

**ANÁLISIS DEL DESGASTE DE UN TORNILLO EXTRUSOR DE ALIMENTOS
SEGUN SUS ZONAS DE TRABAJO**

OXMANY R. PICON MIELES

JUAN CARLOS TARAZONA ROMERO

Propuesta para optar al título de Ingeniero Mecánico

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD TECNOLÓGICA
PROYECTO CURRICULAR INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.**

2011

**ANALISIS DEL DESGASTE DE UN TORNILLO EXTRUSOR DE ALIMENTOS
SEGÚN SUS ZONAS DE TRABAJO**

OXMANY R. PICON MIELES

JUAN CARLOS TARAZONA ROMERO

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD TECNOLÓGICA
PROYECTO CURRICULAR INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.**

2011

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION

1. ESTADO DEL ARTE	6
1.1 HISTORIA	7
1.2 PROBLEMAS COMUNES EN LA PRODUCCION DE ALIMENTOS ESTRUIDOS	8
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
2.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA	11
2.2 JUSTIFICACION	12
3. OBJETIVOS	14
3.1 OBJETIVO GENERAL	14
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	14
4. MARCO TEORICO	15
4.1 TECNOLOGIA DE LA EXTRUSION	17
4.2 CARACTERISTICAS DE UN EXTRUSOR DE TORNILLO SIMPLE	19
4.3 PRINCIPALES VARIABLES EN EL PROCESO DE EXTRUSION	21
5. MARCO METODOLOGICO	24
5.1 ANALISIS DE LA INFORMACION RECOLECTADA	25
5.2 AVENCE DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES	26
Diseño de pruebas	26

Desarrollo de pruebas	26
Determinación de las pruebas	26
5.3 RESULTADOS ESPERADOS	26
6. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	27
7 PRESUPUESTO	28
8 BIBLIOGRAFIA	29

INTRODUCCION

La industria de alimentos ha tenido un impresionante crecimiento que representa, sin duda alguna, una alternativa de desarrollo para los países que desean mejorar su posición industrial. La posibilidad de procesar casi cualquier tipo de alimentos ha contribuido de manera significativa al logro de los niveles de desarrollo que hoy podemos ver, aun en países menos avanzados tecnológica y económicamente. El procesamiento industrial de muchos alimentos ha favorecido de manera notable a hacer posible una mayor y más constante disponibilidad y variedad de productos alimenticios que, antes del desarrollo industrial, solo estaba al alcance de la población en tiempo de cosecha de cada producto.

La constante evolución de la industria de procesamiento de alimentos y precisamente en el campo de la extrusión, se ha ajustado con el pasar del tiempo a sus grandes modificaciones y requerimientos, respondiendo a las mayores exigencias de los mercados, en donde el aumento de la demanda en este sector económico ha llevado a los empresarios a tecnificar sus procesos productivos mejorando la eficiencia de los equipos, procesos y calidad de productos.

Esto conlleva a prestar principalmente atención al manejo adecuado de los equipos y los materiales utilizados en la fabricación de componentes para las maquinas extrusoras, pues es vital garantizar que estos materiales que se encuentran en contacto con los alimentos sean resistentes al ataque de ácidos orgánicos, previniendo así la liberación de metales nocivos para la salud. De este modo se hará un análisis del desgaste de las zonas de trabajo del tornillo extrusor, en donde se involucra el estudio metalográfico de los materiales utilizados y conducta de los ácidos generados por los alimentos al contacto con el tornillo extrusor en condiciones reales de funcionamiento.

1. ESTADO DEL ARTE

El procesamiento de alimentos emplea el potencial creativo del procesador para que los productos básicos sin elaborar se transformen en alimentos atractivos y sabrosos, aportando una interesante variedad a las dietas de los consumidores. Durante siglos los seres humanos han procesado los alimentos, (ver tabla 1.) entre las técnicas tradicionales más antiguas se encuentran el secado al sol, la conservación en sal de la carne y el pescado y la conservación de las frutas en azúcar. Más recientemente con la evolución tecnológica en el procesamiento de alimentos se ha llegado al punto de crear nuevas formas y texturas en los alimentos con un índice de calidad alto como lo es por medio de la extrusión.

Unos de los beneficios derivados del uso del procedimiento de extrusión alimentaria están relacionado con la conservación de los mismos. La extrusión permite controlar la cantidad de agua contenida en lo ingredientes, de la que depende la aparición de microbios y la consiguiente putrefacción de los alimentos, por lo tanto es una técnica muy útil para producir alimentos con humedad optima y duraderos, que cada vez se emplea más para obtener toda una serie de productos, como aperitivos, algunos cereales de desayuno golosinas y comida para animales. En Latinoamérica los principales exportadores de alimentos procesados son Brasil Perú y Chile, abasteciendo a Francia, Alemania y Estados Unidos de verduras, hortalizas, embutidos y hasta en la preparación de raciones alimentarias para el ejército y rutas, satisfaciendo así necesidades dietéticas especiales. La aplicación de la extrusión para elaborar alimentos innovadores garantiza un futuro muy prometedor a la producción alimentaria.

1.1 HISTORIA

Se registran los primeros extrusores para alimentos alrededor de 1870 (extrusor a pistón para salchichas y carnes procesadas), pero los extrusores a tornillos comienzan a ser utilizados por la industria alimentaria para elaborar fideos y dar formas a masas de cereales precocidas, entre 1935-1940 (extrusores formadores), luego los extrusores-cocedores aparecen entre 1940-1950 para elaborar “snaks” y harinas precocidas¹. En Italia, los extrusores de tornillo único se utilizaron a mitad de los años 1930 para productos de pasta. El principio de estos extrusores permanece igual que los recientes desarrollados enfocados a aumentar la capacidad y mejorar el control. Emplean el cizallamiento bajo, los tornillos de rosca profunda y operan a velocidades de tornillo bajas. En torno al mismo tiempo en USA se utilizaron extrusores similares en la industria de cereales para desayuno para moldear la pasta de cereal precocida².

El objetivo de toda empresa local es trabajar por satisfacer los requerimientos de los clientes ya que ellos son el principal y más importante factor en el éxito de las empresas. El mercado local de la producción de alimentos extruidos se ve influenciado aun por las grandes marcas como Nestlé, Kellogg y Nacional de chocolates, pero los pequeños productores no se han preocupado por detectar una de las razones principales en las averías frecuentes de los extrusores, la vida del tornillo de extrusión, perdiendo credibilidad a la hora de la entrega de sus productos. Esta situación se ve reflejada en el bajo consumo de alimentos expandidos en comparación con otros lugares del mundo, ya que las empresas no han podido lograr que estos productos sean suficientemente atractivos a comparación de las grandes marcas.

¹ **González, R.J., Torres, R. L. y De Greef.** *Extrusión-Cocción de cereales.* 36 (2), Brasil : s.n., D.M. (2002), Vol. Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de alimentos.

² **Yacu, W:A.** *Introduction and General Principles of Food extrusion, Food Extrusion Short Course.* New Jersey : The Center for Professional Advancement, 1999.

En el momento los productos alimenticios deben cumplir ciertas exigencias para incursionar en otros mercados, razón por la cual las pocas empresas productoras de alimentos expandidos a nivel local, tienen pocas posibilidades de hacer su entrada en el mercado internacional, dedicándose únicamente a la producción y distribución de sus productos en tiendas de barrio y almacenes de cadena con poca proyección.

Actualmente en el mundo de la industria de la extrusión existen muchos métodos para fabricar alimentos expandidos en grandes producciones. La tecnología de la extrusión se destaca en la industria de alimentos como un proceso eficiente, utilizándose en el procesamiento de cereales y proteínas, para alimentación humana y animal. Inicialmente esta tecnología se desarrolló para el transporte y formado de materiales, tales como masas y pastas. Actualmente se dispone de diseños muy sofisticados desarrollados en las últimas décadas. Una característica importante del proceso de extrusión es que es continuo, y que opera en un estado de equilibrio dinámico estacionario, donde las variables de entrada están equilibradas con la de salidas³.

1.2 PROBLEMAS COMUNES EN PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS EXTRUIDOS

A veces durante el procesado un producto extruido no cumple con un determinado número de requisitos para que la producción sea de alta calidad. El desgaste en el tornillo extrusor puede llegar a convertirse en el principal problema que disminuye la vida útil y eficiencia de la maquina extrusora de alimentos.

Diferentes Ingredientes tienen varios efectos sobre el desgaste de un extrusor, por ejemplo el azúcar y la sal tendrán más efectos sobre el desgaste que otros componentes, al mismo tiempo que los ácidos producidos naturalmente por el

³ Kokini, J.L. y Chang. Food Extrusion Science and Technology. new york : s.n., 1992, págs. 631-652.

procesamiento de alimentos o inclusive aditivos y conservantes en donde su principal ingrediente es la harina de maíz, aceleran el desgaste en el tornillo extrusor. Adicional a esto se encuentra el tema de la contaminación alimenticia se ha venido controlando de manera eficaz y exigente; para lo cual estudios revelan que el alto contenido de cromo encontrado por espectroscopia de absorción en alimentos como carne, pescados, mariscos, cereales son fuentes ricas en este tipo de metal (aproximadamente 0.1 miligramos), Las diferencias en el contenido de cromo se encuentran entre las diferentes clases de alimentos de Grecia; basándose en los datos disponibles sobre consumo de alimentos y los niveles de cromo en el estudio, se determinó que la ingesta de cromo de los Griegos es de 143µg/día, con verduras, cereales y carne, llegando a ser los principales contribuyentes⁴

Otros estudios aportan al tema con investigaciones en donde se realizan comparaciones de diferentes liberaciones de níquel y hierro en liquido lisosomal artificial, evidenciando diferencias en la liberación de cromo en el hierro y níquel, pues las emisiones de cromo se encontraban en el mismo nivel tanto en el acero inoxidable como el cromo de metal puro estos estudio sugieren que aunque la bioaccesibilidad al cromo de acero inoxidable es similar a la del cromo puro, la bioaccesibilidad del acero inoxidable es significativamente menor que el que se encuentra en mezcla con hierro y partículas de níquel. Por lo tanto el acero inoxidable que contiene 17,2% de cromo y el 10,7% de níquel se comporta como una mezcla de hierro <0,1% de níquel. Así de esta manera los resultados muestran en conclusión que los efectos sobre la salud del acero inoxidable no pueden únicamente estimarse sobre la base de su contenido mayor de hierro y níquel. Esto puede explicarse por la capa de pasivacion de óxido de cromo que comprende la mayor parte de la superficie del acero inoxidable. El

⁴ **B. Michael S; L. Evangelios; B. Sotirios.** Chromium Content Of Selected Greek Foods. Grecia, 2001.

enriquecimiento del óxido de cromo en la superficie se produce durante la incubación in vitro en fluidos biológicos y artificiales⁵.

Además la forma como diferentes componentes alojados en materias primas a procesar en la industria alimentaria pueden influir en la corrosión a gran escala de algunos aceros inoxidable; de esta manera, las tasas representativas de corrosión de los aceros inoxidable 302, 304 y 316 tienen una resistencia muy buena a todas las concentraciones de ácido acético a temperaturas “moderadas”, pero no ácido concentrado caliente. En consecuencia el procesamiento de alimentos, almacena gran cantidad de este tipo de ácido. Aceros inoxidable como el 316 y 317 son más resistentes a las soluciones de ácido en ebullición en concentración intermedia⁶.

El Señor Mason, J. F., Jr., en su investigación llamada “The Resistance of Alloys to Corrosion During the Processing of Some Foods,” *Corrosion*, 4, 1948, p 305. Nos relata lo siguiente, “Los alimentos que contienen ácidos como el acético, cítrico, málico, tartárico, láctico y se procesan en equipos fabricados en aceros inoxidable de tipo 304 o 316, donde se agrega sal durante el procesamiento de alimentos, el acero inoxidable Tipo 316 es el más utilizado; Una serie de pruebas de corrosión en la planta de procesamiento y manejo de una amplia variedad de alimentos mostró la corrosión del acero inoxidable austenítico”.

⁵ **T. Santonen; H. Stockmann-Juvala y A. Zitting.** Review On Toxicity Of Stainless Steel, Helsinki 17 de Noviembre del 2010, FINNISH INSTITUTE OF OCCUPATIONAL HEALTH.

⁶ **International Nickel Company INC,** *Corrosion Resistance Of The Austenitic Chromium-Nickel Stainless Steels In Chemical Environments*, New York, 1963, p16.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente el rendimiento de los equipos de extrusión se ven seriamente afectados por la degradación del tornillo extrusor que no permite dar una dispersión correcta en el barril, calibre de la película extruida para determinados alimentos no uniformes, dando como resultado paradas intempestivas para el mantenimiento y cambio de tornillo por desgaste prematuro. Esto se atribuye a la pérdida de tolerancia de diseño entre el conjunto tornillo-barril; al perderse esta tolerancia el material tiende a regresarse debido a que el filete no puede vencer el efecto de contrapresión, entonces el tornillo pierde su capacidad de transporte y comienza a empujar el material en sentido contrario.

En consecuencia el ataque químico por los ácidos orgánicos producidos por los alimentos, la presión, rozamiento y la temperatura a las que se encuentra sometido el tornillo extrusor, son los causantes de su desgaste, pero estableceremos puntualmente como controlar la pérdida de material metálico al contacto con la materia prima, constituyendo condiciones para minimizar al máximo la liberación de carbono, cromo, molibdeno y níquel, principales compuestos de los aceros inoxidable. Lo anterior hace necesario analizar la microestructura de los materiales usados en la fabricación de estos tornillos, con el fin de identificar como influye específicamente el ácido alimenticio sobre los aceros inoxidable.

La finalidad de este proyecto tiene como alcance únicamente, restringirse a la solución teórica en la identificación del desgaste que sufre una camisa de una máquina extrusora, sus restricciones serán de mejoramiento a nivel químico, mecánico y caracterización metalográfica, la idea primordial es que por medio de

conocimientos adquiridos durante la carrera y con la ayuda del tutor asignado, se encuentre una solución viable al problema presentado en la industria.

Con el desarrollo de este proyecto esperamos mejorar la calidad en la metodología de los estudiantes de ingeniería mecánica, en el área de materiales y en el de caracterización de metales, lo cual se verá reflejado en la obtención de los datos y bibliografía que queda para el uso de los mismos.

De igual manera se podrá notar la influencia económica que traería para una empresa obtener una solución a dicho problema en este tipo de máquina, también le daría tranquilidad saber que normativamente cumple con los requerimientos y especificaciones que las leyes imponen para la producción de alimentos.

Actualmente en Colombia no se cuenta con una norma que nos permita evaluar un material que es usado en la producción de alimentos y que puede en el proceso de producción llegar a liberar metales pesados como el cromo o el níquel; estos elementos químicos deben controlarse.

2.2 JUSTIFICACION

El constante crecimiento en la industria alimentaria y la importancia más exactamente relacionada al tema de alimentos extruidos, nos da un punto de inicio para comenzar hacer diferentes investigaciones en pro del desarrollo económico colombiano. Sin duda alguna el poco interés que se le ha dado a este tipo de procesos, nos lleva a seguir sumidos en los mismos problemas que interrumpen y encarecen los procesos de extrusión alimenticia, así pues los frecuentes estudios de cara al desgaste de materiales, nos lleva a conocer la importancia y causas del deterioro de estos, con el fin de dar el mejor aporte en la solución a los anteriores problemas en la industria.

El desarrollo del procesado de alimentos en Colombia cada vez evoluciona de manera local con buenas expectativas hacia el futuro, haciendo que las

inversiones de sus representantes en los diferentes procesos sean cada vez mayor; por eso es de suma importancia analizar el desgaste alcanzado por el tornillo extrusor en su proceso, para establecer la pérdida de material en sus zonas de trabajo, determinando así un punto de partida para la exposición de nuevos modelos reglamentarios, que sepan satisfacer a nivel nacional estándares para la ingesta de metales liberados por los procesos de extrusión de alimentos, todo con el fin de producir productos sanos de mejor calidad.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

- Determinar el desgaste alcanzado por un tornillo extrusor de alimentos en las diferentes zonas de trabajo.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar las diferentes variables que intervienen en el desgaste del tornillo extrusor de alimentos,
- Presentar una alternativa que minimice el desgaste del tornillo en las zonas de trabajo, analizando el comportamiento de la microestructura del acero frente a los agentes que lo deterioran.
- Evaluar un material que mejore la resistencia al desgaste de un tornillo extrusor usado en la fabricación de alimentos extruidos.

4. MARCO TEORICO

Tiempos cortos de extrusión a altas temperaturas han sido utilizados durante muchos años para procesar varios tipos de alimentos. Durante la extrusión, los componentes mecánicos están sujetos a una sucesión de tratamientos y cambio moleculares casi instantáneos. Las principales variaciones del proceso incluyen humedad, perfil de temperaturas, configuración de la extrusora, velocidad de rotación de la hélice y acondicionamiento del material, componentes aditivos en la materia prima, antes de la extrusión⁷.

El proceso de extrusión se ha convertido en una importante herramienta para procesar alimentos y mejorar su digestibilidad y otros aspectos nutricionales. El objetivo de esta investigación es revisar los efectos que tiene la materia prima, sus componentes naturales y las demás variables del proceso anteriormente mencionadas, sobre el tornillo de extrusión; principal componente en la maquina extrusora de alimentos, para así de esta manera encontrar la mejor solución al deterioro prematuro del tornillo extrusor; Para tal motivo es necesario inicialmente conocer a fondo como se desarrolla la tecnología de extrusión en el sector alimenticio.

Este proceso usado para crear objetos con sección transversal, definidos y fijos. El material se empuja o se extrae a través de una herramienta (denominada dado) de una sección transversal deseada. Las dos ventajas principales de este proceso por encima de procesos manufacturados es la habilidad para crear secciones transversales muy complejas y el trabajo con materiales que son quebradizos, porque el material se encuentra sometido a fuerzas de compresión y de cizallamiento. También las piezas finales se forman con una terminación

⁷ G, ROKEY .Tecnología De La Extrusión E Implicaciones Nutricionales. XI Curso De Especialización FEDNA. Barcelona: 1995.

superficial excelente. La extrusión puede ser continua (produciendo teóricamente de forma indefinida materiales largos) o semicontinua (produciendo muchas partes). El proceso de extrusión puede hacerse con el material caliente o frío. Materiales extruidos comúnmente incluyen metales, polímeros, cerámicas, hormigón y productos alimenticios.

La extrusión ha tenido una gran aplicación en la producción de alimentos empacados. . Productos como pastas, masa de la galleta, cereales del desayuno, las comidas para bebé, las papas fritas, la comida seca, entre otros, son principalmente manufacturados por extrusión. En el proceso, se muelen los materiales hasta darles el tamaño correcto a las partículas (usando la consistencia de la harina ordinaria). La mezcla seca se pasa a través de un pre-acondicionador dónde se agregan otros ingredientes (azúcar líquido, grasas, tintes, carnes y agua que dependen del producto). La mezcla pre condicionada se pasa entonces a través de un extrusor forzándola a pasar a través de un dado dónde se corta a la longitud deseada. El proceso de cocción tiene lugar dentro del extrusor dónde el producto produce su propia fricción y calor debido a la presión generada (10-20 bar). El proceso de cocción es conocido como gelatinización del almidón. Los Extrusores que usan este proceso tienen una capacidad de 1 a 25 toneladas por hora⁸.

De este modo diferentes configuraciones de extrusores son utilizados hoy en día en la producción de cereales de desayuno, bocadillos, harina integral de soya, proteína vegetal texturizada, polvos para bebidas instantáneas, alimentos enriquecidos proteínicamente en base de cereales, alimentos precocidos para animales, etc, son procesados por este modo para controlar los inhibidores de crecimiento y para eliminar sustancialmente el sabor amargo en algunos alimentos

⁸ Wikipedia. *Extrusión*. 2009. <http://es.wikipedia.org/wiki/Extrusion>

utilizados para tal fin⁹. El proceso de extrusión suministra una manera continua de cocer, expandir y dar forma a la mezcla de cereales y/o proteínas, posee una gran capacidad de producción y empleando muy poca energía eléctrica y vapor por tonelada de producción es el más económico de los procesos industriales de cocción en uso actualmente¹⁰.

4.1 TECNOLOGÍA DE LA EXTRUSIÓN

La operación o procedimiento de extrusión es la acción de forzar el paso de un material fundido, por medio de presión, a través de un “dado” o “boquilla”. El procedimiento se ha utilizado durante muchos años para metales, como el aluminio y polímeros, que fluyen plásticamente cuando se someten a una presión de deformación. En el procedimiento original para someter los alimentos a extrusión, se utilizaron máquinas similares impulsadas por un ariete o empujador mecánico. En el proceso moderno se utilizan tornillos para hacer fluir el alimento en el estado fundido a lo largo de la camisa de la máquina. El tipo de dispositivo más utilizado es el de tornillo simple cuyas principales características se muestran en la figura 1. También se utilizan los extrusores de tornillos gemelos cuando se necesita una mezcla o las condiciones de transporte del material fundido son más exigentes.

El aparato está constituido principalmente por un tornillo de Arquímedes que se ajusta con precisión dentro de la camisa cilíndrica, apenas con el espacio suficiente para rotar. El polímero sólido se alimenta en un extremo y en el otro sale el material sometido a extrusión ya perfilado. Dentro de la máquina el polímero se funde y homogeniza¹¹.

⁹ SMITH,O.B. “Extrusion cooked Snacks in a fast Growing Market Cereal”. 1980

¹⁰ SMITH,O.B. “Extrusion cooked Snacks in a fast Growing Market Cereal”. 1980

¹¹ RAMOS DEL VALLE Luis f .Extrusión de Plásticos. Principios básicos 2 Ed. México: Limuza

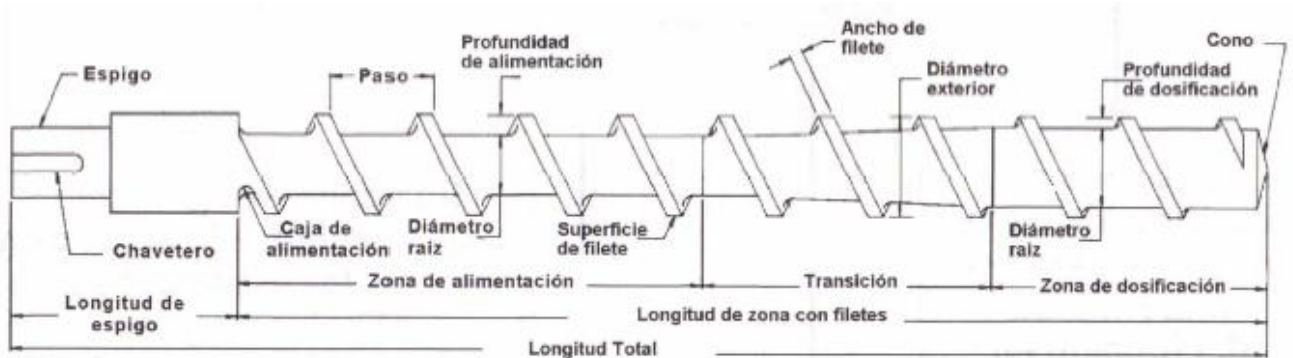


Figura 1. Partes principales de un tornillo de extrusión

4.2 CARACTERÍSTICAS DE UN EXTRUSOR DE TORNILLO SIMPLE

En el extrusor monotornillo para una operación normal de cocción se pueden encontrar tres secciones: alimentación, compresión y sección de bombeo o “metering”. Los límites de estas zonas no son fijos, sino que dependen del diseño y de las condiciones operativas. El material, que debe poseer una granulometría adecuada y uniforme, y con humedades que varían entre 10 y 35%, entra en la zona de alimentación y es transportado por acción del tornillo, en esta parte puede poseer filetes más profundos para compensar el cambio de volumen que se produce en la zona o sección de compresión, asegurando el caudal másico que sale a través de la boquilla. El flujo sólido se va transformando hasta convertirse en flujo viscoso, mediante el cual la energía mecánica se disipa. Si esa transformación no se produce la operación se reduce al transporte del material y al pasaje a través de la boquilla. En la sección de bombeo o “metering” la masa sufre las transformaciones más importantes, quedando las partículas, que anteriormente formaban la sémola totalmente destruida y sus contenidos integrados en toda la masa. El grado de interacción y de modificación estructural dependerá de las variables de operación. Esta sección asegura un flujo uniforme a través de la boquilla. Cuando la masa la atraviesa, la presión es liberada súbitamente permitiendo que el agua, en estado líquido sobrecalentada, se evapore

instantáneamente (flashing), produciendo la expansión del material y dándole la típica estructura porosa¹² (ver figura 5).

La sección en donde comienza el aumento de temperatura y presión se determina como zona de transición o compresión, como las dimensiones en el canal de flujo comienza a disminuir, el material es comprimido y la energía mecánica se disipa a medida que la temperatura aumenta, esta sección puede ser llamada como zona de amasado en donde se evidencian cambios significativos en las características físicas y químicas de los ingredientes que intervienen en el proceso. Sección de cocción, es donde la compresión adicional de la extrusión se produce como resultado de las reducciones en las dimensiones del canal de flujo y el aumento del corte de acción. En algunos diseños las reducciones en el barril también son realizadas.

Los extrusores de único tornillo pueden ser clasificados conforme sea su aplicación en la industria. En general, en las extrusoras de baja cizalla se incluyen los barriles de superficies lisas, canales de flujo relativamente grandes y bajas velocidades de tornillo de (3-4 rpm). Las características de algunas extrusoras de corte, incluyen ranuras en las superficies del barril, reducción del caudal en el canal de secciones transversales, e incluyen velocidades moderadas en el tornillo de (10-25 rpm). Los sistemas de extrusión de alta cizalladura operaran a velocidades altas de (30-45 rpm), cada uno de estos tipos de sistemas de extrusión crean productos procesados con diferentes propiedades y características.

Una dimensión adicional de la operación en el sistema de extrusión de tornillo simple se asocia con las características del flujo dentro del cilindro y alrededor de los filetes del tornillo; aunque el flujo de avance se produce por la acción natural del tornillo, el retorno del flujo se produce entre los filetes y la superficie del barril.

¹² **González, R.J.; Torres, R. L.; De Greef, D.M. (2002).** "Extrusión-Cocción de Cereales". *Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 36(2): 104-115.

El flujo de retorno es el resultado de aumento de la presión en donde el extruido se mueve de una sección de la extrusora a otra; el segundo componente de flujo de retorno es la fuga de material entre los filetes y el barril; este tipo de flujo puede ser reducido por los canales en la superficie del barril¹³.

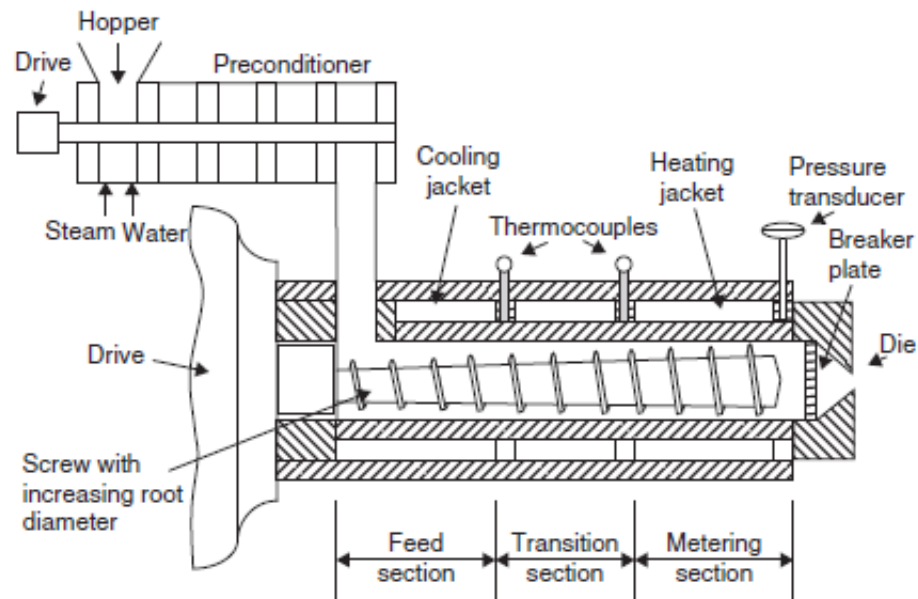


Figura 2. Secciones dentro del barril en un extrusor de tornillo simple. (Harper, 1989).

El material que es transportado dentro del extrusor puede recibir energía térmica por medio de 3 mecanismos:

1. Transferencia de calor a través de las paredes del cilindro con un fluido calefactor.
2. Aplicación de vapor directamente al interior del cilindro.

¹³ R, Paul Singh. D.R. Heldman, " Introduction to Food Engineering, 4th Edition; Department of Biological and Agricultural Engineering and Department of Food Science and Technology University of California; Mason, Ohio; P.734-735.

3. Disipación de energía mecánica por fricción interna del material.

Los cambios más importantes que ocurren dentro de extrusor, se producen a través del mecanismo de flujo viscoso, que es desarrollado en los tramos finales del tornillo y que permite la suficiente destrucción de la estructura granular del almidón aumentando la solubilidad en agua de la fracción amilácea y provocando cambios en las propiedades reológicas que aseguran la expansión a la salida.

En algunos diseños los tres mecanismos pueden operar simultáneamente, cuando no se desean transformaciones profundas, es decir grados de cocción moderados, (moderada destrucción de la estructura granular) el tercer mecanismo debe mantenerse en bajos niveles (low shear cooking) mientras que cuando se desean transformaciones profundas, es decir, altos grados de cocción, el tercer mecanismo es el que controla el proceso (high shear cooking)¹⁴.

4.3 PRINCIPALES VARIABLES EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN

El grado de cocción (GC) se incrementa al aumentar la temperatura y la relación de compresión del tornillo y al disminuir la humedad y el diámetro de la boquilla. Una mayor velocidad de rotación se traduce en un menor tiempo de residencia y por lo tanto un menor grado de cocción pero simultáneamente es mayor el gradiente de velocidad y por lo tanto es mayor la intensidad de los esfuerzos de corte producidos. Dicha intensidad dependerá tanto de las características propias del material (dureza, forma, distribución de las partículas etc.) como del nivel de fricción alcanzado, que a su vez depende de la presión y de la humedad. Es importante destacar que las transformaciones se producen en tiempos cortos y

¹⁴ **González, R.J. (1988)**. Boletín de extrusión del ITA (UNL).

menores al tiempo de residencia medio. Otro aspecto a destacar es que la temperatura es considerada una variable independiente solo en el caso de la extrusión con control de temperatura desde el exterior, para el caso de extrusores autógenos la misma debe considerarse una respuesta¹⁵.

VARIABLES INDEPENDIENTES	Humedad
	Tipo y composición del material
	Intercambio de calor
	Temperatura
	Grado de Alimentación
	RPM
VARIABLES INDEPENDIENTES DEL DISEÑO	Geometría
	Cilindro
	Tornillo
	Boquilla
RESPUESTAS	Presión
	Temperatura
	Caudal Másico
	E Mecánica
	Distribución de tiempo de Residencia
	Propiedades del Producto

Tabla 1: Variables más importantes que intervienen en el proceso de extrusión (González, 2002).

Las características de la masa que fluye dentro del extrusor y sus propiedades finales dependen de su composición: humedad, materia grasa, fibra, almidón, proteína, sales, emulsionantes y del diseño particular que provoca mayor o menor interacción partícula-partícula.

Definidas las condiciones de extrusión (relación de compresión del tornillo, velocidad de rotación, diámetro de la boquilla, nivel de temperatura a controlar (tanto en la zona del cilindro como de la boquilla), material a extrudir (tamaño de partículas, humedad, etc.), la operación es comenzada alimentando material con una humedad suficiente para evitar una excesiva presión inicial, luego se introduce el material en estudio manteniendo siempre llena a la zona de alimentación del tornillo. La toma de muestras se realiza una vez que se alcanza el estado estacionario, es decir cuando el caudal de salida (Q_s), la presión y el torque (medido sobre el eje del motor), se mantienen constantes. Este caudal de salida,

¹⁵ **González, R.J.; Torres, R. L.; De Greef, D.M. (2002).** “Extrusión-Cocción de Cereales”. *Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 36(2): 104-115.

se refiere a la humedad de alimentación (Q_a), habiendo sido previamente determinado el caudal másico de sólido seco (Q_{ss})¹⁶.

¹⁶ **González, R.J.; Torres, R. L.; De Greef, D.M. (2002).** “Extrusión-Cocción de Cereales”. *Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 36(2): 104-115.

5. MARCO METODOLOGICO

El Proyecto de investigación consistirá en establecer una metodología para llegar hasta el objetivo propuesto, determinando la evolución del desgaste alcanzado por un tornillo extrusor de alimentos en sus diferentes zonas de trabajo, haciendo un análisis de la estructura metalográfica del tornillo, en donde se contextualizaran los diferentes agentes que causan el desgaste prematuro y las diferentes variables del proceso que incrementan dicho deterioro. La validación del mejor recubrimiento se hará con pruebas experimentales en donde se calculara el desgaste en el tiempo en sus diferentes zonas de trabajo, observando los cambios significativos con respecto al uso de distintas materias primas a extruir.

Todo proyecto de ingeniería tiene unos fines ligados a la obtención de un producto, proceso o servicio que es necesario generar a través de diversas actividades. Algunas de estas actividades pueden agruparse en fases porque globalmente contribuyen a obtener un producto intermedio, necesario para continuar hacia el producto final y facilitar la gestión del proyecto, esto se realizara de la siguiente forma.

- Recopilación de documentación bibliográfica primaria y secundaria
- Realización de pruebas de extrusión, para cuantificar la cantidad de material metálico desprendido por el tornillo de extrusión.
- Agrupación de datos que se involucran en el desgaste del tornillo extrusor.
- Propuesta de materiales metálicos, que relacionen a favor las variables anteriormente recopiladas, que demuestren el mejor rendimiento frente al desgaste por agentes químicos propios de las materias primas utilizadas en el proceso.
- Comparación y análisis de resultados obtenidos.

A continuación se detallan los pasos anteriormente mencionados.

5.1 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECOLECTADA

Cuando se realice la recolección de información referente a los diferentes características del proceso de extrusión, formas de contaminación y cambios que sufre la estructura metalográfica frente al desgaste; se analizarán las tendencias y evolución del desgaste con el propósito de plantear un recubrimiento que adopte las mejores características para soportar agresiones físicas, mecánicas y químicas propias del proceso de extrusión.

5.2 AVANCE DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES

Diseño de pruebas

Antes de comenzar a realizar las pruebas se tomarán las diferentes variables que más tiene incidencia en el proceso, dado que estas serán el punto de partida para la comparación de los resultados en la fase final de la investigación.

Desarrollo de las pruebas

En esta etapa se contemplarán los conocimientos de diferentes autores que han aportado al tema del desgaste en materiales metálicos utilizados en procesos alimenticios; con el fin de cuantificar la pérdida de masa y dimensiones del tornillo e identificar como en las 3 zonas de trabajo se presentan desgastes diferenciados y analizar el nivel de daño en el deterioro del tornillo.

Determinación de las pruebas

Con los resultados del diseño y desarrollo de las pruebas se correlacionará la cantidad de material removido por la acidez orgánica de la materia prima, con los

datos obtenidos al momento de hacer las pruebas en el tornillo con los materiales propuestos al final del análisis con el fin de mitigar los factores que impulsan el deterioro prematuro del tornillo de extrusión; para lo anterior se requieren ensayos específicos como: metalografía, microscopia electrónica de barrido, análisis semicuantitativo, medición micrométrica del desgaste y microdureza.

5.3 RESULTADOS ESPERADOS

Una vez cuantificado el tipo y el desgaste que se presenta según las zonas de trabajo en un tornillo extrusor, se propondrá un método que permita controlar el desgaste que sufre el material al ser sometido a contacto con alimentos, diferenciando las zonas de operación de un tornillo en un equipo extrusor de alimentos.

6. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

ACTIVIDADES / SEMANAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1. Diseño del proyecto																
2. Localización de bibliografía afín																
3. Diseño de pruebas iniciales																
4. Aplicación de las pruebas diagnósticas y apreciación																
5. Elaboración de la planeación a desarrollar.																
6. Desarrollo de las actividades (inicio, desarrollo y evaluación)*																
7. Evaluación de las actividades desarrolladas.																
8. Recopilación de contenidos.																
9. Elaboración de informe y contenidos de conclusión.																

7. PRESUPUESTO

DESCRIPCION	COSTO
Metalografías	\$150.000
Microscopias electrónicas	\$200.000
Pruebas de microdureza	\$80.000
Análisis espectroscópico de emisión de deterioro en metales.	\$250.000
Transportes	\$250.000
Comunicaciones	\$150.000
Materiales de fabricación	\$100.000
Servicio de torno y fresadora	\$200.000
Recurso humano (2 ingenieros)	\$1.000.000
Papelería	\$200.000
TOTAL	\$2.580.000

8. BIBLIOGRAFÍA

GONZÁLEZ, R.J., TORRES, R. L. Y DE GREEF. *Extrusión-Cocción de cereales.* Brasil : s.n., D.M. (2002)., Vol. Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de alimentos. 36 (2)

YACU, W:A. *Introduction and General Principles of Food extrusion, Food Extrusion Short Course.* New Jersey : The Center for Professional Advancement, 1999.

KOKINI, J.L. Y CHANG. *Food Extrusion Science and Technology.* new york : s.n., 1992, p.631-652.

B. MICHAEL S; L. EVANGELIOS; B. SOTIRIOS. *Chromium Content Of Selected Greek Foods.* Grecia, 2001.

T. SANTONEN; H. STOCKMANN-JUVALA Y A. ZITTING. *Review On Toxicity Of Stainless Steel,* Helsinki 17 de Noviembre del 2010, Finnish Institute Of Occupational Health.

INTERNATIONAL NICKEL COMPANY INC, *Corrosion Resistance Of The Austenitic Chromium-Nickel Stainless Steels In Chemical Environments,* New York, 1963, p16.

OMAR QUINTERO SAYAGO, *Ciencia de los Materiales.* Dpto. de Ciencia de los Materiales. Universidad Simón Bolívar, Caracas. Venezuela. 1998

Wikipedia. *Extrusión.* 2009. <http://es.wikipedia.org/wiki/Extrusion>

E. N. DIONICIO P, S. R. FRANCIA, V. A. VEGA, O. GONZÁLES, E. TABUCHI M.; *Precipitación martensítica en aceros inoxidables AISI 304 - corrosión bajo tensión,* departamento de ingeniería metalúrgica. UNMSM.

J. R. GALVELE, G. S. DUFFÓ, *Procesos de Corrosión,* Instituto de Tecnología, Argentina 1994. pp. 1.6-10.9.

G, ROKEY. *Tecnología De La Extrusión E Implicaciones Nutricionales.* XI Curso De Especialización FEDNA. Barcelona: 1995.

SMITH,O.B. "Extrusion cooked Snacks in a fast Growing Market Cereal". 1980

RAMOS DEL VALLE LUIS F. Extrusión de Plásticos. Principios básicos 2 ed. Mexico: Limuza

GONZÁLEZ, R.J.; TORRES, R. L.; DE GREEF, D.M. (2002). “Extrusión-Cocción de Cereales”. *Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 36(2): 104-115.

R, PAUL SINGH. D.R. HELDMAN, “ Introduction to Food Engineering, 4th Edition; Department of Biological and Agricultural Engineering and Department of Food Science and Technology University of California; Mason, Ohio; P.734-735.

GONZÁLEZ, R.J. (1988). Boletín de extrusión del ITA (UNL).

GONZÁLEZ, R.J.; TORRES, R. L.; DE GREEF, D.M. (2002). “Extrusión-Cocción de Cereales”. *Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 36(2): 104-115.

GONZÁLEZ, R.J.; TORRES, R. L.; DE GREEF, D.M. (2002). “Extrusión-Cocción de Cereales”. *Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 36(2): 104-115.

Bogotá D.C, 15 de noviembre de 2011

Señores(as);

CONSEJO CURRICULAR DE INGENIERÍA MECÁNICA

Facultad Tecnológica

Universidad Distrital “Francisco José de Caldas”

Bogotá

Referencia: Radicación del anteproyecto para realizar el trabajo de grado.

Respetados señores(as);

Por medio de la presente hago entrega del documento de anteproyecto de grado, titulado: ***ANÁLISIS DEL DESGASTE DE UN TORNILLO EXTRUSOR DE ALIMENTOS SEGUN SUS ZONAS DE TRABAJO***, para que sea asignado un tutor, con la finalidad de cumplir con el requisito que exige la universidad para optar al título de Ingeniero Mecánico, como lo estipula el CAPITULO VII en el artículo 70 del Estatuto Estudiantil.

Atentamente;

Código:

Código:

Vº Bº Tutor: _____

UNIVERSIDAD DISTRITAL “FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS” - FACULTAD
TECNOLÓGICA

PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA

FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO

Nº DE RADICACIÓN: _____

INFORMACIÓN EJECUTORES:

Ejecutor 1

Nombre (s): Ramón Oxmany

Apellido (s): Picón Mieles

Código: 20042275

E-mail: mecanixmos@hotmail.com

Teléfono fijo:

Celular: 311 222 49 19



Ejecutor 2

Nombre (s): Juan Carlos

Apellido (s): Tarazona Romero

Código: 20062275027

e-mail: juan.tarazona83@gmail.com

Teléfono fijo: 091-4767812

Celular: 321 375 23 76



INFORMACIÓN DEL PROYECTO:

Título del Proyecto: ***ANÁLISIS DEL DESGASTE DE UN TORNILLO EXTRUSOR DE ALIMENTOS SEGUN SUS ZONAS DE TRABAJO***

Duración (estimada): 4 Meses		
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x") Otro:	Innovación y Desarrollo Tecnológico	X
	Prestación y Servicios Tecnológicos	X
Modalidad del Trabajo de Grado:	Innovación y Desarrollo Tecnológico	
Línea de Investigación de la Facultad	Optimización de procesos industriales	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular:	Materiales y procesos de manufactura.	
Áreas del conocimiento que involucra:	Metalografía, química, materiales en ingeniería y conformado de metales.	
INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA:		
Director: (Vo. Bo.)	Miriam Avellaneda	
Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.)	Fabio Raúl Pérez Villamil	
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.)	Fabio Raúl Pérez Villamil	