para la instalación de la planta. Recaudar información mediante una investigación acerca de los equipos y sus fabricantes, fue el primer paso a realizar. Así, una vez hecho un estudio previo de mercado mediante el cual se puede contemplar la cantidad de producto que se puede introducir a la venta, se decide la capacidad de los equipos que se emplearán en la planta. Por supuesto, un factor limitante y determinante en el momento de tomar

decisiones es poner en consideración los recursos económicos que se tienen para llevar a cabo el proyecto. Seguido a esta investigación, se llevaron a cabo entrevistas con diferentes fabricantes a fin de conocer las ventajas, el funcionamiento y las bondades de sus equipos.

Posteriormente, contando ya con los datos necesarios, se realizó un análisis comparativo de los puntos que cada fabricante resaltaba como ventajas y cualidades de sus propios equipos. Para este análisis se subdividió el proceso en 4 partes: Mezclado de material seco, cocción, formado y secado. Una vez hecho el análisis de los diferentes equipos que se ofrecen en el mercado, se decidió cuáles eran los equipos más adecuados para los fines que se perseguían en particular. Así, se procedió a planear con detalle la instalación de la planta, con los equipos que se eligieron con anterioridad, para lo cual se procedió a realizar toda una serie de planos y cálculos, como son el "Layout" (distribución de la planta en general), los cálculos y planos eléctricos, neumáticos, hidráulicos y, en general, de todos los servicios auxiliares. Se contempló pues, la instalación de calderas, de equipos de transporte, de intercambiadores, de una subestación eléctrica, etc.

Se planearon los espacios óptimos con base en el local disponible, a fin de aprovechar al máximo el lugar y permitir un funcionamiento apropiado de la planta en cuanto a sus lugares de almacenaje de materia prima y producto terminado, de producción, de oficinas, laboratorio de control de calidad, áreas de taller mecánico, sanitarios, comedor, entre otras.

Toda esta planeación y desarrollo se llevó a cabo con la participación de expertos en diferentes áreas, como ingenieros mecánicos, civiles, técnicos en mecánica, eléctricos y la parte química. Para el desarrollo del producto se usaron los resultados previos del presente trabajo (Arias-García y col., 2007). La selección también contempla el personal que se va a necesitar para operar la planta.

Montaje

Una vez efectuada la selección del equipo, su adquisición y la planeación de su instalación en la planta, se procedió al montaje. Lo primero a realizar cuando llegan los equipos adquiridos a la planta, es revisar lo que llegó para cerciorarse que todo esté completo y correcto. Los fabricantes incluyen planos así como instrucciones precisas para el armado y montaje de los equipos, por lo que se supervisa el buen trabajo de los mecánicos y gente que se encargará del trabajo, cerciorándose que se lleve a cabo el armado correcto, verificando ("checando") tolerancias, que todo esté

bien nivelado, bien apretado y que se realice el montaje correcto.

Al momento del montaje hay que considerar trayectorias de tuberías y del cableado eléctrico. Así mismo, los equipos deben ser instalados de tal forma que se faciliten las labores de mantenimiento y limpieza.

La instrumentación adecuada de los equipos es un aspecto fundamental para el control de variables del proceso. Válvulas de seguridad, neumáticas, llaves, sensores de temperatura, de presión, reguladores, sensores de humedad, filtros, alarmas, etc., deben tomarse en cuenta en el montaje de todos los equipos de la planta.

Un punto fundamental para el montaje adecuado de la planta es contar con un taller mecánico y la herramienta indispensable y necesaria para realizar el trabajo. También se deben contemplar reglas de seguridad, ya que son fundamentales para evitar problemas y que se lleve a cabo el montaje exitosamente. La limpieza en todo trabajo es muy importante para dejar todo listo para el arranque. Los materiales utilizados, tanto en la construcción de la obra civil así como de tuberías, transportes, equipos, accesorios y manejo en general del producto debe tomar en cuenta que se trata de un producto alimenticio y que, por lo mismo, su producción y manejo deben ser especiales e higiénicas.

Arranque

Una vez realizado el montaje de la planta, se debe revisar que todo funcione bien. Todos los instrumentos de medición y control deben estar calibrados, todos los sistemas de seguridad deben ser probados. Las alarmas deben funcionar perfectamente así como todas las válvulas de seguridad. La materia prima debe estar lista. Las mezclas y formulaciones deben estar ya preparadas y su suministro y transporte ya probadas.

Se procede pues al arranque. Todos los servicios deben estar listos, agua, aire, electricidad, gas, etc. Se prenden motores y se verifican las revoluciones de los tornillos sinfin.

Se comienza por encender la caldera, los sistemas de calefacción y de enfriamiento.

Se arranca el mezclador, al cual se le suministra la mezcla de materias primas.

Los extrusores, el extrusor cocedor y el extrusor formador deben haber sido previamente engrasados (con grasa comestible) y el suministro a los mismos de aceite térmico, vapor o agua de enfriamiento para el control de temperaturas deben estar listos.

Después de que la masa está cocida en la primera etapa de **extrusión**, se procede al formado, teniendo especial cuidado en la temperatura y velocidad del tor-

nillo que juegan un papel muy importante para el formado y corte del producto.

El paso siguiente, el secado, es determinante. Los secadores deberán estar listos en sus temperaturas, para lo cual los ventiladores y radiadores ya han sido revisados y puestos en marcha. Todos los motores se revisan que den la velocidad apropiada a las bandas transportadoras para los tiempos de secado.

El producto tardará varias horas en salir y, después del secado, todavía ha de estabilizarse antes de poder someterse a la fritura, para poder evaluar el producto final obtenido siguiendo la misma metodología que a nivel de laboratorio (Arias-García y col., 2007).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de la harina

La clasificación de la harina empleada en este estudio, con base en su calidad en las pruebas de extrusión a escala de laboratorio, se determinó mediante los datos obtenidos de la aplicación de las metodologías presentadas en el estudio previo y se presentan en la Tabla 1. Las condiciones más adecuadas para la elaboración de los productos fueron las de 600 rpm, 35% de humedad y utilizando la máxima cantidad de almidón (25%) para la harina de tipo pastelera (Arias-García y col., 2007).

Tabla 1

Datos fisicoquímicos de una harina pastelera extrudida a nivel de laboratorio en un extrusor Wenger X-5 y freída (Arias-García y col., 2007)

Muestra	Velocidad rotacional, rpm y contenidos de humedad y de almidón	%Humedad "pellet"	%Humedad fritura	Coef. expansión (cm)	% Absorción de aceite	Coef. fractura ($\times 10^9$)
PAS1	600, 35, 0	11.5	5.1	0.809	4.19	2.323
PAS2	600, 35, 7.5	9.4	4.4	0.825	4.18	1.763
PAS3	600, 35, 15	9.3	4.0	0.832	5.20	1.583
PAS4	600, 35, 25	10.9	3.8	0.865	5.85	1.551

PAS = harina pastelera

El diseño en ingeniería de alimentos contempla varios aspectos para que las técnicas de procesamiento de alimentos sean versátiles, eficientes y rindan productos de óptima calidad. La aplicación de las técnicas de *extrusión* ha resultado muy ventajosa en la producción de alimentos. Sus ventajas entre otras muchas, ya discutidas con anterioridad, se deben al modo de operar de los extrusores que, con un tiempo corto de someter a la materia prima a energía mecánica y térmica, se logran diversos cambios en estructura y composición para obtener una serie de productos atractivos en muchos aspectos.

El estudio de los extrusores, junto con su modo de operación, variables, tipos, etc., por sí sólo no dice mucho en lo que a un diseño de una planta de producción completa se refiere, ya que todos los procesos anteriores y posteriores a la etapa de *extrusión* deben ser considerados, estudiados y evaluados para que todo el conjunto dé por resultado el producto esperado. En la presente investigación aplicada se ha procurado estudiar la materia prima, introducirse a los procesos de *extrusión* y secado, contemplar las variables que afectan a los mismos, pero todo hay que conjuntarlo armónicamente con una serie de equipos auxiliares e instalaciones y consideraciones que permitan planear, seleccionar el equipo, supervisar la construcción y arranque de una planta de *extrusión*. Los estudios a nivel de laboratorio, definitivamente no son fáciles de trasladar a un nivel de industria, pero son de mucha ayuda para introducirse al tema y contemplar varios criterios que serán útiles a gran escala.

El diseño de una línea de producción que contenga un extrusor sigue casi siempre ciertos principios generales. Sin embargo, para cada producto específico, el extrusor debe trabajar junto con una serie de equipos e instalaciones especiales, que hacen del diseño de planta para diferentes productos, un caso especial.

Extrusores cocedores para la producción de alimentos con almidón

La selección de un extrusor cocedor es uno de los pasos más importantes. Como ya se mencionó, existen diferentes tipos de extrusores, y dentro de ellos, algunos presentan ventajas sobre otros, al igual que desventajas. Hay que tomar en cuenta ciertas características que tienen los diferentes extrusores para luego así, comenzar a definir si es conveniente un extrusor simple, o uno doble y el tipo que más convenga, según sean las ventajas y desventajas que ofrezcan para un producto

en particular. En la Tabla 2 se resumen los tipos y características distintivas de los principales tipos de extrusores comerciales. Asimismo, muestra las diferentes funciones que cada extrusor ejecuta. Son, por lo tanto, diferentes tareas en la extrusión por cocción a diferentes niveles. El mejor transporte, por ejemplo, se logra con un extrusor de doble tornillo a contrarrotación. También se tiene buen transporte en los extrusores de doble tornillo de intermezclado co-rotativos, los cuales transportan eficientemente partículas sólidas, como harina, mejor que en los extrusores simples de un tornillo. Entre los extrusores simples, el mejor transporte se tiene en aquellas máquinas que poseen un barril ranurado o acanalado. El flujo de masa y el grado de llenado del tornillo para doble tornillo, intermezclado, co-rotativo, pueden variar en un intervalo amplio según sea la velocidad del tornillo y torque permitido. Esto es especialmente significativo en cuanto a la transferencia de energía y las características que resulten en el producto.

secciones a lo largo del mismo, a fin de lograr uniformidad del producto resultante. Según sea el producto y las necesidades que se requieran, se deben controlar otras variables como la velocidad de rotación del tornillo, las temperaturas en el interior del barril, la humedad de la masa, la presión, etc.

La gelatinización (plastificación) del almidón se ve favorecida en extrusores de doble tornillo de intermezclado cónico usando un esfuerzo de corte relativamente bajo, por la buena transferencia de energía que se tiene. Una gelatinización similar se puede alcanzar con un tornillo simple, con un torque mayor que se logra por su diseño y su construcción.

Finalmente, los criterios tales como la limpieza y el desgaste mecánico del equipo pueden ser significativos al seleccionar un extrusor. La limpieza es especialmente importante a fin de mantener el proceso funcionando en condiciones óptimas de operación. El problema es cuando la máquina se debe parar con frecuencia. Generalmente, la interrupciones de operación

Tabla 2
Características distintivas de varios tipos de extrusores (Meuser y Wiedmann, 1989)

Características	Extrusor simple	Extrusor doble tornillo		
		Intermezclador-cilíndrico		Intermezclado-cónico
		Co-rotativo	Contrarrotativo	Contrarrotativo
Llenado	X	XX	XX	XX
Transporte	X	XX	XXX	XXX
Mezclado	X	XXX	X	X
Compresión	XX	XX	XXX	XXXX
Amasado	X	XXX	XX	XX
Plastificación	XXX	XXXX	XX	XXX
Transferencia de calor	XX	XX	XX	XXX
Generación de calor	XX	XXX	X	X
Velocidad de tornillo	Variable	Variable	Bajo	Bajo
Geometría de tornillo	Fijo/en parte variable	Variable	Variable	Fijo
Autolimpieza	-	+	-	-
Desgaste	Bajo	Medio	Alto	+Alto

X El número de símbolos indica el grado en que la característica se presenta

Un mezclado eficiente es muy importante para el control de variables como la humedad. En los extrusores de tornillo simple el mezclado no es tan eficiente y para que funcionen mejor y se solucione esta deficiencia, se considera como un paso adicional e importante, un previo premezclado y preacondicionamiento de la masa. En los “pellets” (del latín pila, bola o pelota) hay considerables variaciones en las características de calidad de producto final con poca diferencia (1%) en el contenido de humedad (Sagarpa, 1994; Stanley, 1986).

En los extrusores es importante mantener temperaturas constantes de la masa a extrudir en las diferentes

cortas y frecuentes, no son adecuadas para trabajar con un extrusor de tornillo simple por lo difícil que resulta la extracción y limpieza del tornillo y aún más, si el material se queda “pegado” al producirse una interrupción súbita en la operación. En este caso, el material interno se seca y se pega rápidamente y llega a quedar prácticamente “petrificado”, lo que resulta, en ocasiones, un problema difícil de resolver. Así mismo, es de considerarse lo que a desgaste mecánico se refiere ya que esto, económicamente, puede afectar sobremanera al momento de evaluar los costos de toda la producción. Por esta razón, los extrusores con tornillos y barriles

segmentados tienen ventajas obvias, ya que solamente las partes desgastadas son las que se pueden ir reemplazando además de facilitar la limpieza del equipo.

En resumen, al seleccionar un extrusor, es necesario saber primeramente las características requeridas del producto y la manera como los ingredientes y las condiciones de extrusión interactúan para producirlas. Por supuesto, las consideraciones económicas son determinantes. Los costos de inversión, de operación y de mantenimiento deben ser tomados muy en cuenta al tratar de decidir el equipo que se va a adquirir.

Aspectos especiales a considerar de la extrusión

Hasta la fecha, poco es lo que sabe acerca de la manera como las características de los productos son funcionalmente dependientes con la operación de la máquina y con los ingredientes. Empiezan a darse a conocer publicaciones al respecto con diferentes metodologías de investigación, pero una de las principales razones por lo que la investigación científica está limitada es porque los alimentos son matrices poliméricas muy complejas y heterogéneas por lo que no se dan todavía razones sólidas para la selección de un tipo de extrusor dado para un producto específico.

Como resultado, es extremadamente costoso, en cuanto a trabajo y materiales se refiere, hacer pruebas para encontrar los mejores productos (ensayo y error). Por esta razón, la aplicación práctica (en la industria) de técnicas de extrusión está basada ampliamente en información empírica. Tal como se mencionó con anterioridad, los estudios a nivel de planta piloto y de laboratorio, son de gran ayuda y dan buena orientación en muchos aspectos, pero no dan pautas definitivas en aplicaciones a gran escala.

Formado

Además de los cambios en las características de los productos ocasionados por la energía transferida a las masas extrudidas, es interesante considerar otros aspectos importantes como son la forma regular y homogénea de los productos extrudidos, su uniformidad en apariencia, tamaño y peso. Los “pellets”, por ejemplo, al ser sometidos a fritura deben dar productos con apariencia uniforme y cualidades sensoriales homogéneas. Esto significa que se deben satisfacer requerimientos muy rigurosos en cuanto a forma, tamaño y textura. Estos aspectos son totalmente dependientes de los “dados” o boquillas y herramientas de corte. Se puede lograr uniformidad del producto, mientras la masa fluya suave y constantemente a través del dado. Aquí juegan

un papel muy importante la regulación de las velocidades de *extrusión* y la cantidad de energía transmitida a la masa a la salida del extrusor y que esta energía se mantenga constante. El problema de formado no se tiene en botanas que sean directamente expandidas.

El formado preciso para obtener “pellets” de alta calidad es algo muy complicado usando un extrusor cocedor, ya que inmediatamente después de gelatinizado el producto, la masa plástica debe ser enfriada por debajo del punto de ebullición del agua antes de pasar a través del “dado” o boquilla. Este enfriamiento previene la expansión en el “dado” y hace posible el corte del material extrudido en tamaños precisos. Por esta razón, los extrusores de tornillo simple han dominado el mercado de botanas de tercera generación, ya que su diseño ha facilitado el calentamiento y enfriamiento por zonas para “temperar” la masa antes de que salga a través del “dado”. Aunque estas máquinas tienen una sección relativamente corta de procesamiento, su menor flujo de masa da una relación favorable para la transferencia de calor; la superficie externa del tornillo y la superficie interna del barril dan una relación alta de superficie-volumen, que hace posible enfriar la masa lo suficiente, antes de alcanzar la salida por el “dado” y facilitar también el corte.

La necesidad de esta secuencia de calentamiento y enfriamiento de la masa para producir los “pellets” ha resultado en la separación de esta operación unitaria en dos procesos, para poder así incrementar la capacidad de producción de las máquinas. Así es como se prefiere usar dos procesos, uno que se encargue de la plastificación del material y otro del formado. Por lo tanto, serán dos los extrusores utilizados, el cocedor y el formador, ambos operados independientemente. El extrusor cocedor no tendrá entonces “dados” o boquillas, sino que saldrá la masa plastificada en trozos irregulares, que serán amasados y enfriados en el extrusor formador, en donde sí serán sometidos a pasar a través de “dados” y al corte.

La producción de “pellets” es más complicada que los productos directamente expandidos, donde sólo se necesita de un extrusor cocedor y la transmisión de energía no es un valor tan significativo e importante como en el primer caso. En el caso de los “pellets”, las características físicas, sensoriales y nutricias sí están muy ligadas a esta transmisión de energía. Entre las características mencionadas están la expansión, la porosidad, la textura y el grado de cocimiento; también se ven afectadas su solubilidad, viscosidad, digestibilidad, composición química y la cuenta microbiana.

La transformación de ingredientes

La mayor parte de las propiedades físicas del producto final dependen del grado de transformación (plastificación o gelatinización) del ingrediente principal, que es el almidón. Por eso es importante tratar de entender el comportamiento del almidón cuando se somete a las condiciones de humedad y calor en el extrusor para alcanzar ese estado plástico tan importante. Sobre la funcionalidad de los ingredientes, se trata el tema detalladamente. Tampoco debe perderse de vista un material primordial que determina muchas propiedades del producto y éste es el gluten del trigo.

La ventaja de un extrusor es su corto tiempo de residencia y que el equipo funciona como un reactor. Así, las ventajas sensoriales, higiénicas y nutricias son fundamentales en la calidad del producto. La inactivación de esporas termofílicas y las reacciones de pardeamiento u oscurecimiento (reacciones de Maillard) alcanzan favorablemente la región de la **extrusión** (de Muelenaere y Buzzard, 1969; Meuser y Wiedmann, 1989). Esto es importante porque las reacciones de pardeamiento se relacionan con características sensoriales y nutritivas del producto que, obviamente, dependen de la temperatura, una de las variables más importantes a controlar.

La viscosidad es otra de las variables de las masas extrudidas que depende directamente del grado de suministro de energías térmica y mecánica a la masa, y ésta puede tomarse como medida de regulación y control de la **extrusión**. Es muy importante controlar las variables del extrusor para tenerlo operando de manera uniforme y constante para garantizar una gelatinización siempre estable y asegurar que el producto será de buena calidad. Esto es especialmente necesario, ya que las características de calidad de los “pellets” sólo pueden determinarse y confirmarse hasta el proceso de freído. Esto puede tomar varias horas después de salido el “pellet” del extrusor, ya que hay que considerar que se somete también a un proceso de secado y estabilización, antes de poder confirmar el éxito de obtener el producto deseado.

Instalación de una planta de extrusión

Al construir una planta es necesario contar con especificaciones detalladas del diseño y los diagramas de fabricación de todo el equipo, incluyendo todos los servicios auxiliares, instrumentación, tuberías hidráulicas, neumáticas, energía eléctrica y demás equipo auxiliar. Es importante discutir, antes de entrar propiamente a la descripción del proceso, del diagrama de

flujo y de los equipos, los requisitos necesarios que se deben cubrir en caso de que algunos de los equipos que se empleen en el proceso de fabricación, sean de procedencia extranjera a fin de poder introducirlos en el país. Para ello, es necesario contar con lo siguiente: Registro Federal de Contribuyentes, Registro del importador, Lista de embarque, Certificado de origen, Pedimento aduanal, Pago de impuestos correspondientes. Con todos estos requisitos y contratando los servicios de un agente aduanal se puede importar la maquinaria necesaria, ya sea fundamental o complementaria.

Diagrama de flujo

Una planta de **extrusión** para la elaboración de botanas de tercera generación se puede representar en un diagrama de flujo de bloques, que contempla el proceso general (Figura 1).

La primera etapa es la del almacenamiento y disponibilidad de las materias primas (en el caso particular de esta planta serán harinas y aditivos). La segunda etapa comprende la preparación de las materias primas, mediante su alimentación a través de una tolva a equipos específicos (como a una mezcladora de sólidos y a su acondicionamiento), de donde, mediante un transporte adecuado pasará a un extrusor cocedor. La tercera etapa, que es la **extrusión** propiamente dicha en el extrusor cocedor de simple tornillo, es la operación unitaria medular del proceso. La cuarta etapa contempla el formado (extrusor formador) y el acondicionamiento del producto extrudido (secador y eliminador de polvos).

Después viene el almacenamiento para mantener el producto extrudido por la vida de anaquel que sea necesaria. Cuando ya se desea preparar el producto para su consumo, viene la operación de fritura, de la que ya salen las botanas listas para la última operación. La última etapa incluye el empaque adecuado para su estabilización y la conservación óptima del “pellet”.

Servicios y equipos auxiliares

En un diseño o proyecto definitivo de construcción de una planta, los servicios auxiliares representan un gasto sustancial de los recursos de ingeniería. Dentro de este amplio grupo se incluyen dos subcategorías: Las instalaciones auxiliares y los servicios auxiliares. Las instalaciones auxiliares incluyen plantas de vapor, aire comprimido, electricidad, de refrigeración o enfriamiento, equipos para tratamiento de aguas de desecho, sólo por nombrar unos cuantos. Los servicios auxiliares incluyen contemplar los

accesos como calles o carreteras, entradas para vagones de ferrocarril, de trailer, las excavaciones del lugar de construcción, servicios sanitarios, cafetería, oficinas administrativas, laboratorios, además de otras posibles.

A continuación se presenta la distribución (o “Layout” como se le conoce en inglés) de la planta de **extrusión** a fin de visualizar en conjunto la planta con todos sus equipos y su funcionalidad en el proceso global (Figura 2).

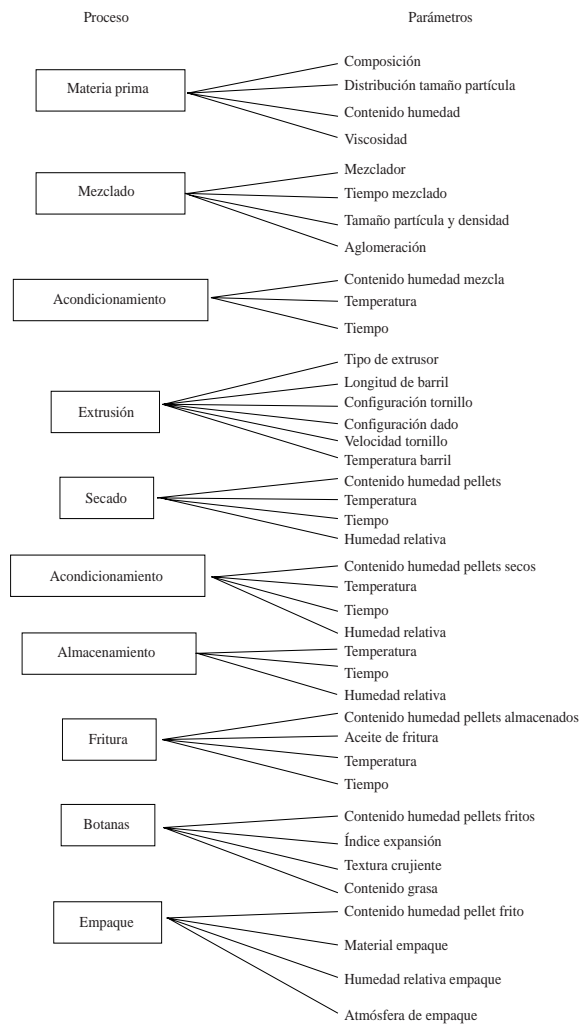


Figura 1. Diagrama de bloques del proceso general de elaboración de botanas de tercera generación

La distribución de la planta se realizó y planeó con base en un espacio ya construido y así, se adaptó el equipo a este espacio. En la Figura 2 se observa: En la parte superior derecha, la ubicación de carga de materias primas (9) seguido por la mezcladora (10), el extrusor formador (11) y el extrusor cocedor (12). El secador con vibración (“trabato”, 14) recibe los “pellets” para la primera etapa de secado y los manda hacia el presecador (18) y finaliza el proceso en el secador (16), para continuar hacia la banda de enfriamiento y estabilización del producto (20) y luego hacia el almacén de producto terminado (21). La parte inferior del diagrama muestra el almacén de materia prima (8), el área de calderas (28), el taller de mantenimiento (26), área de servicios (24 y 25) y almacén de producto terminado (21). Las oficinas se localizan en el primer nivel junto con el área de laboratorios (33 y 34). La planta de emergencia y la subestación se muestran en el diagrama en la esquina inferior derecha (2, 3, 4 y 5).

En la elaboración de cálculos, diagramas y planos hay que considerar los Códigos y Estándares Industriales. En este caso se tomaron en consideración los siguientes: Para construcción: “Reglamento de Construcción para el Distrito Federal” Leyes y Códigos de México. La obra civil y arquitectónica requieren de profesionales especializados: Instalaciones hidráulicas y de servicios auxiliares (vapor). Corresponde a la Secretaría de Trabajo y Previsión Social por conducto de la Dirección General de Previsión Social dar los lineamientos y vigilar la instalación, la operación y el mantenimiento en condiciones de seguridad de los generadores de vapor y recipientes sujetos a presión, que se encuentren instalados o que se vayan a instalar, manifestando estos lineamientos en el Reglamento de Inspección de Generadores de Vapor y Recipientes Sujetos a Presión.

Para las instalaciones eléctricas, la elaboración y revisión de planos de las instalaciones de alta y baja tensión, referentes a la subestación, líneas de interconexión, diagrama unifilar, distribución general de alimentadores, distribución de alumbrado, contactos, fuerza, salidas especiales, planos de cuadros de motores, cuadros de carga de alumbrado, áreas peligrosas e instalaciones especiales se hará de acuerdo con lo estipulado en la Normas Técnicas de Instalaciones Eléctricas (NTIE) vigentes en la publicación de las Normas Oficiales Mexicanas, como se indica en el artículo transitorio I del Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica. Para la elaboración de todos estos cálculos se requiere de la colaboración de un perito de instalaciones eléctricas.

Los diagramas pueden consultarse en la literatura (Arias-García, 2006).

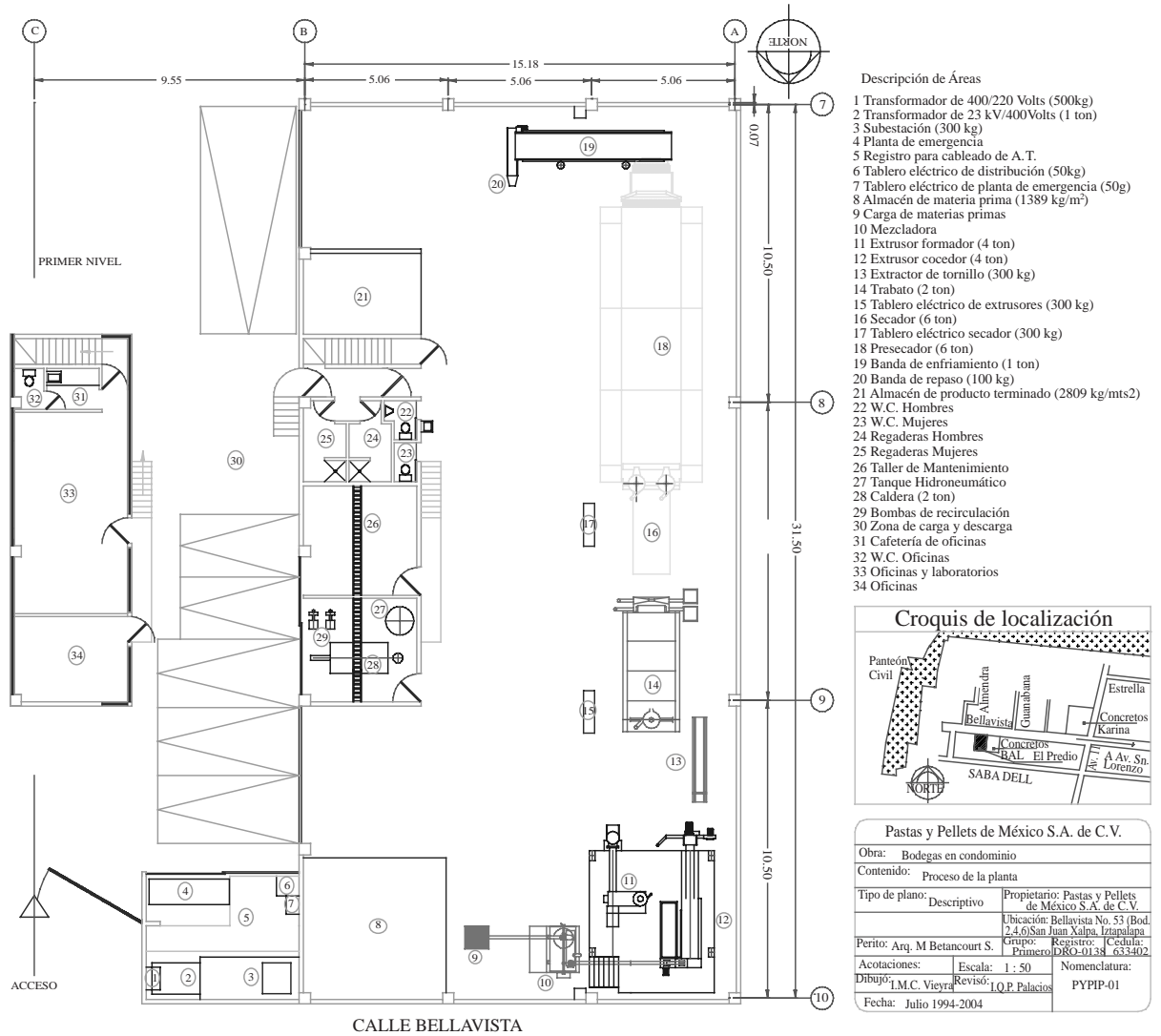


Figura 2. Distribución (o “Layout” como se le conoce en inglés) de la planta de extrusión a instalar y operar

DISCUSIÓN FINAL

El escalamiento de los resultados de laboratorio a nivel industrial fue un poco más complicado, puesto que aquí había que considerar otras variables, como los costos y la facilidad de obtener materias primas de características homogéneas de manera constante. Las harinas de tipo pastelero, generalmente son más caras y no tienen un uso tan generalizado y común, como la harina panadera y galletera.

Las modificaciones posteriores a la formulación se han dado según los requerimientos y las necesidades que los clientes formularon al recibir los productos extrudidos y freírlos para obtener el producto listo para su consumo. Las variables del proceso a escala industrial (también estudiadas a escala de laboratorio) fueron:

- Humedad de ingredientes y su punto de aplicación
- Preacondicionamiento de ingredientes o mezclas
- Control de pH de ingredientes o mezclas

- Control de velocidad rotacional durante la **extrusión**
- Control de temperaturas en las diferentes partes del extrusor
- Control de las relaciones de tiempo/temperatura en cada sección del extrusor
- Selección de tamaños y formas de los componentes del sistema
- Selección adecuada de boquillas
- Selección y control adecuado de los secadores en sus tiempos de residencia, temperaturas y niveles de humedad
- Punto y método de aplicación del sabor
- Selección adecuada del procesamiento posterior al secado para la elaboración final del producto

Para encontrar los valores más adecuados para todas las variables mencionadas en el punto anterior y utilizarlas en los equipos a escala industrial, se requirieron múltiples pruebas. Es importante mencionar que, con el transcurso del tiempo, éstas vuelven a modificarse para adaptar el producto de acuerdo con las demandas del consumidor.

El porcentaje de almidón, determinado como óptimo a nivel laboratorio, sirvió de base en el desarrollo del producto a nivel industrial. Se realizaron diferentes pruebas, con algunas modificaciones en la formulación para adaptarse a las condiciones de operación del equipo industrial. Estas pruebas no se llevan a cabo de igual manera a como se hicieron a nivel laboratorio, porque los costos a estos niveles lo impiden.

Las grasas o aceites pueden ser usadas por sus propiedades lubricantes de manera diferente a su función en la elaboración de pan. En productos extrudidos el aumento en la cantidad de grasa reduce la temperatura de **extrusión**. La grasa divide y liga a las enzimas, las cuales son desnaturalizadas o desactivadas durante la **extrusión**. Esto imparte la estabilidad oxidativa a los lípidos en el producto extrudido. Se realizaron algunas pruebas considerando algún tipo de grasa en la formulación, pero el efecto no fue tan importante y se optó por no experimentar más al respecto.

Puede decirse que el arranque y el alcance de condiciones estables se lograron exitosamente gracias a la planeación cuidadosa de todas y cada una de las etapas consideradas y al apoyo técnico de todos los actores del proceso.

CONCLUSIONES

De acuerdo con el objetivo de esta investigación, que fue el de evaluar la producción de alimentos extrudidos

de trigo, tipo botana, elaborados a partir de las harinas y formulaciones más adecuadas encontradas a nivel de laboratorio, así como aplicar esos resultados a nivel industrial, comparando el efecto de diferentes condiciones de **extrusión** por medio de pruebas fisicoquímicas y de textura a fin de conocer su influencia en las características de los productos buscando los más aceptados por el consumidor por medio de un análisis sensorial con el mejor tipo de harina y la proporción de almidón óptima (formulación ideal), pueden concluirse diferentes aspectos para los resultados obtenidos a nivel industrial. Estas investigaciones a nivel industrial incluyeron la selección de una planta de extrusión supervisando el montaje y arranque de los diferentes equipos y la realización de diferentes pruebas tomando en cuenta los resultados obtenidos a nivel de laboratorio discutiendo sus resultados con base en los fundamentos obtenidos de las revisiones bibliográficas.

Con el estudio previo a escala de laboratorio se determinaron las condiciones óptimas de operación y la elección de la mejor harina y éstas se llevaron como punto de partida para un desarrollo a nivel industrial. Así, la selección, supervisión del montaje y arranque de una planta industrial que procese 350 kg/h, fue el otro objetivo importante de la presente investigación aplicada. En esta parte se estudiaron los equipos comerciales de mezclado y acondicionamiento de la materia prima, el extrusor cocedor, el extrusor formador, el equipo de la etapa de secado y se seleccionaron los idóneos. Se llevó a cabo la supervisión del montaje y del arranque de los equipos, poniendo en operación una planta industrial de botanas de trigo de tercera generación la cual se ubicó en la Ciudad de México, iniciando con una capacidad de 350 kg/h y trabajando con una formulación a partir de harina de trigo pastelera tal como se determinó en el presente estudio como la mejor para elaborar este tipo de productos.

RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen al personal técnico que apoyó en el montaje, arranque y operación de la planta, así como a los fabricantes y proveedores por su valiosa colaboración.

BIBLIOGRAFÍA

- AOAC. 1984. *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analytical Chemists. Pp. 126-129, 132-133, 211. Washington, D.C., EEUU.
- Arias-García, R.M.E. 2006. Extrusión de polímeros naturales: Condiciones de operación para mezclas de harina de trigo en extrusores de tornillo simple. *Tesis de Maestría en Ingeniería de Alimentos*. UNAM, Facultad de Química. México D.F. México.

- Arias-García, R.M.E., Chávez-Castellanos, A.E., Herrera-Nájera, R., Morales-de-León, J., Pedroza-Islas, R., Salazar-Zazueta, A., Durán-de-Bazúa, C. 2007. Condiciones de operación de extrusores de tornillo simple para mezclas de harina de trigo. Parte 1: Pruebas de laboratorio / Operating conditions of single screw extruders for wheat flour mixtures. Part one: Laboratory experiments. *Tecnol. Ciencia Ed.* (IMIQ, México). 22(2):53-66.
- Carvajal, M. J. 1981. *El alveógrafo ¿Qué tan exacto es?* PAN Continental. Pp. 24-32. México D.F., México
- deMuelenaere, H. J. H., Buzzard, J. L. 1969. Cooker extruders in service of world feeding. *Food Technol.* 23:345-347.
- Durán, C. 1988. *Una nueva tecnología para la extrusión alcalina de maíz y sorgo*. Proyecto Multinacional de Tecnología de Alimentos. OEA-UNAM, Vol. 2, pp. 8-12. México D.F., México.
- Meuser, F., Wiedmann W. 1989. *Extrusion Plant Design, Extrusion Cooking*. Cap. 5. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, MI, EEUU.
- Pedrero, D.L., Pangborn, R.M. 1989. *Evaluación sensorial de los alimentos. Métodos analíticos*. Ed. Alhambra Mexicana, 1ª ed. Pp. 24-27, 37-54, 123-135. México D.F., México.
- Prandini, F. 1995. *Technologies for the production of pellets to be utilized to obtain snacks and crackers*. Cooking Extrusion Techniques. Kansas, EEUU.
- Sagarpa. 1994. *Producción y comercialización de trigo*. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Subsecretaría de Planeación, 1987-1993. Pp. 24-35, 80-87. México D.F., México.
- Stanley, D.W. 1986. Chemical and structural determinants of texture of fabricated foods. *Food Technol.* 40(Mar):65-76.