

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Departamento Académico de Ciencias, Tecnología e Ingeniería de Alimentos



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EXTRUSOR PARA
CEREALES**

Tesis para optar al título de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Presentado por:

Julián RAJO CRUZ

TINGO MARÍA – PERÚ

2010



U30

R17

Rajo Cruz, Julián

Diseño y construcción de un extrusor para cereales

70 páginas; 5 cuadros; 14 fgs.; 25 ref.; 30 cm.

Tesis (Ing. Industrias Alimentarias) Universidad Nacional Agraria de la Selva,
Tingo María (Perú). Facultad de Industrias Alimentarias - 2010

1. EXTRUSION

2. PROTEÍNA TEXTURIZADA

3. TROQUEL

4. DISEÑO

5. CONSTRUCCION

6. LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María
FACULTAD DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
Av. Universitaria s/n. Teléfono (062) 561385 – Fax (062) 561156
Apart. Postal 156 Tingo María E.mail; fia@unas.edu.pe

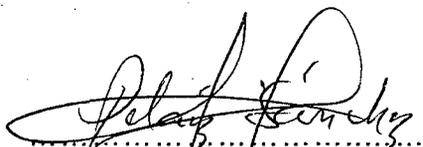
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos en acto público el 25 de Octubre de 2010, a horas 12:00 m. en la Sala de Grados de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicada en la ciudad de Tingo María, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, para calificar la tesis presentado por el Bach. **RAJO CRUZ, Julián**, titulada:

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EXTRUSOR PARA CEREALES”

Después de haber escuchado la sustentación, las respuestas a las preguntas formuladas, lo declaran *APROBADO* con el calificativo de *MUY BUENO* en consecuencia el Bachiller, queda apto para recibir el título de **Ingeniero en Industrias Alimentarias** del Consejo Universitario, de conformidad con el Art. 22° de la Ley Universitaria 23733; los artículos 51° y 52° del Estatuto Actualizado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Tingo María, 25 de Octubre de 2010


.....
Dr. Pedro P. Peláez Sánchez
Presidente


.....
Ing. Yolanda J. Ramirez Trujillo
Miembro


.....
Ing. Jaime E. Basilio Atencio
Miembro


.....
Ing. Williams V. Roldán Carbajal
Asesor

AGRADECIMIENTO

- Al Dios todo poderoso por las bendiciones y la voluntad en mi formación espiritual.
- A Cremario Rajjo Ramos Y Teodora Cruz Payano por el apoyo en mi formación académica.
- A Fanny Gissella Huataquispe Oscurima por su apoyo en la realización de la tesis.
- Al Ing. Williams Roldán Carbajal por su orientación y aporte académico para hacer posible este proyecto.
- A “TREBOL Ingenieros” por el asesoramiento técnico, logístico y por sus maquinarias y equipos que permitieron la construcción del extrusor
- A “INDUSTRIAS METAL MECÁNICA EMANUEL” por facilitar las maquinas, herramientas e instalaciones.
- A los docentes de la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María.
- A los docentes de la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Definición de términos.....	3
2.1.1. El extrusor.....	3
2.1.2. Extrusión.....	3
2.2. Historia de la extrusión.....	4
2.3. Clasificación de equipos de Extrusión.....	5
2.3.1. Termodinámicamente.....	5
2.3.2. Por la presión que ejerce.....	6
2.3.3. Por la configuración del tornillo y cilindro.....	6
2.3.4. Tipos de extrusores según la relación a D/h.....	7
2.3.5. Extrusores de nueva generación.....	8
2.4. Descripción de las partes del extrusor.....	9
2.4.1. Tolva o zona de alimentación.....	9
2.4.2. Alimentador dosificador.....	9
2.4.3. Mezclador o pre acondicionador.....	10
2.4.4. Tornillo del extrusor o rotor.....	10
2.4.5. Cañón, barril o cilindro del extrusor.....	10
2.4.6. Chaquetas del cilindro.....	11
2.4.7. Tomas para inyección de agua y/o vapor.....	11
2.4.8. Transmisión del rotor.....	11
2.4.9. Dado a la salida del producto.....	12

2.4.10.	Cortador del producto.....	12
2.4.11.	Controles del operación	12
2.5.	Zonas del proceso de extrusión.....	12
2.5.1.	Zona de alimentación.....	12
2.5.2.	Zona de cocción.....	13
2.5.3.	Zona de expansión.....	14
2.6.	Características de construcción de un extrusor.....	15
2.6.1.	Construcción modular.....	15
2.6.2.	Tipo de cilindro según su interior.....	15
2.6.3.	Cilindro fijo o desmontable.....	16
2.6.4.	Camisas en el cilindro.....	16
2.6.5.	Control de humedad.....	16
2.6.6.	Rotor.....	16
2.6.7.	Velocidad de rotor.....	17
2.6.8.	Transmisión del extrusor.....	17
2.6.9.	Dado de descarga o troquel.....	17
2.6.10.	Mecanismo del cortador.....	18
2.7.	Factores de selección de un extrusor.....	18
2.8.	Condiciones de diseño y construcción de un extrusor.....	19
2.9.	Potencia requerida	19
2.10.	Dado o troquel y su conducta con el extrusor.....	20
2.11.	Extrusores de tornillo simple.....	22
2.12.	Efectos de la extrusión.....	23

2.13. Aplicación en la industria alimentaria.....	24
2.14. Ventajas y desventajas de la extrusión.....	26
2.14.1. Ventajas del proceso de extrusión.....	26
2.14.2. Desventajas.....	28
2.15. Materias primas sujetos al proceso de extrusión.....	29
2.15.1. Cereales.....	29
2.15.2. Tubérculos.....	30
2.15.3. Almidones.....	31
2.15.4. Materias primas con alto contenido de proteínas..	32
2.15.5. Otras materias primas.....	33
2.16. Alimentos extruidos.....	33
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
3.1. Lugar de ejecución.....	35
3.2. Materiales.....	35
3.2.1. Materiales para el alimentador.....	35
3.2.2. Materiales para el cilindro.....	36
3.2.3. Materiales para la caja Norton.....	36
3.2.4. Materiales para el tornillo o rotor.....	36
3.2.5. Materiales para el soporte del extrusor.....	37
3.2.6. Materiales para la transmisión de fuerza.....	37
3.2.7. Para trabajos diversos.....	37
3.3. Maquinas, equipos y herramientas.....	38
3.3.1. Maquinas.....	38
3.3.2. Equipos.....	39

3.3.3. Herramientas.....	39
3.4. Metodología experimental.....	40
3.4.1. Construcción del extrusor.....	40
3.4.1.1. Construcción del tornillo del extrusor.....	40
3.4.1.2. Construcción del cañón o cilindro del extrusor.....	41
3.4.1.3. Construcción de la caja Norton.....	42
3.4.1.4. Construcción del dado o troquel.....	42
3.4.1.5. Construcción del soporte de la caja Norton.....	43
3.4.1.6. Construcción del soporte del extrusor.....	43
3.4.1.7. Construcción de la transmisión de fuerza.....	43
3.4.1.8. Construcción de la tolva de alimentación.....	43
3.4.2. Proceso de extrusión de una mezcla de maíz y soya al 50%.....	44
3.4.2.1. Consideraciones para el proceso de extrusión.	44
3.4.2.2. Formulación y mezcla	44
3.4.2.3. Pre arranque y arranque del extrusor.....	45
3.4.2.4. Operación de extrusión.....	45
3.4.2.5. Limpieza del extrusor.....	47
3.4.3. Determinación del índice de expansión.....	47
3.4.4. Determinación de los parámetros del extrusor.....	47
3.4.4.1. Determinación de la velocidad final de rotación.	47
3.4.4.2. Determinación del volumen de residencia.....	47
3.4.4.3. Determinación del flujo de alimentación.....	49

3.5. Diseño experimental.....	50
IV. RESULTADOS.....	51
4.1. De los parámetros del extrusor.....	51
4.1.1. Velocidad del tornillo.....	51
4.1.2. Volumen de residencia.....	51
4.1.3. Flujo de alimentación.....	52
4.2. Del Extrusor.....	53
4.2.1. El tornillo.....	53
4.2.2. Transmisión de fuerza y movimiento.....	55
4.2.3. El cilindro o cañón.....	55
4.2.4. Motor o generador de fuerza.....	56
4.2.5. La caja Norton.....	58
4.3. Producto extruido.....	58
4.4. Del índice de expansión.....	59
V. DISCUSION.....	60
5.1. Respecto al dosificador y capacidad de producción.....	60
5.2. Respecto a la función del tornillo del extrusor.....	61
5.3. Respecto al material empleado.....	62
5.4. Respecto al producto elaborado.....	63
5.5. Respecto al índice de expansión.....	63
VI. CONCLUSIONES.....	65
VII. RECOMENDACIONES.....	66
VIII. BIBLIOGRAFIA.....	67
ANEXO	71

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
1. Características de algunos extrusores según D/h.....	7
2. Aproximación de potencia requerida para extrusor.....	20
3. Volúmenes de residencia en las secciones del extrusor.....	54
4. Diámetro de los extruidos con orificios y diámetros de troquel diferentes.....	58
5. Índice de expansión de extruidos con diferentes troqueles.....	59

INDICE DE FIGURAS

	Página
1. Parámetros de T°, tiempo y Humedad de producción.....	8
2. Expansión por el fenómeno de la extrusión.....	14
3. Velocidad de flujo y gradiente de velocidad de corte.....	15
4. Formas y tamaños de productos extruidos.....	21
5. Corte de un extrusor típico de un solo tornillo.....	22
6. Descripción de la cocción de almidón.....	23
7. Interacción de las propiedades del material, variables de proceso y características del producto.....	25
8. Flujo grama de las etapas de la extrusión.....	46
9. Tornillo del extrusor y secciones.....	54
10. Volante o polea reductora.....	55
11. Cilindro o cañón.....	56
12. Motor generador de fuerza.....	57
13. Caja Norton.....	58
14. Producto extruido.....	59
15. Diagrama típico de un proceso de extrusión.....	79
16. Maíz amarillo partido.....	80
17. Soya pre quebrado.....	80
18. Extruido de maíz y soya al 50% (troquel 2 orificios de 3 mm).	81
19. Extruido (1; 2 y 3 orificios y con 2; 3 y 4 mm de diámetro).....	81
20. Extrusor en etapa de construcción.....	82
21. Extrusor de bajo costo.....	83

22.	Troquel de 2 orificios de 4 mm de diámetro.....	84
23.	Troquel de 3 orificios de 5 mm de diámetro.....	84
24.	Sección de dosificación del tornillo.....	85
25.	Sección de molienda y mezclado del tornillo.....	85
26.	Sección de cocción y compresión del tornillo.....	86
27.	Tornillo del extrusor.....	86
28.	Base del motor.....	87
29.	Brida en el extremo del cilindro.....	87
30.	Esmeril de banco.....	88
31.	Amoladora.....	88
32.	Soldadora eléctrica.....	89
33.	Equipo de oxi – corte (botellón y gasómetro).....	89
34.	Compresor de aire.....	90
35.	Prensa estándar.....	90

LISTA DE PLANOS

Plano A-1. Tornillo o rotor del extrusor.....	92
Plano A-2. Cañón o cilindro del extrusor.....	93
Plano A-3. Caja Norton.....	94
Plano A-4. Dado o troquel.....	95
Plano B-1. Soporte de la caja Norton.....	96
Plano B-2. Base del extrusor.....	97
Plano B-3. Volante de transmisión.....	98
Plano B-4. Tolva de alimentación.....	99

RESUMEN

El presente trabajo se realizó con el asesoramiento del Ing. Williams Roldan Carbajal, en las instalaciones de mecánica "EMANUEL" ubicado en el Jr. Bolívar No. 159 Huariaca Pasco, establecimiento dedicado a la fabricación de máquinas industriales. Las pruebas se realizaron en las instalaciones de la planta procesadora de alimentos de la municipalidad distrital de Yarusyacan provincia y región Pasco, donde se aprovechó la instalación eléctrica trifásica.

Los objetivos de la presente investigación fueron: diseñar y fabricar un extrusor con materiales disponibles en nuestro medio y de bajo costo y evaluar mediante el índice de expansión una mezcla de maíz y soya al 50 % eligiendo el troquel adecuado. En el diseño del extrusor cocedor de alto corte se ha tomado en cuenta la configuración del tornillo, la relación D/h 7,14 y la configuración del troquel, el número de orificios y el tamaño del orificio, el tipo de producto a elaborar, proteínas texturizada o gelatinización de almidones, la cantidad de materia prima, diseño del producto, forma y tamaño de los productos, el suministro de energía que puede variar entre 5 y 7,5 HP y la velocidad del tornillo 321 rpm.

La velocidad de rotación del tornillo fue de 321 rpm, el volumen de residencia en la zona de alimentación $5,6 \text{ cm}^3$, el flujo de alimentación $1819 \text{ cm}^3/\text{min}$ y el índice de expansión óptimo fue de 3,1.

El costo del equipo fue de S/. 9129.00 nuevo soles. La capacidad de producción es a nivel de planta piloto y laboratorio experimental que varía de 60 a 90 kg, ya que para determinados experimentos o pruebas se requiere que sean lotes de pequeña cantidad para no aumentar demasiado el costo de la investigación.

Palabras claves: *extrusión, troquel, proteína texturizada.*

I. INTRODUCCIÓN

Los inicios del proceso de extrusión tuvieron lugar en los años treinta en los Estados Unidos con *General Meals Inc*, *Adams Corporation* y *Wenger International*. Los primeros productos tuvieron formas de boquillas que además fueron elaborados a partir de maíz y otros cereales; en la actualidad estos productos continúan aumentando en popularidad en todo el mundo, además de en formas, tamaños y colores.

Se requiere del desarrollo de nuevas tecnologías para elaborar alimentos de bajo costo. La extrusión en nuestro país apenas se inicia y es una aplicación que requiere de mucha investigación, muchas pruebas y muchos experimentos, pero que a la larga traerá beneficios a la población, sobre todo a las clases de escasos recursos, ya que por medio de la extrusión se reducirán los costos de producción de alimentos a base de granos y cereales.

El objetivo del trabajo fue la construcción de un extrusor de bajo costo con materiales disponibles y fabricados en el Perú y su evaluación mediante el índice de expansión en una mezcla de maíz y soya al 50 % eligiendo el troquel adecuado.

El extrusor diseñado y construido es capaz de realizar extruidos, molienda, mezclado, cocción y expansión dependiendo de la configuración del troquel.

En el diseño del extrusor cocedor de alto corte se tomó en cuenta la configuración del tornillo, la relación D/h de 7,14, la configuración del troquel, el número de orificios y el tamaño del orificio, el tipo de producto a elaborar, proteínas texturizada o gelatinización de almidones, la cantidad de materia prima, diseño del producto, forma y tamaño de los productos, el suministro de energía que puede variar entre 5 y 7,5 HP y la velocidad del tornillo 321 rpm.

Los materiales usados en la fabricación del extrusor son fabricados en el Perú con excepción de los rodamientos que a su vez determinó el costo del equipo que fue de S/. 9129,75 nuevo soles. La capacidad de producción es a nivel de planta piloto y laboratorio experimental que varía de 60 a 90 kg.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Definición de términos básicos

2.1.1. Extrusor

La palabra extrudir proviene del latín *extrudere* y significa empujar o presionar hacia afuera, "expeler" o expulsar (HARPER, 1999). Se puede decir que los extrusores son bombas especializadas que forman productos al forzar a los materiales sometidos al proceso de extrusión a fluir a través de una restricción llamado boquilla o dado (WENGER, 2001). 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 la boquilla. Consiste de uno o dos tornillos que giran dentro de un cilindro o cañón estacionario, la alimentación se realiza por un extremo (puerto de alimentación) y sale como producto extruido por el otro extremo a través de uno o más orificios (HARPER, 1999).

2.1.2. Extrusión

Es una operación en la que se combinan los efectos de transporte, mezclado, amasado, presurización, calentamiento, cocción, pasteurización, moldeado, texturización y/o disolución en una masa viscosa por la acción de uno o dos tornillos que giran dentro de un cilindro estacionario

(HARPER, 1999). Es un proceso en el que un material alimenticio es forzado a fluir, bajo una o más variedades y condiciones de mezclado, calentamiento y cizallamiento a través de una matriz que se diseña para moldear, secar e inflar los ingredientes (WENGER, 2001).

2.2. Historia de la extrusión

Los extrusores a través del tiempo han sido utilizados principalmente para procesar materiales viscosos, tales como plásticos, hule y algunos alimentos (pastas de trigo principalmente). Sin duda, la tecnología de extrusión tiene sus orígenes en la industria de los plásticos, pero la primera extrusión de compuestos celulósicos data de 1870, cuando se utilizó una prensa hidráulica como extrusor (HARPER, 1999).

Para principios de siglo se tiene conocimiento de aquellos primeros extrusores que se utilizaron en la producción de pastas. Hacia 1930 se usó 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 los dados formaba los diferentes tipos de pastas que hoy en día son ampliamente conocidos (HARPER, 1999).

La compañía *General Meals Inc.* fue la primera en utilizar los extrusores cocedores cuando en 1930 empezó a fabricar cereales pre cocidos para consumo inmediato. Para 1946 la compañía *Adams Corporation* lanzó al mercado alimentos tipo "botana" que fueron extruidos y cocidos en extrusores en los que se lograba esfuerzos de corte de mucha significancia y que eran alimentados por materiales de baja humedad (HARPER, 1999).

En la década de los cuarenta se empezaron a usar los extrusores cocedores a fin de fabricar alimentos balanceados para ganado y para fines de los sesenta y principio de los setenta se dio un fuerte impulso al diseño de diferentes extrusores para la elaboración de alimentos para consumo humano (HARPER, 1999).

En los últimos quince años ha tenido un gran auge la aplicación de los extrusores en la industria alimentaria; hoy los extrusores-cocedores son empleados para elaborar productos diversos como alimentos para mascotas, alimentos nutritivos para niños, botanas expandidas, etc., a velocidades de producción de cientos de kilogramos por hora (WENGER, 2001).

2.3. Clasificación de equipos de extrusión

2.3.1. Termodinámicamente

2.3.1.1. Extrusores autógenos

Los extrusores autógenos (casi adiabáticos) generan su propio calor por conversión de energía mecánica en el propio proceso de flujo. En estos la energía resultante será mayor cuando más viscoso sea el producto, mayor sea el diámetro del tornillo, mayor sea la velocidad de giro del mismo y menor sea la profundidad de las aletas. No requieren intercambiadores de calor (HARPER, 1999).

2.3.1.2. Extrusores isotérmicos

Mantiene la temperatura constante por suministro de calor o mediante enfriamiento para remover el calor generado por la conversión de energía mecánica (HARPER, 1999).

2.3.1.3. Extrusores poli trópicos

Operan entre las condiciones autógenas e isotérmicas. Todos los extrusores de alimentos son de este tipo (HARPER, 1999).

2.3.2. Por la presión que ejerce

2.3.2.1 Tipo desplazamiento directo o positivo

Este tipo de extrusores incluye el extrusor tipo pistón y el extrusor de doble tornillo (HARPER, 1999).

2.3.2.2 Tipo indirecto o de flujo viscoso

Estos extrusores modifican las características del producto extruido (HARPER, 1999).

2.3.3. Por la configuración del tornillo y cilindro

- Tornillo y cilindro constante
- Cilindro constante, incrementando el diámetro del tornillo de rotación
- La distancia del eje del tornillo decrece y el diámetro del eje es constante
- Diámetro del tornillo constante y el diámetro del tornillo decrece
- Diámetro del eje constante, decrece la distancia de los dientes y el diámetro del cilindro decrece
- Diámetro del eje constante, distancia de las dentaduras de restricción del tornillo constante y diámetro del cilindro constante (HARPER, 1999).

2.3.4. Tipos de extrusores según la relación D/h

Hay ciertas características que definen un extrusor, por ejemplo, la relación $D/h = \text{Diámetro del rotor y altura del álabe}$; esta relación define el tipo de extrusor, según los productos a elaborarse, tal como se muestra en el cuadro 1.

Cuadro 1. Características de extrusores según la relación D/h

D/h.	Tipo Extrusor	Producto	rpm
3 - 4	Para pasta	Macarrón	30-85
7 - 8	Alto corte (cocedor)	Proteína texturizada	350-500
9 - 10	Para pellets	Botanas infladas	300
7 - 15	Bajo corte	Bases para sopas	60-200
10 - 18	Pelitizadores	Para mascotas	80-150
10 - 12	Pelitizadores	Alimento para peces	150-200
5 - 8	Alta presión	Snacks de cereales	40-80

Fuente: (HARPER 1999).

Los extrusores para un producto determinado llevan un tornillo de longitud fija; sin embargo, cuando se necesita procesar 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 ensamblen unos con otros (HARPER, 1999).

2.3.5. Extrusores de nueva generación:

Diseñados para operar a grandes velocidades del eje y pequeñas razones de longitud de diámetro, ventajas: aumento de capacidad de un 30 a 50%, reducción del consumo de energía > a 25 % sensibilidad reducida a los componentes de desgaste (WENGER, 2001).

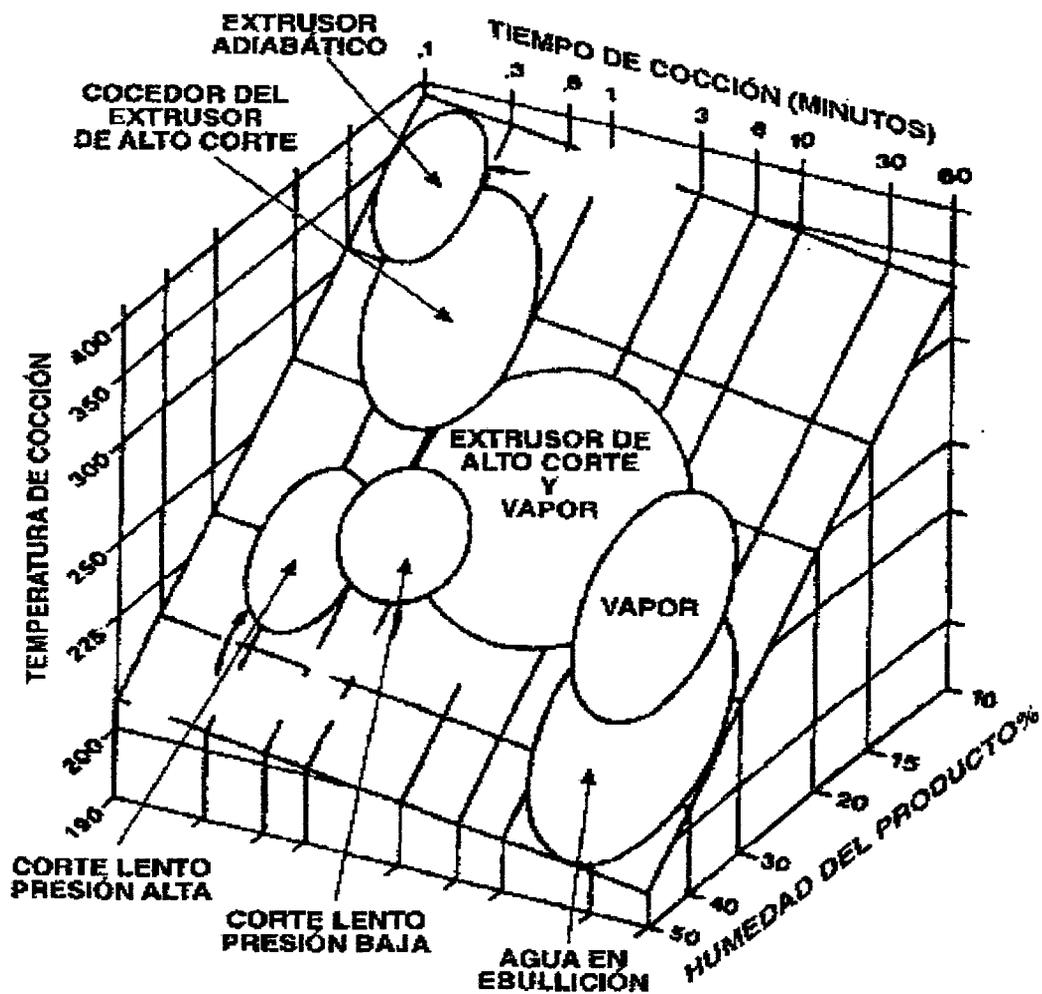


Figura 1. Parámetros de tiempo (t) y humedad (h) de producción

Fuente: MILLER (2009).

2.4. Descripción de las partes del extrusor

2.4.1. Tolva o zona de alimentación

2.4.1.1. Fondo Vivo LBM (*Live - Bin - Mixer*)

Esta tolva se recomienda para instalaciones de investigación, ya que consta de un alimentador con velocidad variable y un cilindro con agitador mezclador ideal para manejar productos harinosos, asegura la alimentación continua (LINK-BELT, 2000).

2.4.1.2. Opción LB (Live- Bin)

Está diseñada para alimentación forzada de productos secos (harinas, almidones, etc.) y materiales similares con características de fluidez muy pobres (LINK-BELT, 2000).

2.4.1.3. Opción D (Directo)

Esta opción se usa para manejar únicamente materiales de flujo libre y que no requieran un pre humedecido tales como maíz, trigo, quinua, Etc. (LINK-BELT, 2000).

2.4.2. Alimentador dosificador

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 adicionar humedad (HARPER, 1999).

El alimentador proporciona un flujo uniforme constante a la entrada del extrusor. En instalaciones de producto definido se hace de velocidad constante, en cambio, en instalaciones de investigación y desarrollo donde se tiene que trabajar con productos diversos, conviene que sea de velocidad variable (LINK-BELT, 2000).

2.4.3. Mezclador o pre acondicionador

En algunos extrusores donde se desea una mezcla perfecta o inclusive agregarle algo de humedad y temperatura con vapor o agua caliente (HARPER, 1999).

2.4.4. Tornillo del extrusor o rotor

El tornillo o rotor es el corazón del extrusor, ya que ejecuta las operaciones de mezclado, amasado, corte, cocimiento y formado al final (HARPER, 1999).

2.4.5. 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, estas obstrucciones 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 valor predeterminado (HARPER, 1999).

En el cilindro y tornillo se encuentran tres secciones donde se realizan las funciones de extrusión. El cañón o cilindro puede ser fijo o desmontable y en ocasiones puede ser partido longitudinalmente para facilitar la limpieza (HARPER, 1999).

2.4.6. Chaquetas del cilindro

En algunas ocasiones se requiere mantener la temperatura del producto en un límite máximo, esto se controla circulando agua a través de una chaqueta que lleva el cilindro. Asimismo, esta chaqueta sirven para calentar el producto con vapor directo, cuando así se requiera (HARPER, 1999).

2.4.7. Tomas para inyección de agua y/o vapor

Hay productos que requieren de una adición de humedad, ésta puede agregarse en forma de líquido (agua) o vapor a través de unas tomas especiales que atraviesan el cilindro. El volumen de agua debe dosificarse mediante controladores electrónicos o válvulas de manera que pueda obtenerse un producto uniforme (HARPER, 1999).

2.4.8. Transmisión del rotor

Para un producto pre determinado a una capacidad fija, se requiere de una velocidad constante y por lo tanto se puede emplear una transmisión sencilla, un juego de poleas y/o engranes (HARPER, 1999).

Sin embargo, para investigación y desarrollo, lo más adecuado es contar con un transmisor de velocidad variable (costoso), que nos pueda dar un margen de velocidades con un rango adecuado (HARPER, 1999).

2.4.9. Dado a la salida del producto

El dado a la salida del extrusor es maquinado de acuerdo al tamaño y forma deseada del producto final, la cantidad de orificios es en función de la producción deseada. Las formas más comunes son: cilindros, roscas, aros, etc. (HARPER, 1999).

2.4.10. Cortador del producto

El tamaño del producto se obtiene con una o varias cuchillas cortadoras que giran en un eje fijo al dado y movidas por un variador de velocidad o reductor de velocidad, que puede ajustar a la velocidad adecuada a

la capacidad y tamaño del producto (HARPER, 1999).

2.4.11. Controles del operación

Dependiendo de lo sofisticado del equipo, éste se puede adaptar con equipos de medición manual (tablero de control), automático o computarizado (PLC), siendo su costo de acuerdo a la exactitud requerida (HARPER, 1999).

2.5. Zonas del proceso de extrusión

2.5.1. Zona de alimentación

La función de esta zona es de recepción, transportar y comprimir el material a la zona de cocción. En esta sección puede incorporarse inyectores de agua por goteo o en forma de vapor. Las zonas de alimentación de los extrusores de polímeros se basan en que el material alimentado forma un lecho sólido que se desliza a lo largo del canal en forma rígida (HARPER, 1999).

HARPER (1999) considera una zona de transición entre la zona de alimentación y la de cocción que involucra flujo en dos fases. Se ha observado que cuando se alimenta el extrusor con alimenticios sólidos hay 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 entre el lecho sólido y el que fluye al pozo de fusión de la parte posterior de la hélice.

2.5.2. Zona de cocción

Esta sección es la más importante del extrusor. Su función es

recibir el material comprimido, homogeneizarlo y hacerlo pasar a través de la boquilla a presión constante. La homogeneización está acompañada por mezclado intenso de los flujos longitudinal y transversal (HARPER, 1999).

El tratamiento matemático de esta zona supone que el material actúa como un verdadero fluido, exhibe deformaciones al esfuerzo y se desliza en las superficies del tornillo y el barril. Esta sección del extrusor se comporta como una bomba centrífuga, con la capacidad de bombeo relacionada inversamente a la presión de bombeo (HARPER, 1999).

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. (AGUIRRE, 2000).

$$Q_{\text{neto}} = Q_a + Q_p \quad (1)$$

Dónde:

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

2.5.3. Zona de expansión

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 atmosférica. La velocidad de flujo a través de la boquilla está en función de la viscosidad, geometría de la boquilla (resistencia) y caída o gradiente de presión. La boquilla tiene como función principal dar la forma y el tamaño deseados al producto extrudido (AGUIRRE, 2000)

$$Q_{\text{boquilla}} = \kappa \frac{\Delta P}{\mu} \quad (2)$$

Dónde:

Q_{boquilla} = flujo de material a través de la boquilla

ΔP = gradiente de presión

k = constante de la boquilla

μ = viscosidad de la alimentación

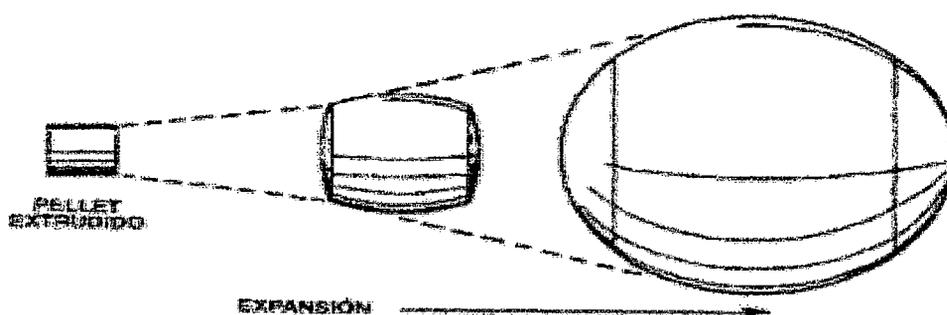


Figura 2. Expansión por el fenómeno de extrusión.

Fuente: MILLER (2009).

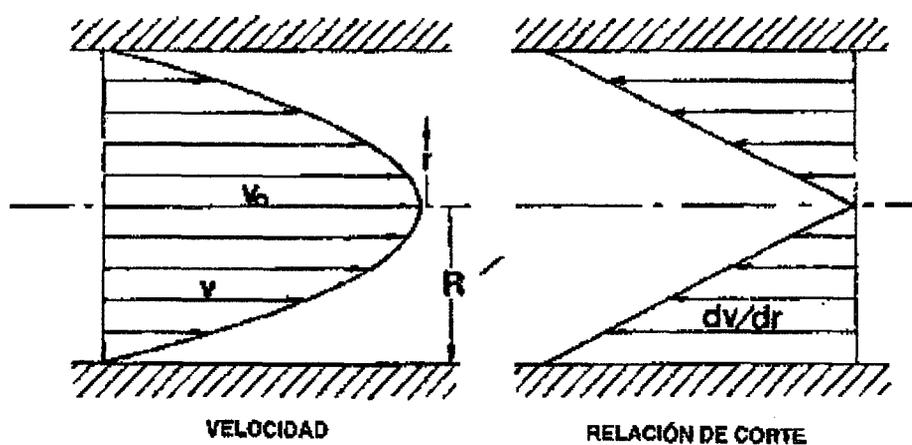


Figura 3. Velocidad de flujo y gradiente de velocidad de corte

Fuente: MILLER (2009).

2.6. Características de construcción de un extrusor

2.6.1. Construcción modular

Esto quiere decir que tanto el rotor como el cilindro pueden acortarse o alargarse y la relación L/D puede adecuarse para dar la presión requerida para determinados productos (HARPER, 1999).

2.6.2. Tipo de cilindro según su interior

El cilindro puede ser liso, ranurado, con pernos o barras de corte para lograr menor o mayor fricción del producto y alcanzar la presión y temperatura adecuada (HARPER, 1999).

2.6.3. Cilindro fijo o desmontable

En algunos extrusores el cilindro es desmontable, en otros el cilindro es fijo y el rotor se desmonta. En muchos casos se desmonta parte del cilindro y totalmente el rotor, en muy pocos casos el cilindro se abre longitudinalmente (HARPER, 1999).

2.6.4. Camisas en el cilindro

Algunos extrusores, sobre todo las del tipo modular, tienen integrado una camisa en el cilindro, dentro de la cual puede circular agua fría o caliente o vapor para lograr un control exacto de la temperatura. En otros extrusores, en lugar de la camisa, se instala un aditamento eléctrico y se calienta el cilindro (HARPER, 1999).

2.6.5. Control de humedad

Cuando se desea agregar humedad al producto en alguna etapa del proceso de extrusión, se en el cilindro válvulas para la inyección de agua o vapor. Este control generalmente es manual (HARPER, 1999).

2.6.6. Rotor: según WENGER (2001).

- Puede ser de una sola pieza y/o modular
- Los alabes del rotor pueden ser profundos o bajos
- El paso de los alabes puede ser seguido y/o interrumpido

2.6.7. Velocidad de rotor

La velocidad del rotor en un extrusor permite modificar dos variables como son: cantidad del producto desplazado y presión interna desarrollada. Que un extrusor cuente con un alternador de velocidad es de una utilidad muy grande, más aún en extrusores de planta piloto (HARPER, 1999).

2.6.8. Transmisión del extrusor

Según AGUIRRE (2000), el uso o tipo a que vaya a destinarse un extrusor, se diseña o se escoge la transmisión para que sea de:

2.6.8.1. Velocidad constante

A velocidad constante, la transmisión puede hacerse por:

- acople directo
- por bandas o fajas
- por bandas por reductor de engranes

2.6.8.2. Velocidad variable

Los de velocidad variable requieren un alternador de velocidad que es muy costoso y se usa solo para aplicaciones especiales.

2.6.9. Dado de descarga o troquel

Las formas que se desean obtener para los productos, es maquinado en una placa que es en realidad el orificio por donde se forma o se extruye la masa plástica. Hay infinidad de formas que se pueden obtener; como aros, tubos, estrellas, letras, esferas, Etc. En la actualidad existen extrusores de doble cañón con ingresos independientes que están unidos por el troquel dando como resultado un producto de dos sabores (HARPER, 1999).

2.6.10. Mecanismo del cortador

Aunque este aparato no forma una parte integral del extrusor, es indispensable su uso cuando se requiere partes pre formadas a una longitud o espesor constante. Consiste de una cuchilla giratoria, la cual gira por el mecanismo de velocidad variable para regular el corte a varios tamaños (HARPER, 1999).

2.7. Factores de selección de un extrusor

Todas las partes interiores se diseñan de acuerdo a las características de la materia prima y al producto que se desea obtener.

Según HARPER (1999), los factores determinantes para el diseño o selección de un extrusor son:

- Forma del producto (esferas, tubos, gránulos, churritas, polvos)
- Humedad inicial y final del producto
- Temperaturas máximas que puede soportar el producto sin deteriorarse.
- Temperatura mínima que debe aplicarse al producto para inactivar las acciones enzimáticas o para destruir los organismos patógenos.
- Consistencia deseada del producto final (crujiente, poroso, blando, chicloso, duro, elástico, polvo, etc.).
- Capacidad de producción si el equipo va ser destinado a investigación o producción industrial.

2.8. Condiciones de diseño y construcción de un extrusor

Un extrusor ideal para el manejo de productos alimenticios deberá cumplir con las siguientes condiciones de diseño y construcción:

- Fabricado de metales no corrosivos ni tóxicos, con superficies lisas que no posean cavidades donde el producto pueda acumularse, degradarse y/o contaminarse.
- Preferiblemente que las partes que tienen contacto con el alimento sean de acero inoxidable.
- Si se inyecta vapor o agua para pre acondicionamiento del producto, las válvulas deberán ser de acero inoxidable.
- Los lubricantes no serán tóxicos.
- El extrusor debe ser fácilmente desarmable para su limpieza e inspección. Que una vez removida la boquilla, la flecha sea capaz de extraer todo el material que permanece dentro del extrusor (HARPER, 1999; AGUIRRE, 2000).

2.9. Potencia requerida

HARPER (1999) refiere que aparte del requerimiento obvio del diseño, las especificaciones del tamaño, tipo de extrusor y trabajo a realizar determina el tamaño del motor requerido para un extrusor. Aquí existe otras razones para predecir la potencia de consumo del motor de un extrusor, generalmente la temperatura del extrusor ha sido especificado usualmente, la temperatura observado aumenta en un extrusor como resultado directo de la viscosidad de disipación de la potencia del motor.

WENGER (2001) sugiere que la energía específica de ingreso ($W \times h / \text{Pound}$) para tornillos de extrusión es una determinación crítica de las propiedades del producto extruido.

El suministro de energía eléctrica, y posteriormente transformada en energía mecánica, permite la rotación del tornillo del extrusor. A través de la disipación viscosa y fricción la mayor parte de esta energía es convertida en calor, que es aprovechada por la masa para ser cocida. En el cuadro 2 se presenta la aproximación de potencia requerida para un extrusor.

Cuadro 2. Aproximación de potencia requerida para extrusor

L screw	Rpm	flow rate (lbs/h)	D/h	power (HP)
20 – 30	300	45	5	1,7
30 – 40	280	86	7	4,8
40 – 50	250	120	9	7,5
50 – 60	200	175	12	12

Fuente: PISIPATI Y FRICKE (2004)

2.10. Dado y su interacción con la conducta del extrusor

Esta sección es quizá la más importante del extrusor. Su función es recibir el material comprimido, homogenizar y hacer pasar a través de la boquilla a presión constante. La homogenización está acompañada por mezclado intensivo de los flujos longitudinal y transversal del canal.

El tratamiento matemático de esta zona denota que el material actúa como un verdadero fluido, exhibe deformaciones al esfuerzo y no se desliza en las superficies del tornillo y el barril. Esta sección del extrusor se comporta como una bomba centrífuga, con la capacidad de bombeo relacionada inversamente a la presión de bombeo (HARPER, 1999).

En la figura 4 se muestra las diversas formas de productos, resultado del diseño de los dados tales como: estrellas, círculos, anillos, bases para sopas, alimentos para peces y mascotas.

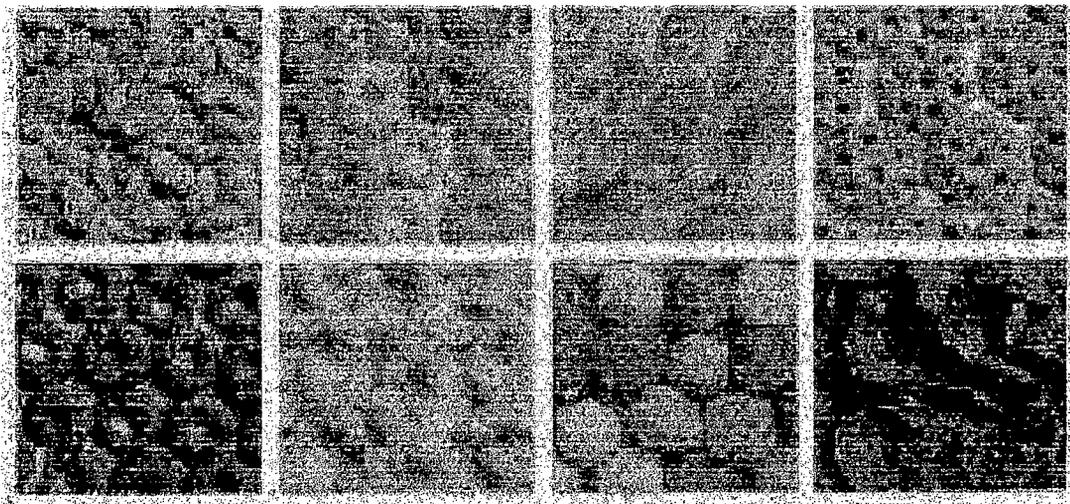


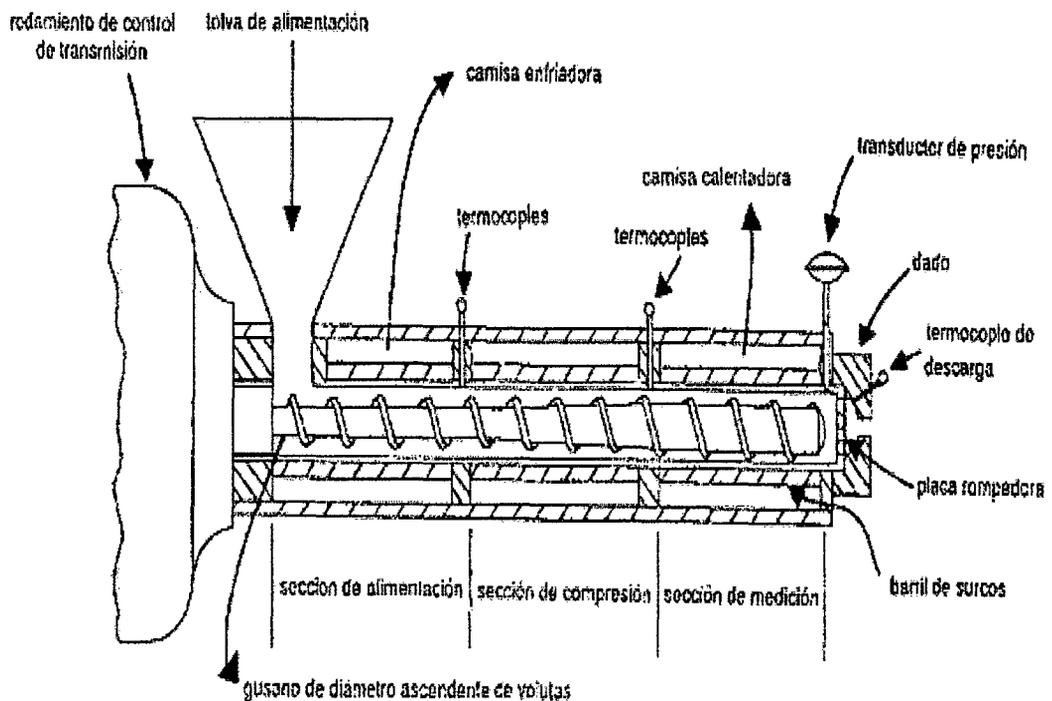
Figura 4. Formas y tamaños de productos extruidos

Fuente: WENGER (2001)

2.11. Extrusores de tornillo simple

Los modelos pueden ser distintos, así los extrusores de flujo simple como los de doble tornillo, igualmente para el flujo de presión, el flujo es atendido por el ingreso del extrusor (HARPER, 1999).

El extrusor de tornillo simple consta de dos mecanismos de salida; una presión baja al inicio del tramo del cilindro. El incremento de la presión de flujo al final del tramo es el resultado de la existencia de un mecanismo de tolerancia de espacio entre el tornillo y el cilindro que ocasiona el incremento de calor y presión (HARPER, 1999).



CORTE TRANSVERSAL DE UN EXTRUSOR DE ALIMENTOS BÁSICOS DE UN SÓLO GUSANO

Figura 5. Corte de un extrusor típico de un solo tornillo

Fuente: WENGER (2001)

2.12. Efectos de extrusión

Según AGUIRRE (2000), los efectos de la extrusión son:

- Cocción (gelatinización almidón, desnaturalización proteína)
- Mezclado (obtención de masa uniforme)
- Amasado (desarrollo de masa visco elástica)
- Presurizado (ayuda al moldeado y expansión)
- Moldeado (dar forma)
- Reacción (Maillard, formación de complejos e inactivación de enzimas)
- Pasteurización (destrucción de micro organismos patógenos)

En la figura 6 se muestra la gelatinización y dextrinización de un almidón

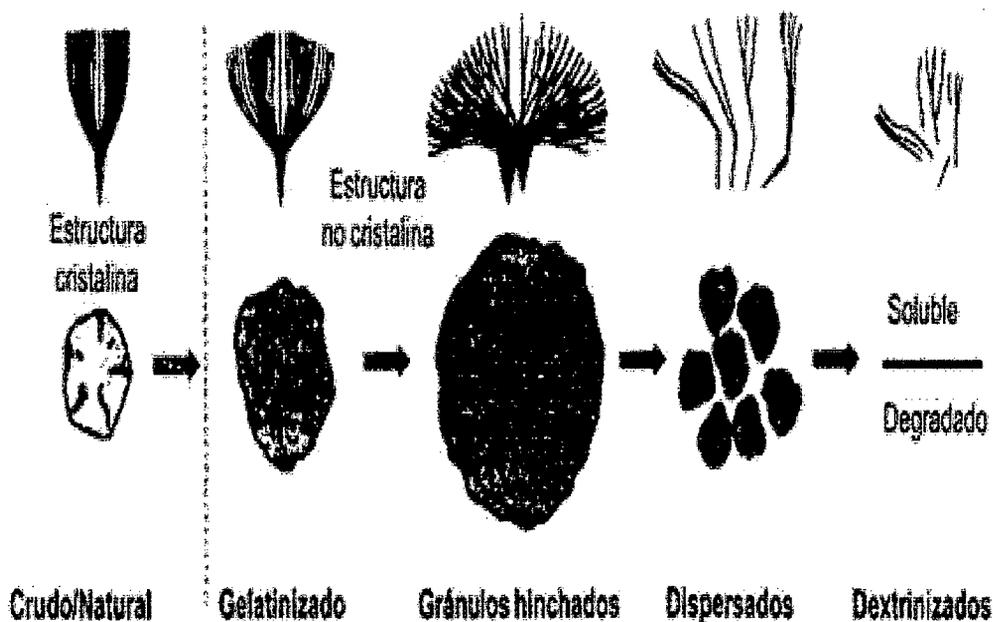


Figura 6. Descripción de la cocción del almidón

Fuente: WENGER (2001)

2.13. Aplicación en la industria alimentaria

Los extrusores realizan lo siguiente:

- Mezclar y homogenizar materias primas
- Desnaturalización de proteínas
- Gelatinización de carbohidratos (principalmente almidones)
- Producción de sabores y colores
- Eliminación de factores anti nutricionales
- Crear textura a través de presión, flujo e intercambio de calor.
- Crear formas
- Cocer y secar el producto.

Así, por ejemplo, un extrusor de pastas realiza las funciones de crear formas y textura, mientras que un extrusor más versátil puede realizar el mayor número de funciones mencionadas (HARPER, 1999).

Los productos que se pueden producir por extrusión son:

- Proteína vegetal texturizada
- Harina de cereales gelatinizadas
- Almidones para la industria
- Alimentos para perros, gatos y peces
- Botanas a base de papas
- Polvo para bebida con alta proteína
- Alimentos para infantes
- Botanas tipo fritas



Figura 7. Interacción de las propiedades del material, variables de proceso y características del producto.

Fuente: MILLER (2009).

2.14. Ventajas y desventajas de la extrusión

2.14.1. Ventajas del proceso de extrusión

- Versatilidad

Una amplia gama de alimentos y formas puede ser obtenida por medio de la extrusión y no es fácil de 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 variedad de materias primas que pueden procesar y las diferentes características que pueden obtenerse en los productos terminados. Los extrusores pueden modificar su diseño y operan a diferentes velocidades, temperaturas y presiones, y permite variar la humedad, mezclado y cocción, y obtener distintos productos (HARPER, 1999).

- Velocidades de producción

La naturaleza de los extrusores actualmente usados en el ámbito mundial implica que sea un proceso continuo, que a su vez fomenta altas producciones en comparación con otros procesos. La capacidad de los equipos de extrusión varía desde equipos a escala laboratorio (1 a 5 kg/h) hasta extrusores que pueden producir de 5 a 10 ton/h de materiales poco densos (0.5 a 0.7 g/cm) y, por ser continuos, se tiene un mejor control del proceso y se obtiene productos más uniformes (HARPER, 1999).

- Calidad del producto obtenido

El tiempo promedio que pasa una partícula de alimento en un extrusor puede ser de unos cuantos segundos, que disminuye las probabilidades de destrucción de vitaminas y reacciones poco deseable entre

proteínas y carbohidratos reductores. Por el calentamiento a altas temperaturas y corto tiempo (HTST), los extrusores pueden producir alimentos estériles y la completa gelatinización de los almidones (HARPER, 1999).

- Superficie del edificio industrial

En comparación a otro sistema de procesamiento, el equipo de extrusión requiere de menores superficies para la instalación y no requiere de muchos accesorios ni máquinas adicionales en el edificio industrial (HARPER, 1999).

- Consumo de energía

Bajo ciertas circunstancias (ejemplo operación a humedades relativamente bajas), el proceso de extrusión puede consumir baja cantidad y un solo tipo de energía, por lo que tanto los gastos de inversión como de operación pueden ser reducidos (HARPER, 1999).

- Ventajas en alimentos de especies acuáticas

Control Total de la densidad del pellet. Características únicas en el extrusor permiten el control preciso de la densidad del producto terminado, con el fin de producir alimentos flotantes o hundibles. Es también posible controlar con qué rapidez se hundirá el alimento (AGUIRRE, 2000).

- Mayor estabilidad del producto en el agua, la durabilidad del alimento para peces que viven en el fondo, ha mostrado una estabilidad de 12 horas sin aglutinantes, 24 horas con la inclusión de aglutinantes (AGUIRRE, 2000).
- Una eficiencia superior de producción y versatilidad Alimentos acuáticos de máxima calidad, tan pequeños como 0.8 mm en diámetro y tan grandes como 50 mm. Al optimizar la combinación de fuentes de energía -

electricidad, vapor y agua permiten la utilización de un rango más amplio de materias primas (AGUIRRE, 2000).

- Mayores niveles de energía. La extrusión permite el uso de hasta 22% de grasa o aceite para ser incorporado durante la extrusión, al terminar el extruido puede dar como resultado alimentos con 35% total de grasa, las cuales se benefician de alimentos con niveles altos de energía (AGUIRRE, 2000).

2.14.2. Desventajas

Según HARPER (1999) y AGUIRRE (2000), algunos inconvenientes complican la operatividad de esta tecnología.

- Requiere personal calificado
- Proceso difícil de estudiar e investigar
- Muchas variables
- Varios efectos ocurren simultáneamente
- Alto grado de desgaste de material
- Los extrusores solo procesan harinas o materiales granulares. Puede añadirse al sistema de molienda como parte complementaria, aunque con pérdidas de eficiencia
- En mezclas que contienen proteínas de leche se observa una mayor destrucción de lisina que en otros productos, por lo que requiere ser cocidos los rangos más bajos de temperatura de extrusión, es decir de 100 a 135°C.
- Algunas las vitaminas micro encapsuladas pueden pre mezclarse en los cereales antes de la cocción y mostrar poca pérdida de estabilidad

vitamínica, probablemente a la brevedad de los periodos a alta temperatura (12 a 20 segundos) en un sistema HTST; pero ciertas vitaminas, pero algunas vitaminas como la vitamina C, presentan pérdidas excesivas durante el proceso. Podrían aplicarse externamente de la extrusión y secado del producto.

2.15. Materias primas sujetos al proceso de extrusión

2.15.1. Cereales

Según REPO (2001), existe una amplia variedad de productos secos de cereales molidos que han sido utilizados en la producción de alimentos extrudidos entre cuales se tiene:

- El Maíz:

Este cereal es el más utilizado en la extrusión, debido a su bajo costo y a su facultad de expandirse a bajas y altas condiciones de humedad en el proceso de extrusión. El sabor a maíz permanece en el producto extrudido.

- La Avena:

Cereal con alto contenido proteínas 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.

- El Arroz:

El color blanco y su habilidad para expandirse, lo ideal para productos a base de cereal y botanas. Sin embargo, su bajo contenido de proteínas y grasa, así como alto costo son su principal desventaja.

- **La Cebada:**

Este cereal, que tiene un particular, pero relativamente suave sabor, ha sido poco frecuente su utilización en la extrusión.

- **El Sorgo:**

Este cereal tiene características muy similares a la del maíz, Los productos extrudidos de este cereal, tienden a tener un color tostado (oscuro) y un sabor característico.

- **El Trigo:**

Este cereal presenta un alto contenido de proteína y gluten, por lo que requiere de altas temperatura y humedad para su expansión. Sin embargo, ciertas variedades de trigo con niveles más bajos en gluten pueden dar un producto extrudido más blando.

- **El Centeno:**

Este cereal se comporta de manera similar al trigo, pero con un cierto sabor característico y un color negro.

- **EL Triticale:**

Este cereal es un híbrido del trigo y del arroz. El alto contenido de proteínas en el grano, hace necesarias altas temperaturas y humedades para la expansión de este cereal.

2.15.2. Tubérculos

Existen dos tubérculos que son importantes para la obtención de productos extrudidos, La amilasa en el almidón de estos productos parece ser más amorfa que la de los cereales y por lo tanto las harinas de estas raíces y

de aquellos cereales tipo waxy (alto contenido de amilopectina), tienden a producir pastas más fibrosas y viscosas. Por otra parte, cuando dichos almidones son gelatinizados, los productos rehidratados, serán bastante tersos (REPO, 2001).

2.15.3. Almidones

Son varios los tipos de almidón comúnmente utilizados en alimentos extrudidos, distinguiremos dos tipos de almidones que han sido normalmente incorporados a las aplicaciones de extrusión: los almidones no modificados y los modificados. Los almidones no modificados tienden a expandirse fácilmente y a proporcionar al producto extrudido una textura crujiente. Los almidones modificados se expanden menos debido a lo corto y 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 (TARAZONA, 2004; REPO, 2001).

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 o produciendo productos muy claros y muy frágiles. Por oposición, los almidones ricos en amilosa o de origen tubérculo, tienden a producir productos más duros y con poca expansión. En el caso de botanas infladas, un 20% de amilosa en el almidón debe ser considerado como mínimo, mientras que contenidos en amilosa más grandes que un 50% dan un producto extremadamente denso (TARAZONA, 2004; REPO, 2001).

2.15.4. Materias primas con alto contenido de proteínas

Un cierto número de materiales proteínicos son empleados en los extrusores-cocedores para producir productos con características variables y en algunos casos crear productos fortificados con proteínas. Muchos de los materiales proteínicos empleados son parte de cereales, ejemplo el gluten de trigo, o las proteínas de las oleaginosas.

Durante la extrusión, el gluten es hidratado y mezclado para formar un material elástico, el cual se expande fácilmente para formar muchas laminillas delgadas. El almidón gelatinizado y envuelto en la materia extrudida, rápidamente se solidifica después de haber pasado a través del dado o boquilla del extrusor, para guardar así la estructura abierta del producto final.

Las proteínas de la soya han tenido un uso más extendido en la extrusión que cualquier otra proteína de legumbres u oleaginosas. Esto es debido principalmente a su bajo costo, accesibilidad y rango muy variado de propiedades funcionales. Por su alto contenido en proteína, la soya es a menudo utilizada para incrementar el contenido en proteína de cereales extruidos y para mejorar la calidad de la proteína restante de la mezcla; La proteína de la 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.

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

La razón por la cual estos materiales son adicionados a los productos extrudidos es que ellos aportan ciertos componentes de sabor, atrapan agua, mejoran la estructura del producto e incrementan la incorporación de aire dentro de los productos terminados (TARAZONA, 2004; REPO, 2001).

2.15.5. Otras materias primas

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

Este tipo de materias primas son adicionadas en pequeñas cantidades que las materias primas principales, visto en los apartes anteriores: el papel que desempeñan básicamente es modificar aspectos organolépticos y sensoriales en los productos, además que pueden interferir en sus características de textura, estos ingredientes son: Las grasas, los modificadores del pH, los azúcares, los hidrocoloides, el agua (es esencial cuando se busca obtener una uniformidad en el producto terminado. El agua podrá ser adicionada caliente o en forma de vapor, esto cuando el objetivo es calentar parcialmente los ingredientes (TARAZONA, 2004; REPO, 2001).

2.16. Alimentos extrudidos

Mediante el proceso de extrusión se han elaborado una diversidad de alimentos, entre ellos: pastas para macaroni y spaghetti, productos de pellets, bocadillos (productos *snack*), proteínas texturizados, alimentos para

animales, expandidos de cereales, alimentos instantáneos, gelatinización y desnaturalización de proteínas.

Las variedades modernas de productos extruidos son impresionantes de alimentos, modificación de almidones, alimentos de consumo rápido, sustitutos de carnes, bases de bebidas, alimentos para mascotas, base para sopas y salsa.

La variación de productos con categoría de expansión que muchos dependen de cambios simples tal como de *flavor* y forma, y otras suposiciones de cambios fundamentales tal como combinaciones de nuevos ingredientes. La lista de ingredientes usados en alimentos extruidos consiste de casi de todos los alimentos imaginables. El principal ingrediente es todo grano de cereal, semillas oleaginosas y legumbres (HARPER, 1999).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El presente trabajo tubo el asesoramiento técnico y logístico de TRÉBOL INGENIEROS E.I.R.L. ubicado en la Av. Huallaga No. 59 Huariaca Pasco. Empresa dedicada a la consultoría y ejecución de proyectos agroindustriales.

La construcción del extrusor se realizó en las instalaciones de la Industria metal mecánica "EMANUEL" situado en el Jr. Bolívar No. 159 Huariaca Pasco. Empresa especializada en estructura metálica

Las pruebas se realizaron en las instalaciones de la Planta procesadora de papa Junipalca – Yarusyacan región Pasco, donde se aprovechó la instalación eléctrica trifásica.

3.2. Materiales

2.14.1. Materiales para el alimentador

- Plancha de acero inoxidable: 2 mm de espesor y 120 x 240 mm.
- Tubo de acero inoxidable: 3 mm espesor x 38 mm de diámetro interno x 60 mm de longitud.
- Electrodo acero inoxidable de 5/32 pulgadas marca Exsa
- Cincromato y Thiner acrílico

2.14.2. Materiales para el cilindro o cañón del extrusor

- Tubo de acero cromado: diámetro interior 57 mm, diámetro exterior 71 mm, espesor 7 mm x 400 mm marca Sider Perú.
- Tuercas con pernos de 6,35 mm (¼") x 25,4 mm (1")
- Brida de de acero comercial: espesor 12,5 mm, diámetro exterior 140 mm, diámetro interior 71 mm, marca Sider Perú.
- Brida de de acero comercial, dimensiones: espesor 9,0 mm diámetro exterior 200 mm, diámetro interior 71 mm, marca Sider Perú
- Electrodo supersito de 1/8 pulgadas marca Exsa.

2.14.3. Materiales para caja Norton del extrusor

- Bocina de acero comercial, dimensiones; diámetro interior 110 mm, diámetro exterior 136 mm, espesor 26 mm x 300 mm de largo, marca Sider Perú.
- Brida de de acero comercial, dimensiones: espesor 9,5 mm diámetro exterior 200 mm, diámetro interior 110 mm, marca Sider Perú.
- Brida de de acero comercial, dimensiones: espesor 7,0 mm diámetro exterior 204 mm, diámetro interior 100 mm marca Sider Perú.
- Electrodo supersito de 1/8 pulgadas marca exsa.

2.14.4. Materiales para el tornillo o rotor del extrusor

- Eje sólido de acero de bajo carbono (*Shaffing*), dimensiones espesor 55 mm x 795 mm de largo, marca Sider Perú.
- Electrodo acero inoxidable de 1/8 pulgadas marca exsa.

2.14.5. Materiales para el soporte del extrusor

- Plancha de acero comercial: espesor 2 mm x 20 x 30 mm, marca Sider Perú.
- Tubo rectangular de acero comercial, dimensiones: espesor 3,0 mm; 5,1mm x 7,6 mm de lado, marca Sider Perú.
- Electrodo supersito de 1/8 pulgadas marca exsa.

2.14.6. Materiales para la transmisión de fuerza

- Rodaje 6309.C3-SHG, diámetro exterior 100 mm y diámetro interior 45 mm (bolas de una pista, con protector metálico), marca FAG alemana.
- Rodaje 223/2310 diámetro exterior 110 mm y diámetro interior 52 mm (cilíndrico de dos pistas), marca FAG de fabricación Germana.
- Motor de 4,0 HP; marca Siemens. 1750 rpm, de fabricación alemana.
- Faja de en V de 13 mm (2 unidades).
- Polea para el motor de aluminio de doble canal en V de 13 mm, diámetro exterior 90 mm

2.14.7. Para trabajos diversos.

- Esmalte al Horno, marca Tekno, cantidad 1 galón, color blanco
- Electrodo, cellocord, y supersito dimensiones e 3,25 mm y 4,0 mm x 350 mm, marca Oerlikon.
- Lija, No. 40 y 60, marca Oerlikon-Exsa Perú.
- Masilla o cemento Bonflex poliéster cantidad ¼ de galón, marca Anypsa.
- Thinner acrílico de secado rápido, cantidad un galón.

- Soldadura inox 5/32" (1 Kg) Oerlikon-Exsa Perú.
- Varilla de Bronce para soldadura con acetileno de 1/8" (3kg).
- Bórax fundente para soldadura con acetileno (1 Kg).
- Anticorrosivo (1 galón) marca Anypsa.
- Pernos 44 mm x 10 y 12 mm.
- Tuercas de 44 mm x 10 y 12 mm.

3.3. Máquinas, equipos y herramientas

3.3.1. Máquinas

- **Torno:** Marca SUTH BEND, Modelo - serie 50-65483.20 -380, componentes; 2 porta cuchillas, 1 plato de arrastre, 1 juego de piñones, lugar de fabricación Estados Unidos, Datos de motor; potencia 2 HP, velocidad 1800 rpm 6-3 amperios.
- **Compresor de aire:** Marca Robert, fabricación Perú; de 0,8 m³ de cilindro, 3 m³ de capacidad; motor de ¾ de Hp de 1750 r.p.m. de 220 voltios; manguera de ¾ de pulgada x 20 metros.
- **Taladro manual:** de ½ Hp de potencia marca Black and Decker de fabricación Inglesa para broca de 5/8 de pulgada.
- **Taladro de banco.** De fabricación casero, motor de 3 H.P. de 4 velocidades (450; 750; 1200 y 1500 r.p.m.), chuck de 2 pulgadas de diámetro, capacidad de broca hasta ¾ de pulgada dos faja modelo V de 60 cm. Timón de tres palancas, encendido automático.
- **Amoladora**
- **Esmeril de mesa**

3.3.2. Equipos

- **Soldadora de punto.** De construcción casera, con pedales y electrodos de cobre, monofásico, con temporizador de 0,3 a 30 segundos, de 40 a 600 amperios, corriente de 220 – 240 voltios.
- **Equipo de soldadura (soldadora de arco):** Marca HOBART, Modelo TC 290 - serie eléctrico - 791691002, componentes; cable tierra, máscara con lente No. 12 Porta electrodo, ventilador ciclo de trabajo 20 %, 225 voltios amperios 65/56 frecuencia 60 c.p.s, Ind. Peruana, Datos del motor de ventilación; potencia 0,25 Hp, 1800 r.p.m.
- **Equipo de pintura;** modelo soplete, procedencia Japón.
- **Equipo de corte oxi-acetileno** marca Edypesa.
- **Gasómetro** de carburo de calcio marca Dinamic de 30 litros.
- **Botellón** metálico para oxígeno de 9 m³ industria Argentina.

3.3.3. Herramientas

- **Vernier (pie de rey),** marca corneta, modelo 18646-b solingen germana, de 150 mm.
- **Micrómetros;** Marca ROCT y VIS, Modelo MK 0 - 25 mm, 1- 2 pulg, procedencia URSS y Polonia.
- **Arco de sierra,** modelo rustico.
- **Tijera metálica,** modelo tradicional y plastificado, procedencia Taiwán.
- **Destornilladores,** marca Facon y Robicon 106, modelo plano y estrella, procedencia Francia y Japón.

- **Escuadra-nivel móvil**, marca Handiman Stanley modelo h1211 $\frac{1}{2}$, procedencia USA.
- **Llave *stilson* o inglesa**, marca Drop Forged Steel, modelo Everet, procedencia India.
- **Llave Gressent o francesa**, marca Drop Forged, modelo N128 - 12"; 8", procedencia Colombia.
- **Alicate**, sin marca modelo 800 vatios, procedencia China.
- **Prensa mecánica**, modelo rustico.
- **Llave corona, boca y mixto**, marca Drop Forged Steel modelo $\frac{1}{4}$ - 11/16 procedencia Checoslovaquia.
- **Cinzel, Martillo y Combas**, modelo rustico, procedencia Mecánica Pehovas.
- **Horno de secado (pintura)**, modelo uncp-jrc, procedencia Mecánica Pehovas.

3.4. Metodología experimental

3.4.1. Construcción del extrusor

3.4.1.1. Construcción del tornillo del extrusor (plano A-1)

Los diámetros fueron establecidos basados en lo indicado por HARPER (1999).

- Un eje sólido de 795 mm largo y 50 mm de diámetro, acero Shafting (acero industrial que contiene hierro, oxido de cal y carbón mineral) fue se divide en 5 secciones.

- En la sección 1 de 170 mm se colocaron los accesorios de transmisión de fuerza (polea).
- La sección 2, de 230 mm, corresponde a la caja Norton, a su vez aloja al Rodaje 6309.C3-SHG, diámetro exterior 100 mm y diámetro interior 45 mm y Rodaje 223/2310 diámetro exterior 110 mm y diámetro interior 52 mm.
- La sección 3 - A espacio de 10 mm y 5 mm de profundidad
- La sección 3 - B de 85 mm el roscado se realizó mediante el torno y tiene 15 mm cada paso, 11 mm de alabe y 7 mm de profundidad
- La sección 4 - A espacio de 20 mm y 10 mm de profundidad
- La sección 4 - B de 110 mm el roscado se realizó mediante el torno y tiene 15 mm cada paso, 11 mm de alabe y 4 mm de profundidad
- La sección 5 - A espacio de 20 mm y 10 mm de profundidad
- La sección 5 - B de 150 mm el roscado se realizó mediante el torno y tiene 15 mm cada paso, 11 mm de alabe y 3 mm de profundidad.

3.4.1.2. Construcción del cañón o cilindro del extrusor (plano

A-2): se tomó como referencia extrusores de la Universidad Nacional Agraria la Molina, Vulcano m-500 y Jarcon del Perú.

- Se cortó 400 mm de tubo de 57 mm de diámetro interior y 71 mm de diámetro exterior.
- Mediante el torno se refrontó los bordes
- Mediante soldadura supercito se colocó las bridas a cada extremo del cilindro; uno de espesor 12,5 mm diámetro exterior 140 mm, diámetro

interior 71 mm y otro de espesor 9,0 mm diámetro exterior 200 mm, diámetro interior 71 mm.

- Mediante el torno se corrigieron las imperfecciones.

3.4.1.3. Construcción de la caja Norton del extrusor (plano A-3)

- Se cortó 300 mm de bocina de 100 mm diámetro interior y 136 mm diámetro exterior, capaz de alojar los rodamientos
- Mediante el torno se refrontó los bordes
- Mediante soldadura supersito se colocó las bridas a cada extremo del cilindro; uno de espesor 9,0 mm diámetro exterior 200 mm, diámetro interior 110 mm. Y otro de espesor 7,0 mm diámetro exterior 205 mm, diámetro interior 100 mm.
- Mediante el torno se corrigió las imperfecciones.
- En cada extremo se realizó el destaje para alojar los 2 rodamientos.

3.4.1.4. Construcción del dado o troquel (plano A-4)

- Mediante el equipo autógeno se procedió a realizar el corte en forma circular de 140 mm de diámetro externo.
- Mediante el torno se corrigió las imperfecciones.
- Se relazó trazos para 6 círculos al contorno de la circunferencia a 6 mm del borde al centro geométrico.
- Mediante el taladro se realizó los orificios de 12 mm.
- Se realizó dos orificios de 4 mm de diámetro a 15 mm del centro en forma lineal.

3.4.1.5. Construcción del soporte de la caja Norton (plano B-1)

- El soporte se construyó de una plancha de 16 mm de espesor.
- Se realizó los trazos y corte de acuerdo al diseño del plano
- El ensamblado se realizó mediante soldadura supersito
- La base está unida a la caja Norton mediante soldadura.

3.4.1.6. Construcción del soporte del extrusor (plano B-2)

- El soporte se construyó con un tubo de 5,1 mm x 7,6 mm y espesor 2 mm (1/4"), de forma rectangular.
- Se realizó los cortes transversales en secciones en partes de acuerdo a las indicaciones del plano, luego se fue unido mediante soldadura eléctrica dando la forma rectangular.
- De la plancha de 2 mm de espesor se procedió a hacer el trazado de 300 mm x 200 mm para cubrir la parte superior del extrusor.

3.4.1.7. Construcción de transmisión de fuerza (plano B-3)

- La polea inductora de 90 mm de 2 canales en V de 12 mm el diámetro interno se adapta a 28 mm.
- La polea reductora de 490 mm de diámetro exterior de tres canales en V de 12 mm y diámetro interior de 44 mm.

3.4.1.8. Construcción de la tolva alimentador (plano B-4).

La capacidad de la tolva fue de 4 litros ó 4000 cm³ necesario para el proceso experimental.

- Se realizaron los trazos en una plancha de 1 mm de espesor.
- Se procedió a cortar por los trazos realizados.
- Mediante la plegadora se realizaron los dobleces que se requieren según los trazos efectuados anteriormente.
- Las uniones se realizaron mediante remachado, montado entre las pestañas dejado en los trazos.
- Mediante el esmeril se corrigió las esquinas y con la ayuda de una lija N° 60 se retiraron las escorias.
- Se realizó una limpieza al término de la fabricación con detergente y guaípe para retirar la grasa aplicada para proteger la plancha.

3.4.2. Proceso de extrusión de una mezcla de maíz y soya al 50%.

3.4.2.1. Consideraciones para el proceso de extrusión

Las consideraciones para el proceso de extrusión de la mezcla de maíz y soya al 50% fueron: la comprobación pre-arranque y arranque del extrusor, la formulación y mezcla de materias primas, la operación de la línea de extrusión y la limpieza del extrusor y tornillo. El flujo de proceso para la extrusión del alimento se muestra en la figura 6.

3.4.2.2. Formulación y mezcla

- La materia prima se recibió y se almacenó en condiciones de baja humedad y en un lugar libre de contaminación.
- En la elaboración de la mezcla, los ingredientes fueron pesados en proporciones iguales (50% de maíz y 50% de soya) acorde con la

formulación y luego fueron mezclados mediante el extrusor sin el troquel durante 5 minutos para conseguir una combinación homogénea y un pre molido.

- Se reguló la humedad añadiendo agua a la mezcla considerando según Carrasco (1999) 7,5% de humedad del maíz y soya, hasta llegar a 12,5% de humedad (50 g de agua para 1000 g de la mezcla).

3.4.2.3. Pre arranque y arranque del extrusor

Existen varios puntos de comprobación que el operario tiene que verificar para el arranque correcto y seguro del equipo.

- El ensamblaje del tornillo se realizó comprobando visualmente; se acopló el transmisor de fuerza y los rodamientos del interior de la caja Norton con precisión
- Se ajustó y acopló el barril y el troquel, comprobando el ajuste de pernos.
- Se verificó el suministro de electricidad, el dispositivo de alimentación y la instrumentación.

3.4.2.4. Operación de extrusión

Una vez realizada la comprobación se procedió a la extrusión.

- Se suministró la mezcla cruda a la tolva de alimentación.
- Se calentó el cilindro por la parte exterior con un soplete suministrado con gas doméstico (GLP).
- La mezcla que se introducen al cilindro a medida que avanza es cocida y expandida. El producto sale por el dado o troquel.

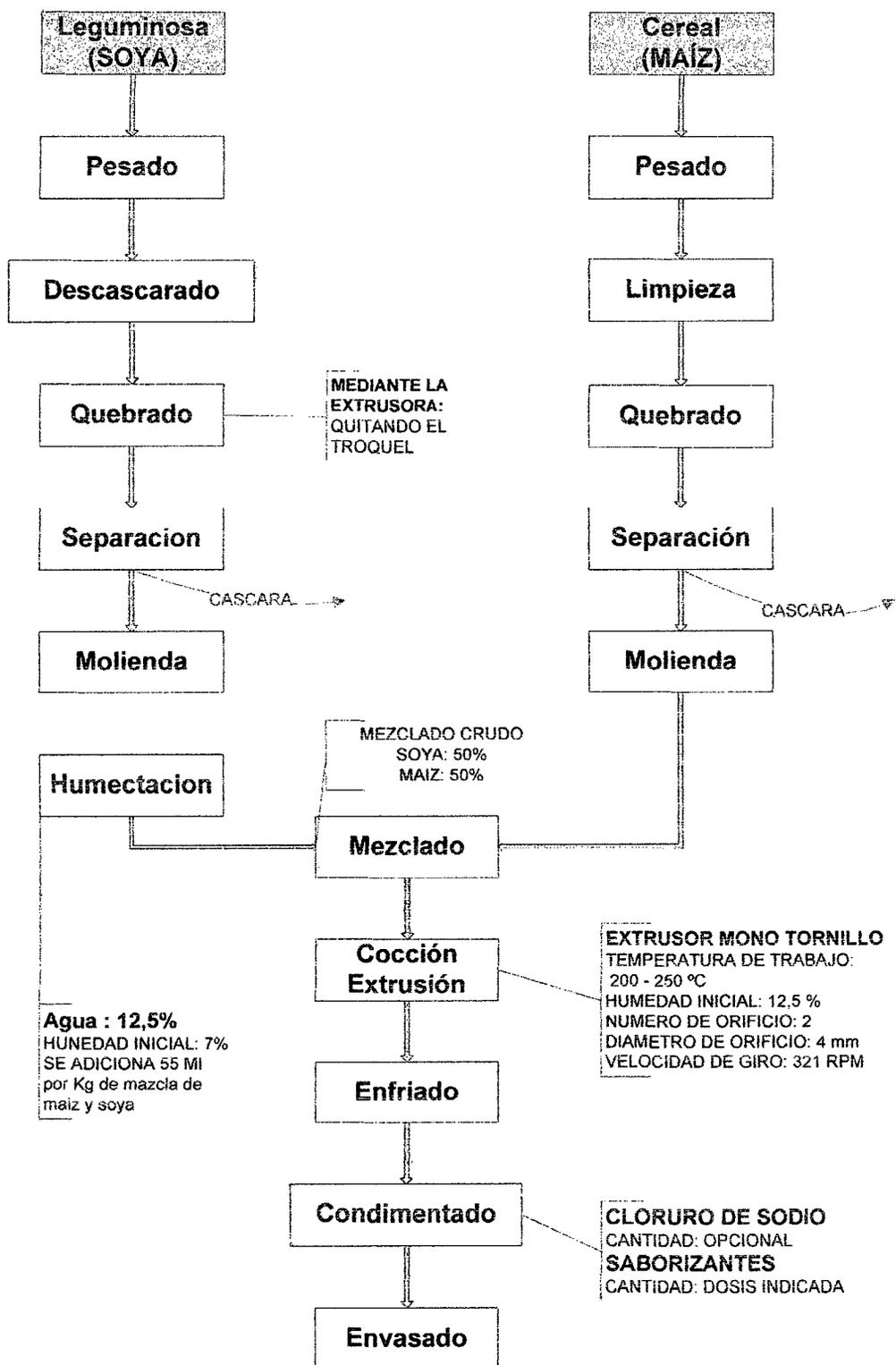


Figura 8. Flujograma de etapas de la extrusion

3.4.2.5. Limpieza del extrusor

Una vez terminada la operación de extrusión el extrusor se desarmó inmediatamente, las piezas del cilindro y del tornillo se desmontaron y se realizó la limpieza del equipo.

3.4.3. Determinación del índice de expansión

El índice de expansión se determinó utilizando la siguiente relación:

$$\text{I.E.} = \frac{\text{Diámetro del extruido}}{\text{Diámetro del orificio del troquel}}$$

3.4.4. Determinación de los parámetros del extrusor

3.4.4.1. Determinación de la velocidad final de rotación:

De acuerdo al requerimiento planteado por el tipo de extrusor cocedor de alto corte con velocidad de 300 a 500 r.p.m.

$$d_0 \times n_0 = d \times n \quad (3)$$

Dónde :

- n_0 = 1700 rpm (velocidad normal del motor)
- d_0 = diámetro de la polea del motor (conductor)
- n = velocidad reducida o aumentada
- d = diámetro de la polea del transportador
(reductor)

3.4.4.2. Determinación del volumen de residencia

Para determinar el volumen de residencia en cada vuelta de álabe a álabe o la distancia recorrida por una espiral completa llamado también paso, como también el volumen por cada sección, se emplearon las siguientes fórmulas:

- **En la zona de alimentación**

El volumen por cada vuelta es:

$$V = A \times Z \quad (4)$$

$$A = \pi \times (R^2 - r^2) \quad (5)$$

Reemplazando (5) en (4) tenemos:

$$V = 3,1416 \times (R^2 - r^2) \times Z \quad (6)$$

Volumen total en la sección de alimentación

$$V_{ta} = V \times N_v \quad (7)$$

- **En la zona de compresión - molienda**

El volumen por cada vuelta es:

$$V = A \times Z \quad (4)$$

$$A = \pi \times (R^2 - r^2) \quad (5)$$

$$V = 3,1416 \times (R^2 - r^2) \times Z \quad (6)$$

Volumen total en la sección de compresión - molienda

$$V_{tb} = V \times N_v \quad (7)$$

- **En la zona de compresión - cocción**

El volumen por cada vuelta es:

$$V = A \times Z \quad (4)$$

$$A = \pi \times (R^2 - r^2) \quad (5)$$

Reemplazando (5) en (4) tenemos:

$$V = 3,1416 \times (R^2 - r^2) \times Z \quad (6)$$

Volumen total en la sección de compresión - cocción

$$V_{tc} = V \times N_v \quad (7)$$

Dónde:

A = área transversal del vació del transportador

V = volumen de residencia por cada vuelta

R = diámetro mayor del alabe

r = diámetro menor del alabe

z = distancia entre cada alabe o distancia de recorrido en cada vuelta

Nv = numero de vueltas

3.4.4.3. Determinación del flujo de alimentación:

El flujo de alimentación se determinó por la velocidad de rotación del tornillo del extrusor y el volumen de residencia en una vuelta de la sección de alimentación.

$$Q = (A \times Z) / t \quad (8)$$

$$Q = V / t \quad (9)$$

$$Q = V \times N \quad (10)$$

Dónde:

Q = Flujo de alimentación

N	=	Numero de revoluciones por minuto
V	=	Volumen de residencia cm ³
t	=	tiempo

3.5. Diseño experimental

Se empleó un diseño con arreglo factorial de 4 X 3 y 5 repeticiones, 4 configuraciones para el número de orificio y 3 diferentes diámetros de orificio, cada tanda de extrusión será una unidad experimental.

Modelo matemático

$$Y_{ijk} = u + v_i + D_j + (VD)_{ij} + B_k + E_{ijk}$$

i	=	1, 2, 3,4	numero de orificios
j	=	I, II, III, IV, V	repeticiones
k	=	3, 4, 5	diámetro del troquel

IV. RESULTADOS

4.1. De los parámetros del extrusor

4.1.1. Velocidad final del tornillo:

Reemplazando en 3 se tiene:

$$n = \frac{1750 \text{ rpm} \times 90 \text{ mm}}{490 \text{ mm}}$$

$$n = 321,43 \text{ rpm}$$

321,43 rpm. Es la velocidad de trabajo del extrusor

4.1.2. Volumen de residencia

- En la zona de alimentación

- Volumen por cada vuelta es:

Remplazando valores en (06), tenemos:

$$V_a = 3,1416 \times (25^2 - 22,5^2) \times 15$$

$$V_a = 5595,97 \text{ mm}^3 = 5,596 \text{ cm}^3$$

- Volumen total en la sección de alimentación

Reemplazando en (07) tenemos:

$$V_{ta} = 5595,97 \text{ mm}^3 \times 3$$

$$V_{ta} = 16787,91 \text{ mm}^3 = 16,79 \text{ cm}^3$$

- **En la zona de compresión - molienda**

- Volumen por cada vuelta es:

Reemplazando valores en (6), tenemos:

$$V_b = 3,1416 \times (25^2 - 23^2) \times 15$$

$$V_b = 4\,524 \text{ mm}^3 = 4,5 \text{ cm}^3$$

- Volumen total en la sección de compresión - molienda

Reemplazando en (7) tenemos:

$$V_{tb} = 4\,524 \text{ cm}^3 \times 4$$

$$V_{tb} = 18\,096 \text{ mm}^3 = 18,09 \text{ cm}^3$$

- **En la zona de compresión - cocción**

- El volumen por cada vuelta es:

Reemplazando en (6) tenemos:

$$V = 3,1416 \times (25^2 - 23,5^2) \times 15$$

$$V = 3\,428 \text{ mm}^3 = 3,4 \text{ cm}^3$$

- Volumen total en la sección de compresión - cocción

Reemplazando en (7) tenemos:

$$V_{tc} = 3\,428 \text{ mm}^3 \times 6$$

$$V_{tc} = 20\,569 \text{ mm}^3 = 20,6 \text{ cm}^3$$

4.1.3. Flujo de alimentación:

Reemplazando en (10)

$$Q = 5,66 \text{ cm}^3 \times n$$

$$Q = 5,66 \text{ cm}^3 \times 321,43 \text{ rpm}$$

$$Q = 1819,29 \text{ cm}^3 / \text{min.}$$

4.2. Del extrusor

4.2.1. El tornillo

El tornillo está compartido en dos zonas principales: una zona de roscado y otra zona donde se aloja los dos rodamientos una a cada extremo de la caja Norton y una porción de sujeción a la polea reductora; la zona de roscado tiene tres secciones:

La primera sección es de alimentación, la porción más corta del rotor tiene tres vueltas su importancia radica en la recepción de la mezcla para posteriormente entregar a la segunda sección, en esta sección la mezcla de cereales o granos no sufre modificación alguna, sin embargo si la mezcla requiere incrementar humedad se ha ubicado una entrada para suministrar agua ya sea en forma de vapor o chorro.

La segunda sección es de molienda, en esta sección ya existe compresión, el volumen de residencia se reduce de $5,5 \text{ cm}^3$ por vuelta a $4,5 \text{ cm}^3$ este aplastamiento permite el triturado de la mezcla, además por efecto de la compresión y la fricción hay incremento de la temperatura.

La tercera sección del rotor es la más importante del extrusor. Su función es recibir el material comprimido y precalentado para homogenizar cocer y hacer pasar a través de la boquilla a presión constante. La compresión es mayor, el volumen de residencia disminuye de $4,5 \text{ cm}^3$ por vuelta a $3,4 \text{ cm}^3$, además el incremento de la temperatura alcanza grados de cocción (mayores a 135°C) es en donde se desnaturalizan las proteínas, se incrementa la sensibilidad del enlace peptídico a los fenómenos de hidrólisis, se anula toda actividad enzimática y la compresión alcanza su punto máximo. Respecto a los

carbohidratos en esta sección sufren modificaciones importantes de la estructura molecular. Estos cambios se les denominan gelatinización de los almidones. En la figura 7 se aprecia el tornillo y sus secciones y en el cuadro 3, los volúmenes de las tres secciones.

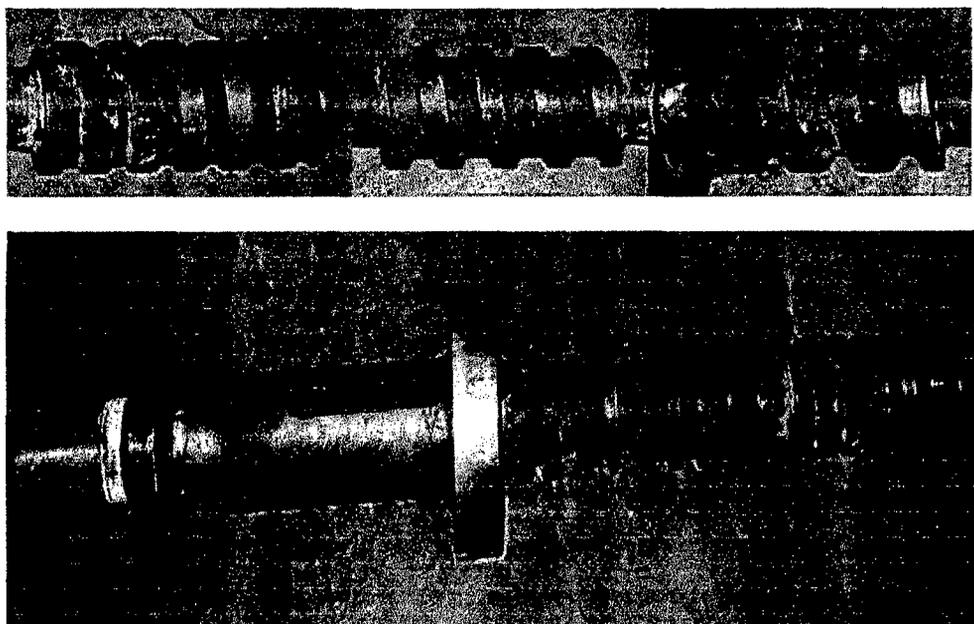


Figura 9. Tornillo (arriba) tres secciones del tornillo, (abajo) sección de tornillos, sección de los rodamientos caja Norton y sección de la polea.

Cuadro 3. volúmenes en las tres secciones del extrusor.

Volumen	Por vuelta (cm ³)	Por sección (cm ³)
V1	5,428	16,79
V2	4,524	18,09
V3	3,428	20,60

4.2.2. Transmisión de fuerza y movimiento

La transferencia de movimiento, así como la reducción de velocidades se realizó mediante el uso de dos poleas, la polea conductora de 90 mm y dos canales en V de 12 mm y la polea reductora de 490 mm de tres canales en V de 12 mm que ha sido torneada, para que en ella pueda ser alojada la parte terminal del tornillo o rotor, además de un canal para la chaveta anti desliz.

Ambas poleas están conectadas por dos fajas de $\frac{1}{2}$ pulgada y 108 cm de largo cuyo código es D-82. En la figura 10 se puede apreciar el volante o polea reductora.

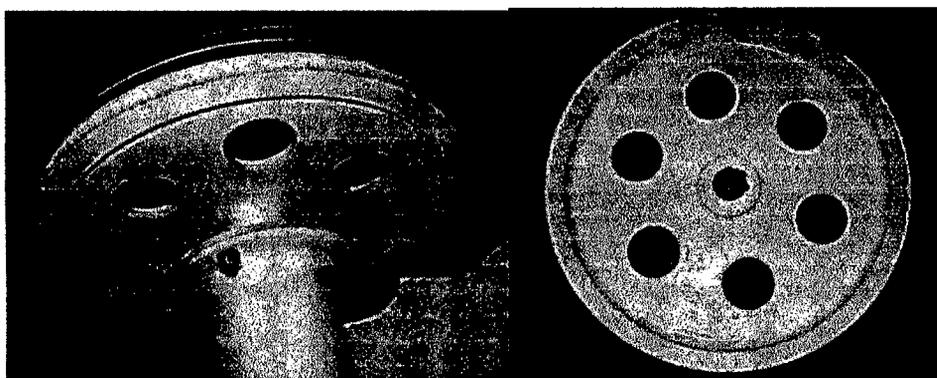


Figura 10. Volante o polea reductora.

4.2.3. El cilindro o cañón

El tubo es de acero inoxidable (hierro, óxido de calcio, carbón mineral, cromo, vanadio y níquel) de 71 mm de diámetro exterior y 57 mm de diámetro interior, 7 mm de espesor y 400 mm de largo. Posee una abertura de alimentación de 40 mm de diámetro y dos de 12 mm, uno en la sección de alimentación y otra en la sección de molienda para la ubicación de sensores

térmicos o ingreso de agua en forma de vapor o chorro, también puede emplearse como limpiadores.

A un extremo se colocó una brida que sirve de conexión a la caja Norton, éste a su vez se encuentra cerca de la zona de alimentación. Al otro extremo se encuentra otra brida donde se coloca el dado o troquel y el cortador. En la figura 11 se muestra el cilindro o cañón.



Figura 11. Cilindro o cañón con dos bridas a los extremos (Izq.) brida de sujeción del troquel, (Der.) brida de sujeción a la caja Norton.

4.2.4. Motor o generador de fuerza

El suministro de energía eléctrica y posterior transformación en energía mecánica, permite la rotación del tornillo del extrusor. A través de la disipación viscosa y fricción, la mayor parte de esta energía es convertida en calor, que es aprovechada por la masa para ser cocida.

La estimación de la potencia de ingreso (HP) se realizó mediante el cuadro de simulación computarizada de un extrusor cocedor de tornillo simple. De los datos del cuadro 2 se puede ubicar entre 4,8 y 7,5 HP siendo el óptimo entre 6 y 7,0 HP ideal para operar a velocidades de 300 rpm, para una producción de hasta 100 kg por hora de acuerdo al producto que se estaría elaborando, al material en proceso y a la relación D/h de 7. En la figura 12 se muestra el motor del extrusor.



Figura 12. Motor generador de fuerza

4.2.5. La caja Norton

En la figura 13 se puede apreciar la Caja Norton.

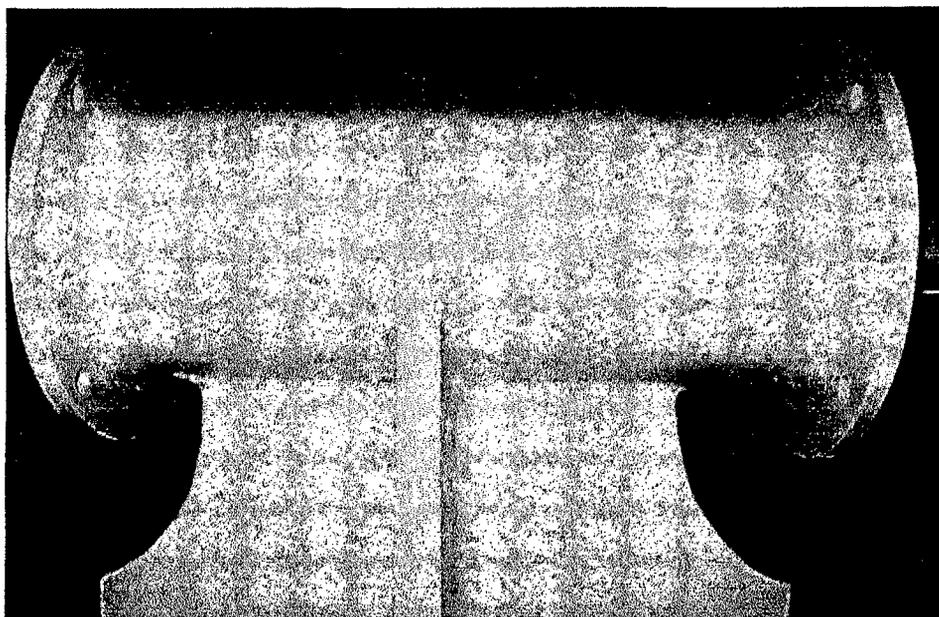


Figura 13. Caja Norton, fijado en la base con bridas a los extremos

4.3. Producto extruido

Los diámetros de los productos extruidos con diferentes números de orificios y diámetros de troquel se indican en el cuadro 4.

Cuadro 4. Diámetro de los extruidos con diferentes números de orificios y diámetros de troquel.

Orificio	Diámetro de los orificios		
	3 mm	4 mm	5 mm
1	5,6	9,3	10,8
2	6,2	9,3	10
3	5,2	8,1	8,0

4.4. Del índice de expansión

De los datos del cuadro 4 y mediante la relación diámetro de los extruidos: diámetro del orificio del troquel se halló el índice de expansión (I.E) que se indica en el cuadro 5.

Cuadro 5. Índice de expansión de los extruidos con diferentes números de orificios y diámetros de troquel.

Orificio	Diámetro de los orificios		
	3 mm	4 mm	5 mm
1	2,8	3,1	2,5
2	3,1	3,1	2,7
3	2,7	2,5	2,0

Los productos con índice de expansión por debajo de 2,5 muestran residuos de materia prima sin cocción incluso partículas de maíz, muestra de un proceso de extrusión incompleto, observados en la figura 14.



Figura 14. (Izq.) Extruidos con troquel de diferentes diámetros y números de orificios, (Der.) Extruidos con troquel de dos orificios y 4 mm diámetro con I.E. 3,0, materia prima completamente cocida.

V. DISCUSIÓN

5.1. Respecto al dosificador y capacidad de producción

Según HARPER (1999), el transportador sinfín propicia un empuje en forma de taladro a lo largo del recorrido, por donde el material es desplazado por el tramo por efecto de rotación lenta del tornillo y puede transportar materiales pesados, vegetales, carnes, etc.

El dosificador en el extrusor se encuentra en la primera sección del tornillo maquinado mediante el torno, esta sección reemplaza al dosificador convencional que viene a ser un accesorio adicional. Puede ser empleado en la dosificación de mezclas de harinas, cereales partidos durante el procesamiento de alimentos por extrusión. La capacidad de arrastre y el volumen de suministro de cereales o mezclas al proceso son:

El volumen de alimentación por cada vuelta es de $5,66 \text{ cm}^3$.

El flujo de alimentación es $1,82 \text{ cm}^3/\text{min}$, considerando la densidad de la mezcla $0,87 \text{ Kg/l}$ el flujo de alimentación es de $94,8 \text{ Kg}$ por hora.

Es el caudal teórico es estimado sin considerar la fricción y otros efectos físicos que pudieran ocurrir en el interior del cilindro.

Aplicando el factor de reducción de espacio en la sección de cocción de $0,6$ se tiene $0,96 \text{ kg}$ por minuto. Aplicando el factor de reducción de

espacio en el troquel de 0,2 se tiene el caudal 0,19 kg/min, siendo éste la capacidad de procesamiento del extrusor.

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 (HARPER 1999).

El flujo de presión es opuesto por lo que es negativo, es la resistencia que ejerce la masa al disminuir el volumen y los orificios en el troquel que se comportan como una barrera al flujo del producto, de la figura 5 se puede observar que la resistencia al flujo ocasionado por la presión es mayor en los extremos radiales del tornillo.

5.2. Respecto a la función del tornillo del extrusor

De acuerdo al cuadro 1 indicado por HARPER (1999), se puede describir y ubicar el extrusor construido en este trabajo de investigación; considerando que se obtuvo una velocidad final de 321, 43 rpm correspondería al tipo de extrusor de Alto Corte, los productos que se podrían obtener serían: proteínas texturizadas, gelatinización de almidones, dextrinización y desnaturalización de proteínas. La relación D/h ($50/4=12,5$) en la sección de cocción y ($50/6=8,3$) en la sección de compresión y en la sección de alimentación la relación D/h ($50/7=7,14$). Se puede observar que la relación D/h en la zona de alimentación donde se inicia el proceso de extrusión corresponde a un extrusor de Alto Corte.

Esta sección es la más importante del extrusor. Su función es recibir el material homogeneizarlo y hacerlo pasar a través de la boquilla a

presión constante. La homogenización está acompañada por mezclado intenso de flujos longitudinal y transversal del canal (HARPER 1999).

El tratamiento matemático de esta zona supone que el material actúa como un verdadero fluido, exhibe deformaciones al esfuerzo y no se desliza en las superficies del tornillo y el barril. Esta sección del extrusor se comporta como una bomba centrífuga, con la capacidad de bombeo relacionada inversamente a la presión (HARPER 1999).

Zona de expansión

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 atmosférica. 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 (HARPER 1999). La caída brusca de la presión que experimenta el producto inmediatamente después que atraviesa el troquel permite la expansión por la transformación molecular del extruido.

5.3. Respecto al material empleado

Para la fabricación de máquinas y equipos destinados a la transformación de alimentos se exige el uso de acero inoxidable. En el presente trabajo se empleó acero de bajo carbono en las partes donde no hay contacto con el alimento al que se aplicó esmalte al horno, debido al bajo costo. Los materiales que se emplearon en la fabricación del extrusor han sido fabricados en el Perú por las empresa Sider Perú y Aceros Arequipa, las unidades en algunos casos están expresadas en el sistema Ingles, las

planchas se fabrican con unidades milimétricas y los ejes y tubos en pulgadas, por lo que se ha convertido al sistema internacional de unidades métricas, esto se debe a las matrices que se utilizan, algunos de procedencia europea y otras, americanas.

5.4. Respecto al producto elaborado

Se empleó una mezcla de maíz y soya en proporciones de 50% cada uno con una humedad entre 12 a 15 %, siendo el óptimo 12,5% de humedad, la velocidad de rotación del tornillo del extrusor fue 321, 43 rpm y los 2 orificios en el troquel de 4 mm de diámetro. La temperatura registrada en el troquel alcanzó 320 °C.

Según la experiencia de AGUIRRE (2000), el índice de expansión obtenido fue de 2,8 y la densidad 0,075 g/cm³, en el presente estudio el índice de expansión fue 3,0 y la densidad 0,065 g/cm³.

En la figura 9 se puede observar los parámetros del extrusor cocedor de Alto Corte; la temperatura de trabajo está ubicada entre 250 y 380 °C y el tiempo de cocción promedio de 0,3 minutos (18 segundos) y la humedad entre 12 y 20%.

5.5. Respecto al índice de expansión

Según HARPER (1999), para considerar expansión de un alimento, el índice de expansión debe ser mayor a 1,5. Con el troquel de dos orificios y diámetro de 3 mm se registró el máximo índice de expansión como se puede observar en el cuadro 15 (I.E.= 3), mientras que en los ensayos

realizados por AGUIRRE (2000) con soya alcanzó un I.E. = 2,8, según el reporte de ROBINSON (2010) para cañihua alcanzó un índice de expansión de 4,68 , en la variedad Illpa INIA 4,6 y 3,39 en la variedad Cupi,

VI. CONCLUSIONES

- El extrusor construido corresponde al tipo de Alto Corte, destinado a la producción de proteínas texturizadas, gelatinización de almidones, dextrinización y desnaturalización de proteínas.
- Los materiales empleados en la construcción del extrusor fueron fabricados en el Perú por las empresas Sider Perú y Aceros Arequipa y cumplen las especificaciones técnicas internacional ASCII-1160
- La configuración del tornillo es de tres secciones; la primera sección de alimentación con volumen de residencia de $5,6 \text{ cm}^3$; la segunda sección de mezclado y molienda con volumen de residencia de $4,5 \text{ cm}^3$ y la tercera sección con volumen de residencia de $3,4 \text{ cm}^3$.
- La velocidad de trabajo del tornillo es de 321,43 rpm, la relación D/h 7,14; la potencia requerida del motor 7 HP, el rendimiento 0,19 kg por minuto.
- La humedad de la mezcla maíz y soya al 50% fue de 12,5%, la temperatura registrada en la sección de cocción fue $320 \text{ }^\circ\text{C}$, el índice de máxima expansión fue 3,0 y se registró con el troquel de 2 orificios y 4 mm de diámetro, el tiempo de residencia o cocción varía de 1 a 2 minutos.
- El costo final del extrusor fue S/ 9129,75 nuevo soles (\$ 3094.83 U.S.), siendo un extrusor de bajo costo.

VII. RECOMENDACIONES

- Difundir e intensificar el diseño y construcción de máquinas y equipos que permitan industrializar a mayor escala con tecnología propia de nuestro país y no depender de los países industrializados
- Fomentar las diversas aplicaciones de los tornillos sin fin, puesto que este principio permite la construcción de otras máquinas como trituradores, molinos, extrusores, mezcladores, etc.
- Construir máquinas con materiales disponibles en el Perú para reducir los costos considerando las alternativas de sustitución de materiales como: el cromado, galvanizado, zincado, etc.
- Realizar evaluaciones con mezclas de cereales y leguminosas con adición de otras sustancias alimenticias como lípidos, vitaminas, leche y derivados, productos cárnicos, etc.
- Diseñar otras configuraciones de troquel para obtener productos tamaños y formas diversas.
- Diseñar una cortadora para obtener productos homogéneos en tamaño.

ABSTRACT

The present work came true with the advice of the Engineer. Williams Roldan Carbajal, in the facilities of mechanics EMANUEL located in the Jr. Bolívar No. 159 Huariaca Pasco, establishment once the manufacturing was dedicated of Industrialists machines. The tests came true in the facilities of the foods processing plant Yarusyacan region Pasco, where we made good use of the electrical system three-phase.

The objectives of this research were: to design and an extruder with available materials in I show half and low-cost and evaluating intervening the expansion index a corn and soja bean mixture to the 50. In the extruder's design high- cut cooker it has taken in count the configuration of the screw, the relation D/h 7,14 and the configuration of the die, the orifices number and the size of the orifice, the product fellow to elaborate, proteins textured or starches gelatinization, the raw material, design quantity of the product, form and size of the products, the energy supply that can vary among 5 5 and 7,5 HP and the screw's velocity 321 rpm.

The velocity of rotation of the screw belonged to 321 rpm, the volume of residence in the feeding zone 5.6 cm³, the flow of feeding 1819 cm³/min and the optimal index of expansion was of 3.1.

The cost of the team became of S. 9129,00 n.s. .(\$/. 3511.00 US). Production capacity is to level of pilot plant and experimental laboratory that varies from 60 to 90 kg, since for determined experiments or proofs it is necessary for small quantity lots not to increase too much to be the cost of investigation.

Key words: *Extrusion, die, textured protein.*

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- AGUIRRE, J. 2000. Efectos de la temperatura en la lisina de la soya extruido, Tesis para optar el Título de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima Perú. Pag. 54
- BAIR, D.; REED, C. 1999. Transport Properties of food dough. In cooking Extrusor. American association of cereal chemist. Chicago Illinois, U.S.A.pag. 30 - 52
- BULK, H. 1999. Screw conveyors. Minnesota United State of America.43 p.
- CASILLAS, A. 2002. Máquinas "cálculos de taller". Editorial Hispanoamericano. Madrid España. 89 p.
- CISNEROS F. 2002 Una teoría generalizada que relaciona el atrapamiento de burbujas de aire con la longitud de de barril lleno durante la extrusión de almidón. Tesis para optar el Título de Ingeniero en industrias alimentarias. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima. Perú pag. 88
- DE MUELENARE, H.; BUZZAR, J. 1999. Cooker extruders in service of world feeding. Foods Technology 23(3): 345-351 (71_77)
- HARPER, J. 1999. Effects of extrusion processing of nutrients published by Van NosTrand Reinhold Company. New York. Edited by E. karman and R. Harris chapter 14.480 p.
- 1999. Extrusion of foods, vol I. CRC Pres. Boca Raton, Florida E.U.A. 423 p.

- LINK, B. 2004. Screw Conveyor, Manual de operaciones de la Cia. Minera Atacocha. 56 p.
- LUNA, G. 2005. Efecto del proceso de cocción extrusión en la fracción indigestible, capacidad antioxidante, polifenoles totales, fitatos y algunas propiedades funcionales en 3 variedades de cañihua (Chenopodium pallidicaule Aellen). Tesis para optar el Título de Magíster Scientae Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima. Pag. 76
- LUSAS, E.; RAIZ, M. 2006. Introduction to extrusion and extrusion principles. In Feeds and Food extrusion Manual. Texas a. m. university, Collage Station, TX. 165 P.
- MAYNARD, H. 1999. Manual de la ingeniería de la producción industrial. Editorial Reverte. Barcelona España. 359 p.
- METROLOGÍA. 2002. Mecánica de taller "torno y fresadora". Editorial cultural. Lima Perú. 362 p.
- MILLER, C. 2009. Operaciones unitarias en procesos de Extrusión, P.E. ConsultingEngineer R.O.2, Box 413, Aurburn, New York U.S.A. 125 p.
- OWEN, R. 1999. Introducción a la Ciencia de los Alimentos, Editorial Reverte S.A. Barcelona España. Pag. 56 – 98.
- REPO, R. 2001. Introducción a la ciencia y tecnología de cereales y granos andinos. Editorial Agraria. Lima Perú. Pag. 15 – 31.
- 2009 Chemical and Functional Characterization of Kañiwa (Chenopodium pallidicaule) Grain, Extrudate and Bran. Plant Foods Human Nutrition. 64:94–101

- REINHAR M. 2001. Análisis de los Alimentos: Fundamentos Métodos y aplicaciones. Editorial Acribia.Zaragoza España.Pags. 68 – 80
- PISIPATI, R.; FRICKE, A. 2004.Computer simulation of a single- screw cooking extruder. Departament of chiminal Engineering, University of Maine at Orono Me. U.S.A. PAG. 56 - 60
- RIAZ, M. 2000. Extrusores en las aplicaciones de alimentos. Zaragoza: Acribia S.A. 227 p.
- ROKEY, G. 1995. Tecnología de la Extrusión e Implicaciones Nutricionales. Curso de especialización FEDNA: Avances en nutrición y alimentación animal, 11., Barcelona, España. p270-286.
- S K F. 2005. Manual de mantenimiento y recambio de rodamientos. Impreso en Inglaterra por JaroldPrinting.88 p.
- SERRANO, X. 1999. The Extrusion Cooking Process in Animal Feeding Nutritional Implications. Feedmanufacturing in SouthernEurope: New challenges. 8p.
- TARAZONA, G. 2004, Composición de Los Alimentos: Capitulo 03 Las proteínas en los alimentos y su relación con el procesamiento, Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima Perú. 26 p.
- UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA. 2004. Composición de los alimentos, tema: Desnaturalización de las proteínas Dpto. CAPA, Lima Perú.
- 2004. Guía de Prácticas: Análisis De Los Alimentos, Facultad de Industrias Alimentarias. Lima Perú.

- VALLS, A. 1999. El proceso de Extrusión en Cereales y Habas de Soja, I. Efecto de la Extrusión sobre la Utilización de Nutrientes. IXº Curso de Especialización FEDNA, Barcelona. P 109-115.
- WENGER. 2001. Para los proveedores de alimentos latinos americanos. Stagnito communications INC. Vol. 10:2 293 p.

ANEXOS

ANEXO 1. Ensayos de los extruidos

Resumen de los diámetros (mm) del producto extruido con diferentes diámetros y números de orificio del troquel.

NUMERO DE ORIFICIOS	DIAMETRO DEL TROQUEL (mm)	ENSAYOS				
		I	II	III	IV	V
1	3	5,6	5,8	5,8	5,6	6,0
	4	9,3	8,1	8,7	8,7	8,1
	5	10,8	10,4	10,8	10,0	9,6
2	3	6,2	6,4	6,2	5,8	5,6
	4	9,3	8,7	9,6	9,3	8,7
	5	10,0	10,0	10,4	10,8	10,0
3	3	5,2	5,2	5,4	5,0	5,8
	4	8,1	8,4	7,5	8,1	7,5
	5	8,0	8,0	8,4	6,8	8,0
4	3	6,3	6,6	6,3	6,0	6,9
	4	8,0	8,0	8,4	6,8	8,0
	5	9,5	10,0	10,5	8,5	9,0

Índice de expansión con 3 diámetros y 4 orificios del troquel.

TRATAMIENTO	NUMERO DE ORIFICIOS	DIAMETRO DE ORIFICIOS (mm)	I	II	III	IV	V	TOTAL
			1		3	2,8	2,9	2,9
2	N1	4	3,1	2,7	2,9	2,9	2,7	14,3
3		5	2,7	2,6	2,7	2,5	2,4	12,9
4		3	3,1	3,2	3,1	2,9	2,8	15,1
5	N2	4	3,1	2,9	3,2	3,1	2,9	15,2
6		5	2,5	2,5	2,6	2,7	2,5	12,8
7		3	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	13,5
8	N3	4	2,7	2,8	2,5	2,7	2,5	13,2
9		5	2,0	2,0	2,1	2,2	2,0	10,3
10		3	2,1	2,2	2,1	2,0	2,3	10,7
11	N4	4	2,0	2,0	2,1	1,7	2,0	9,8
12		5	1,9	2,0	2,1	1,7	1,8	9,5
TOTAL			30,5	30,4	31,0	30,0	29,8	151,7

Anexo 2. Análisis estadístico

Se empleara un diseño con arreglo factorial, adaptación de 4 X 3 y 5 repeticiones, 4 configuraciones para el número de orificio y 3 diferentes diámetros de orificio, cada tanda de extrusión será una unidad experimental.

Modelo matemático

$$Y_{ijk} = u + v_i + D_j + (VD)_{ij} + B_k + E_{ijk}$$

i	=	1, 2, 3,4	número de orificios
j	=	I, II, III, IV, V	repeticiones
k	=	3, 4, 5	diámetro del troquel

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó mediante la prueba de Duncan

Análisis de CV y Duncan

fc=Factor de corrección

sc=Suma cuadrada

gl=Grados de libertad

INTERPRETACIÓN ESTADISTICO

si $F_{cal} < F_{tabulado}$ al 1% y 5% es no significativo (N.S)

si $F_{cal} > F_{tabulado}$ en uno de ellos es significativo

si $F_{cal} > F_{tabulado}$ al 1% y 5% es altamente

Datos:

Número de datos 60, número de tratamiento 12, número de repeticiones 15.

Anexo 3. Análisis de varianza

CUADRO DE VARIANZA

Nº	Fuente de Variación	Gl	Sc	Cm	F.cal	F tabular	
						5%	1%
1	Tratamiento	11	9.35	0.85	47.04	19.3	8.8
2	ORIFICIOS	3	6.93	2.31	127.79	15.7	6.3
3	DIAMETRO	2	1.96	0.98	54.25	11	3.5
4	ORIF.XDIAMT.	6	0.46	0.08	4.27	22.1	10.9
5	Bloques	4	0.07	0.02	1.01		
6	Error	44	0.80	0.02			
7	TOTAL	59					

Análisis de CV y Duncan

Calculo de coeficiente de varianza

CV. 5.32%

Hallando la desviación estándar de la media

SX 0.06

Interpretación estadística

1. Existe diferencia significativa para el número de orificios y repetición, por lo tanto no se acepta la hipótesis nula; es decir no hay homogeneidad entre estas variables.
2. Existe diferencia significativa para los diámetros, por lo que se rechaza la hipótesis nula; es decir existe diferencias entre los diámetros de orificio.
3. El Cv = 5,32 % es bajo por lo que se acepta para trabajos
4. En la prueba de rango múltiple de Duncan al 5% muestra que existe diferencia significativa para los tratamientos I,II,III,IV,V por lo que no se acepta la hipótesis nula; es decir no existe homogeneidad entre estos tratamientos
5. De acuerdo al orden de mérito el tratamiento 2 – 3 ocupa el primer lugar con promedio de 3 en el índice de expansión

Anexo 4. Presupuesto

Presupuesto para la construcción del extrusor

Materiales y dimensiones	Precios
1. Materiales para el alimentador	
a. Plancha de acero inoxidable: e 1/32" x 120 x 240 mm	248,00
b. Soldadura inox 5/32"	36,10
c. Tubo acero inoxidable: e 3 mm x d.i 38 mm x L 60 mm	32,15
2. Materiales para el cilindro	
a. Brida de de acero comercial: e 12,5; d.e 140; d.i 71mm	86,50
b. Brida de de acero comercial: e 9,0; d.e 200; d.i 71 mm	66,50
c. Electrodo supersito de 1/8 pulgadas marca exsa.	30,00
3. Materiales para caja Norton del extrusor	
a. Bocina de acero: i 110; d.e 136; e 26, L 300 mm	370,00
b. Bridas de acero: e 9,0; d.e 200; d.e 110 mm	130,00
c. Bridas de acero: e 7.0, d.e 204, d.e 110 mm	130,00
d. Plancha de acero comercial: e 20, L 500, A 260 mm	420,00
e. Electrodo supersito de 1/8 pulgadas marca Exsa	30,00
f. 6 Tuercas con pernos de 6,35 mm (1/4") x 25,4 mm (1")	35,00
4. Materiales para el tornillo o rotor del extrusor	
a. Eje de acero (Shafting): e 55 x L 795 mm	350,00
b. Electrodo acero inoxidable de 1/8 pulgadas	45,00
5. Materiales para la generación y transmisión de fuerza	
a. Rodaje 6309.C3-SHG: d,e 100 mm; d.i 45 mm (bolas de una pista, marca FAG, made in Germany)	135,00

b. Rodaje 223/2310: d.e 110 mm; d.i 52 mm (cilíndrico de dos pistas), marca FAG, made in Germany	250,00
c. Motor de 4.0 HP, marca Siemens: 1750 revoluciones por minuto, made in Germany	780,50
d. Faja de en V de 13 mm x 650 mm (2 unidades)	125,00
e. Polea para el motor de aluminio de doble canal en V de 13 mm, diámetro exterior 90 mm	35,00
f. Polea metálico de triplee canal en V de 13 mm, diámetro exterior 100 mm y 1900 mm diámetro exterior	500,00
6. trabajos diversos (corte, pintura, soldadura	
a. Esmalte al Horno, marca Tekno, 1 galón, color blanco	45,00
b. Lija, No. 40 y 60, marca Oerlikon-Exsa Perú	15,50
c. Masilla o cemento Bonflex poliéster cantidad ¼ de galón, marca Anypsa	35,00
d. Thinner acrílico de secado rápido, cantidad un galón	23,00
e. Anticorrosivo 1 galón, marca Anypsa	43,00
f. Pernos y tuercas de 44 mm x 10 y 12 mm	68,50
7. Descripción de los materiales para el soporte	
a. Plancha de acero comercial: e 2,0; A 20; L 30 mm	85,00
b. Tubo rectangular de acero comercial: e 3,0; 51x7.6 mm	185,00
c. Electrodo supersito de 1/8 pulgadas marca exsa	45,50
d. Mano de obra	3750,00
e. Otros (flete, pasajes)	1000,00
Total	SI.9129.75

Anexo 5. Abreviaturas

Abreviaturas usadas en el tornillo o rotor de un extrusor

Simbología	Designación
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 al borde del álabe y el cañón
L =	Paso o recorrido por una espiral completa del alabe
N =	Número de alabes simultáneos (número de pasos)
θ =	Ángulo del paso del alabe con respecto al plano normal y del eje del tornillo.
e =	espesor
d.e =	diámetro externo
d.i =	diámetro interno
l =	largo
A =	ancho

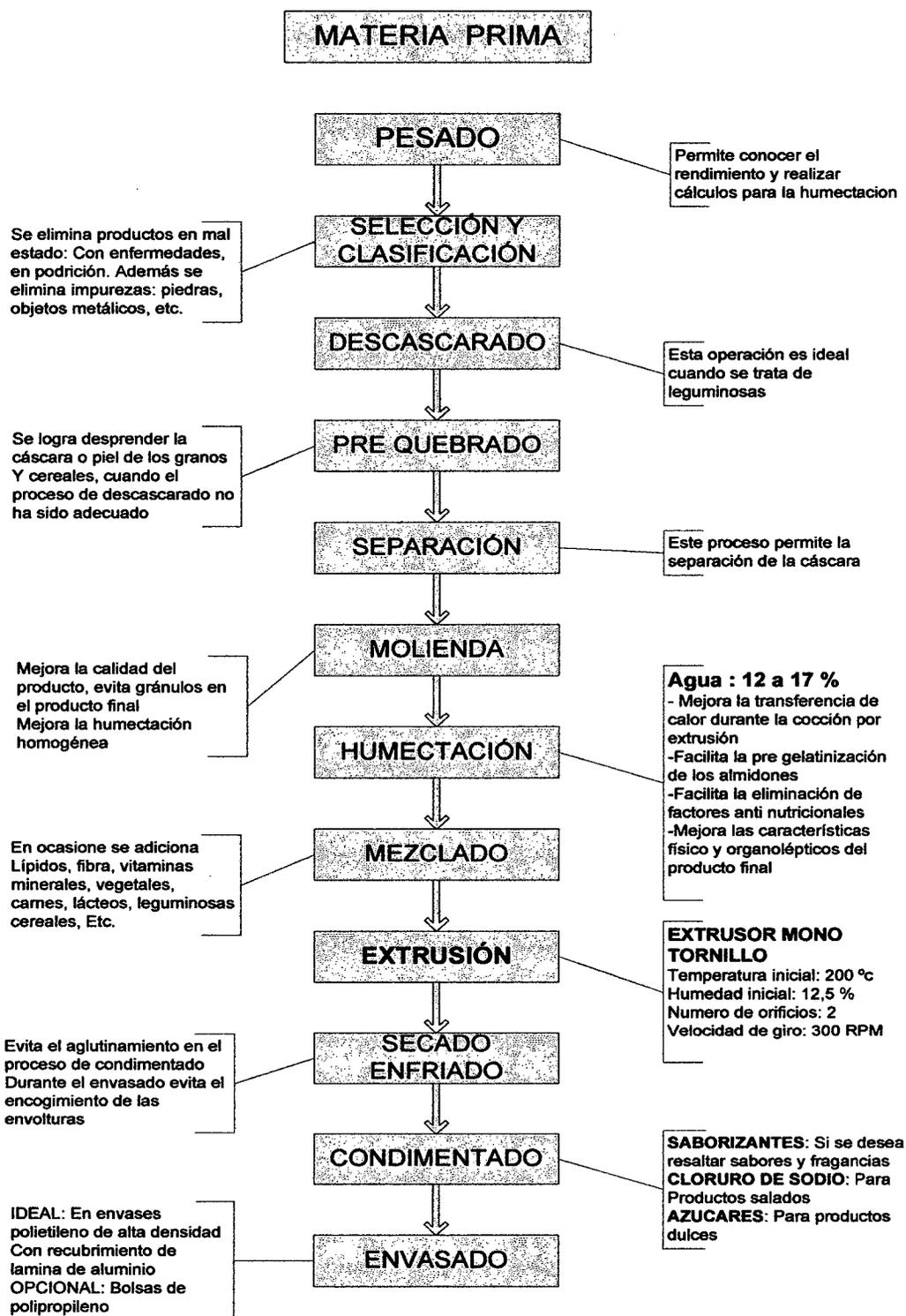


FIGURA 15 . Diagrama típico de un proceso de extrusión

FUENTE: Recopilación



Figura 16. Maíz amarillo partido

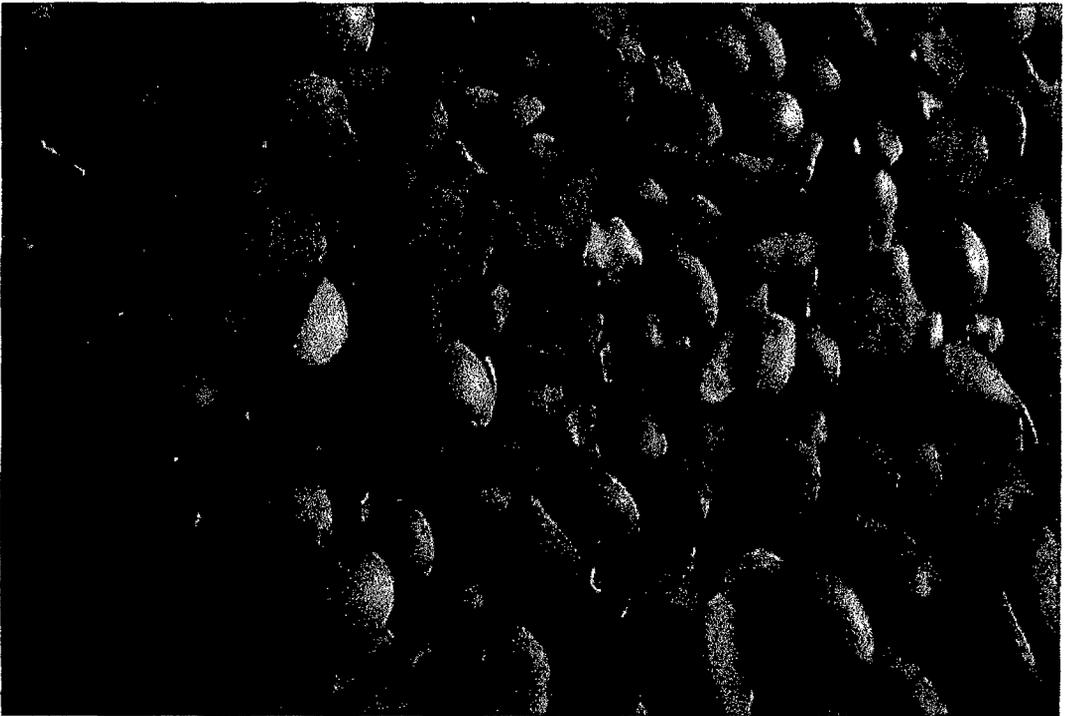


Figura 17. Soya pre quebrado

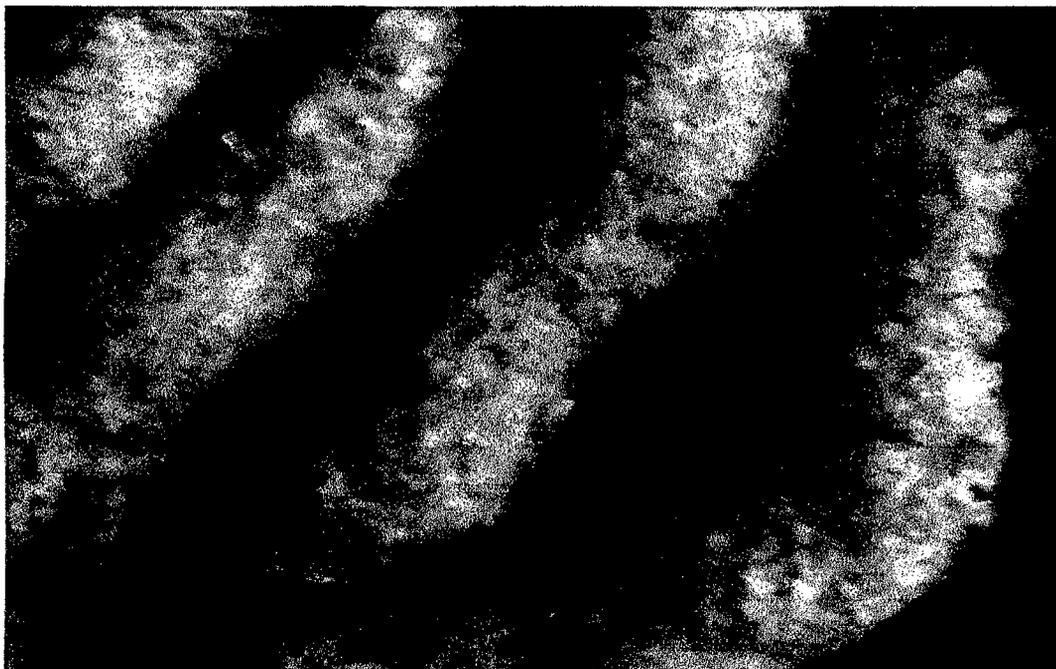


Figura 18. Extruido de maíz y soya (troquel 2 orificios de 3 mm diámetro)



Figura 19. Extruido de maíz y soya con troqueles (1; 2 y 3 orificios y con 2; 3 y 4 mm de diámetro)

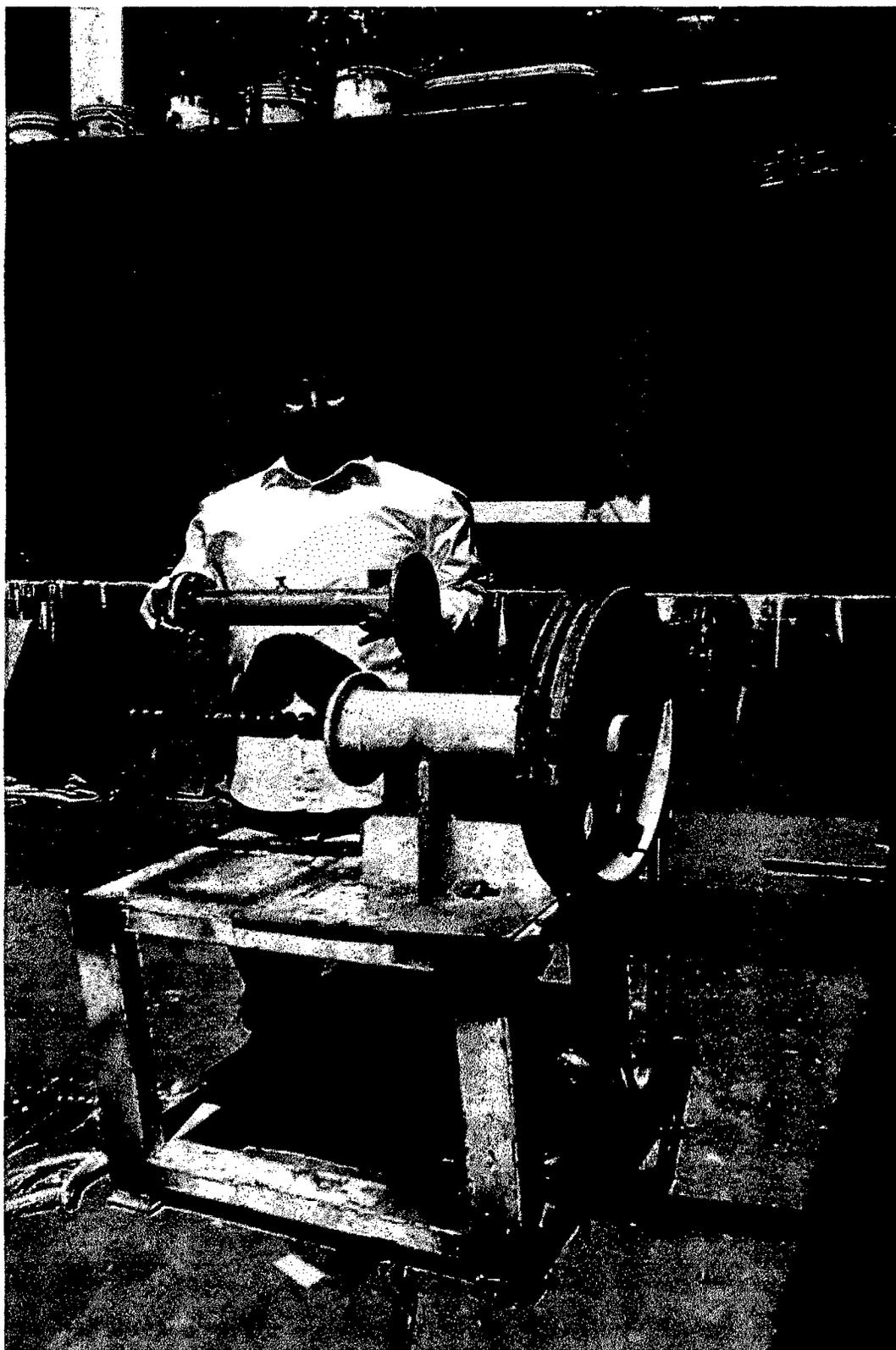


Figura 20. Extrusor en etapa de construcción

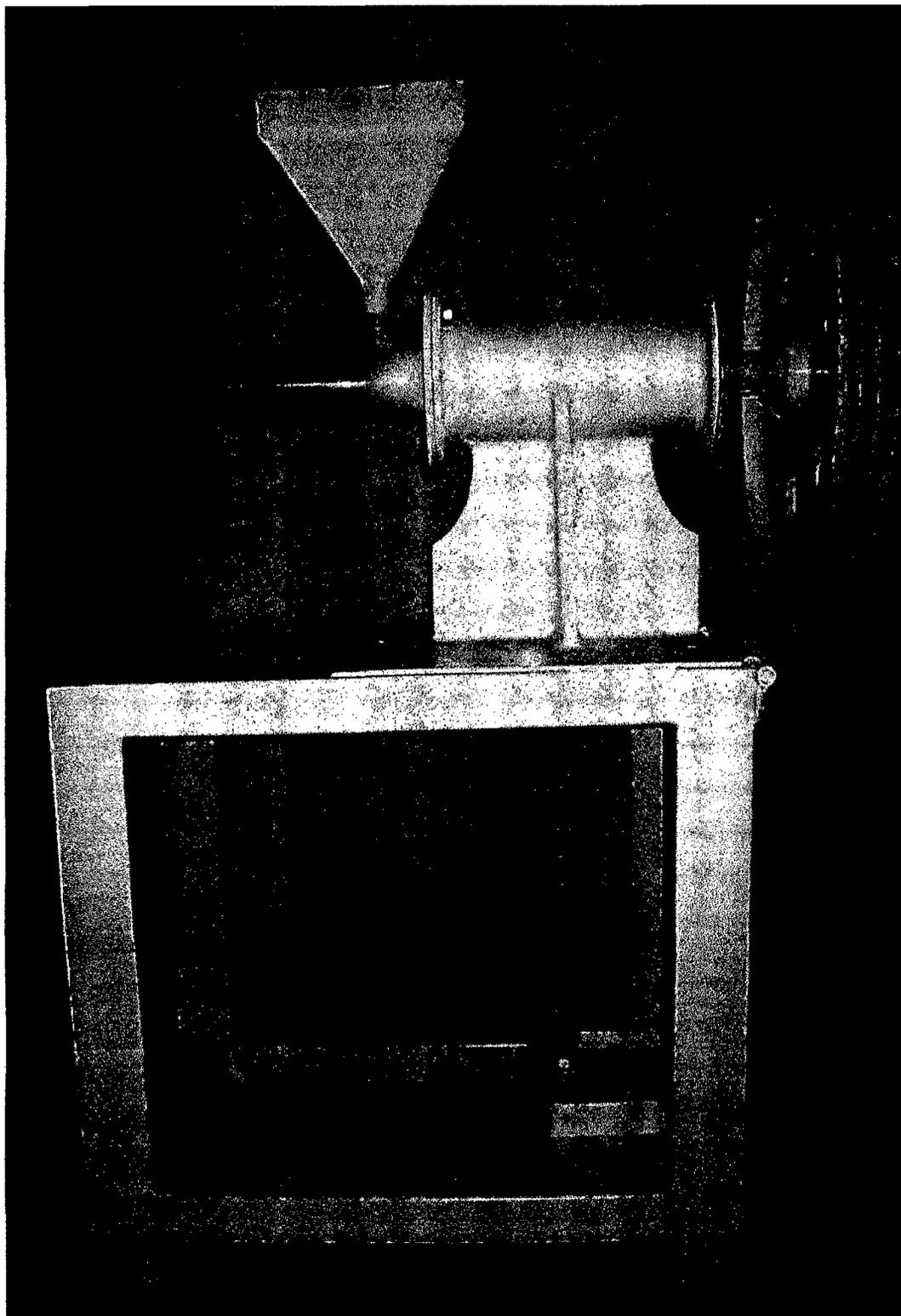


Figura 21. Extrusor de bajo costo

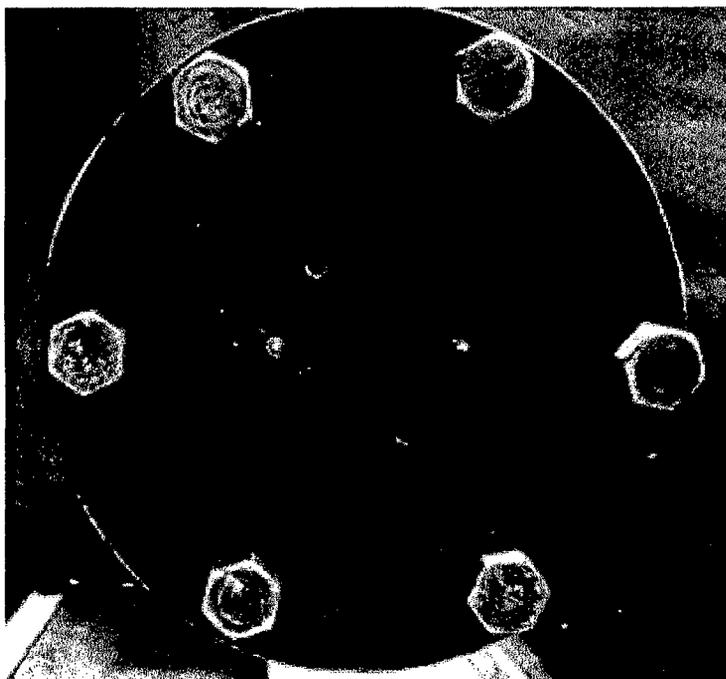


Figura 22. Troquel de 2 orificios de 3 mm

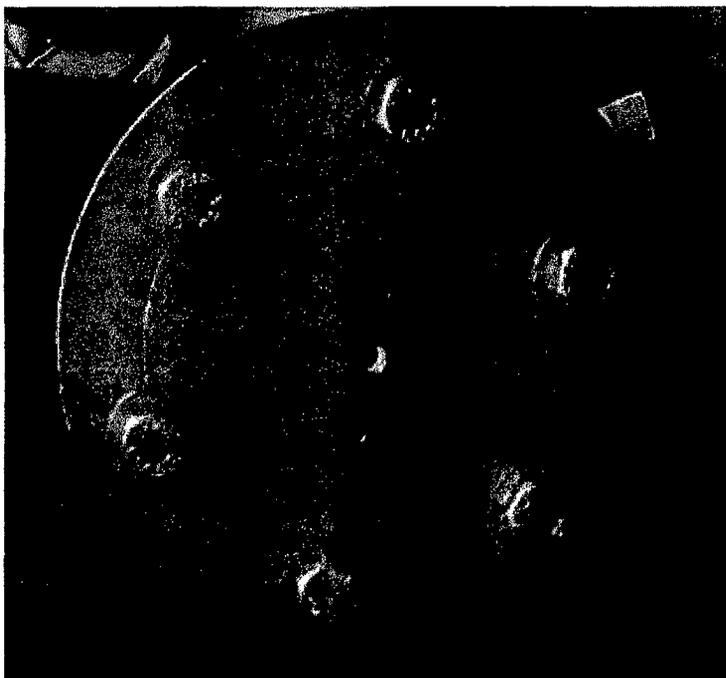


Figura 23. Troquel de 3 orificios de 2 mm

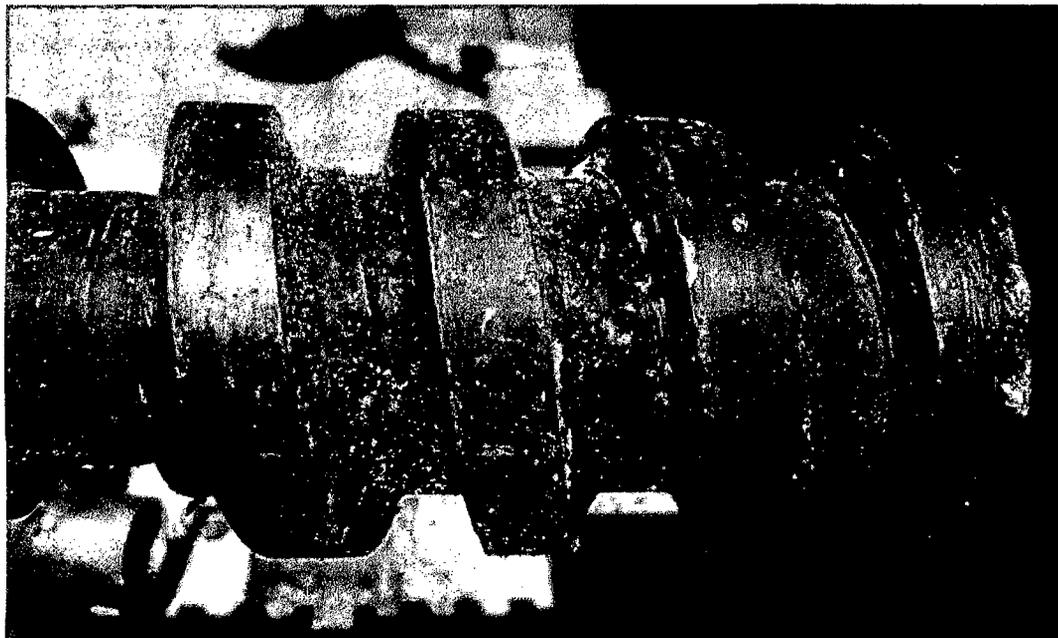


Figura 24. Sección de dosificación del tornillo

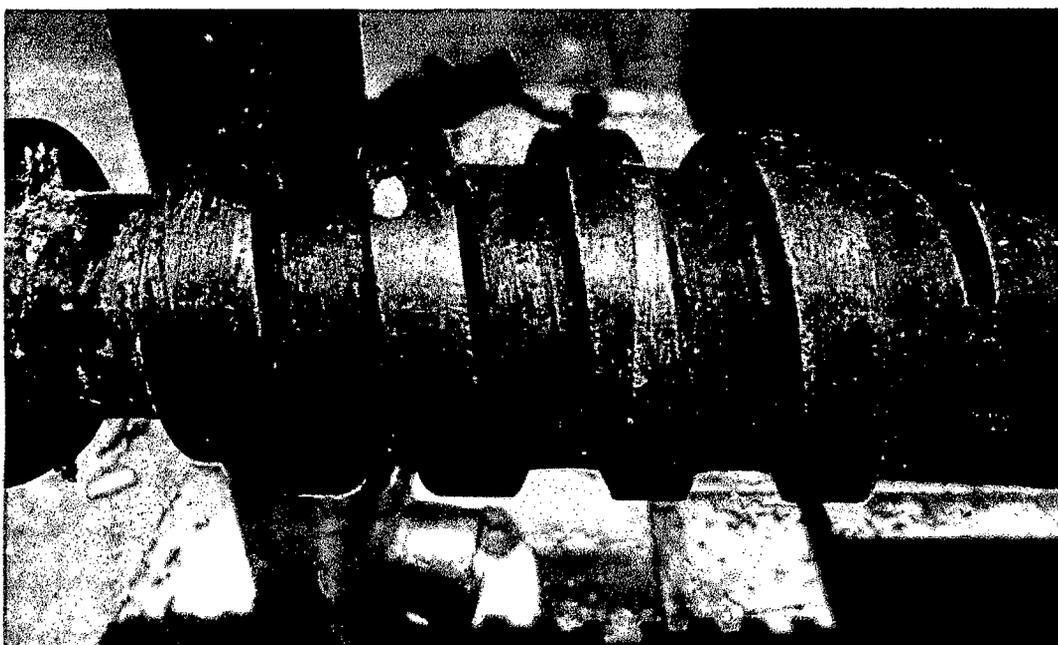


Figura 25. Sección de molienda y mezclado del tornillo

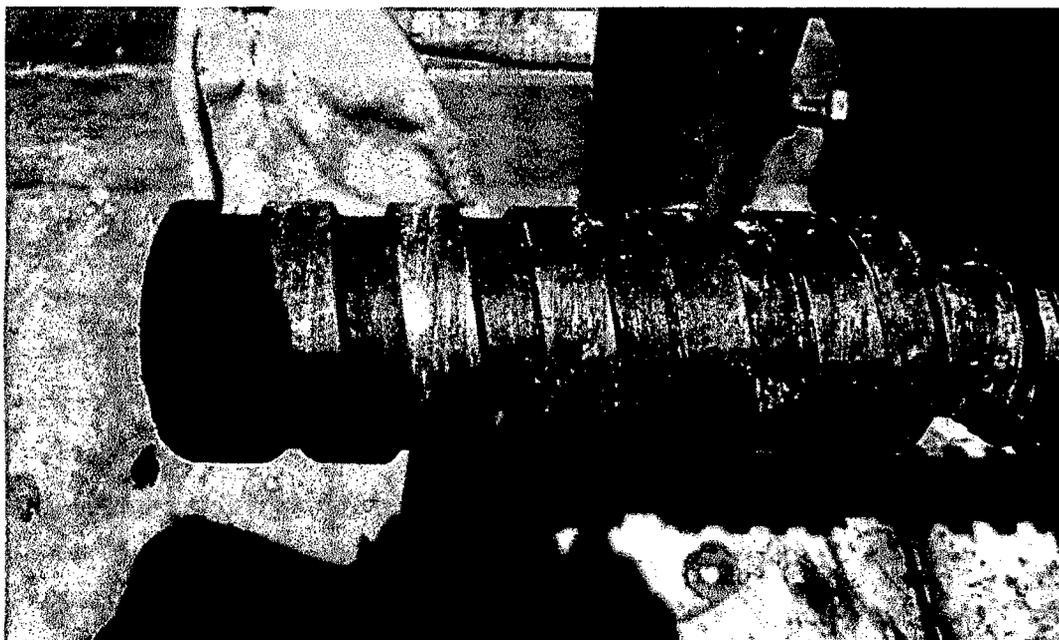


Figura 26. Sección decocción y compresión del tornillo

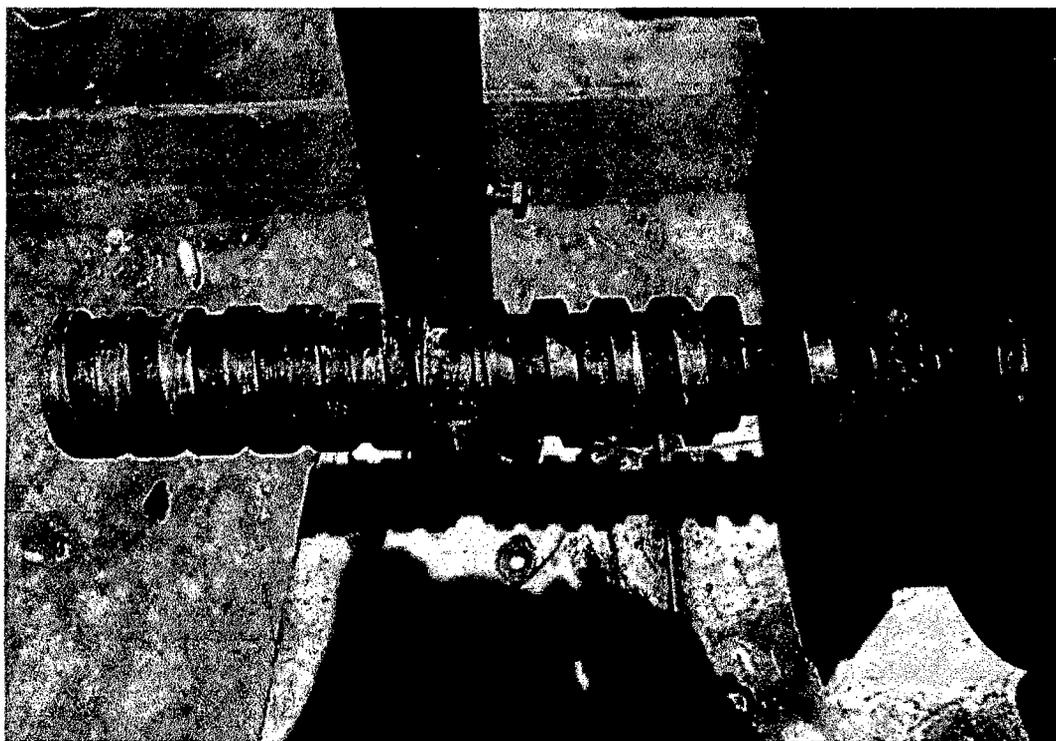


Figura 27. Tornillo del extrusor

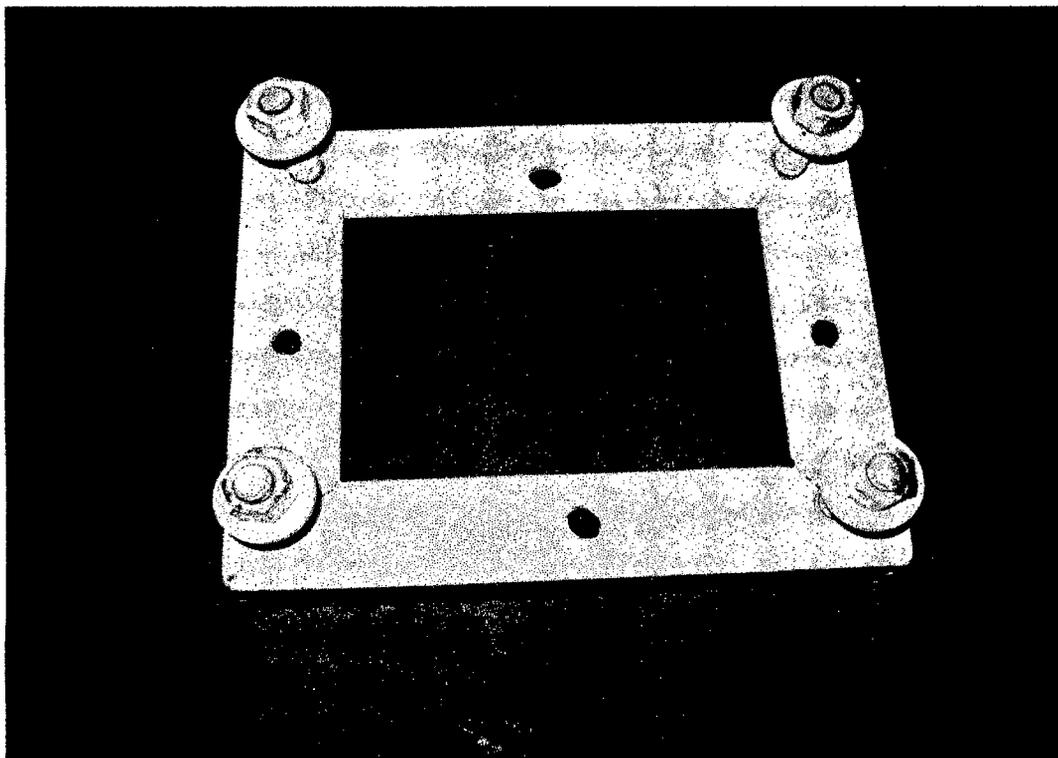


Figura 28. Base del motor

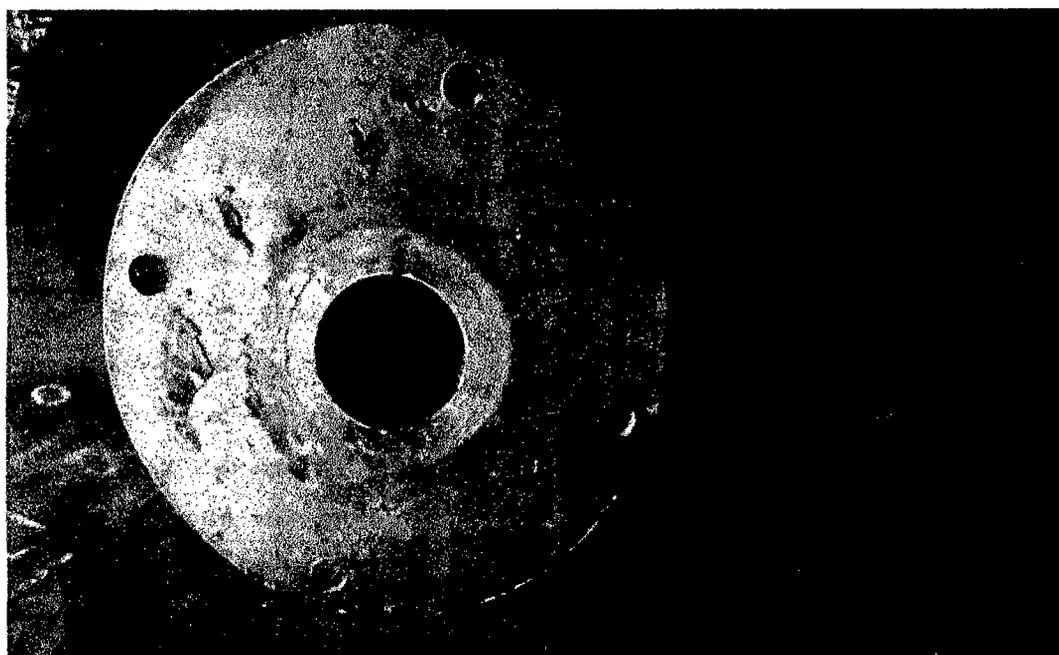


Figura 29. Brida en el extremo del cilindro



Figura 30. Esmeril de banco



Figura 31. Amoladora

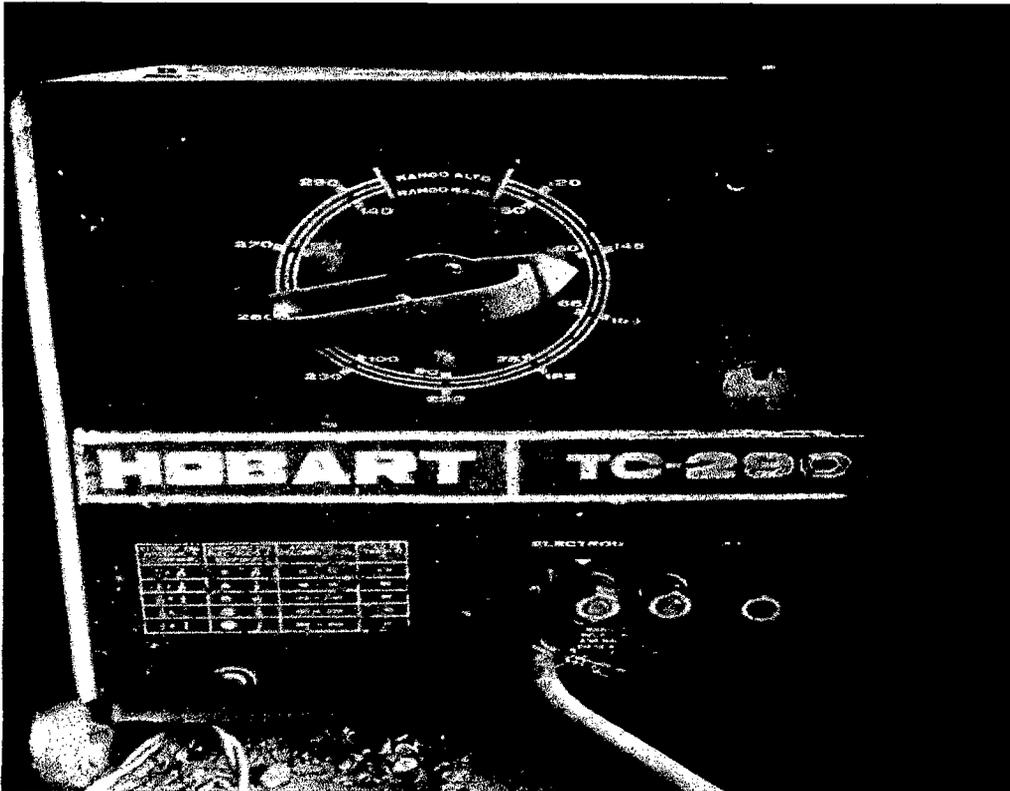


Figura 32. Soldadora eléctrica

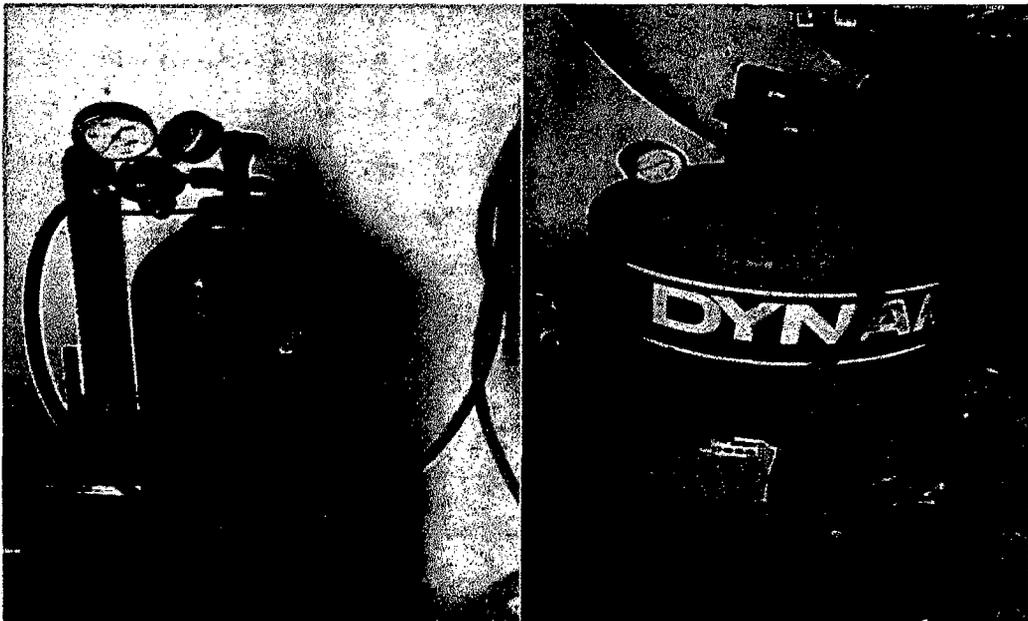


Figura 33. Equipo de oxi – corte (botellón y gasómetro)

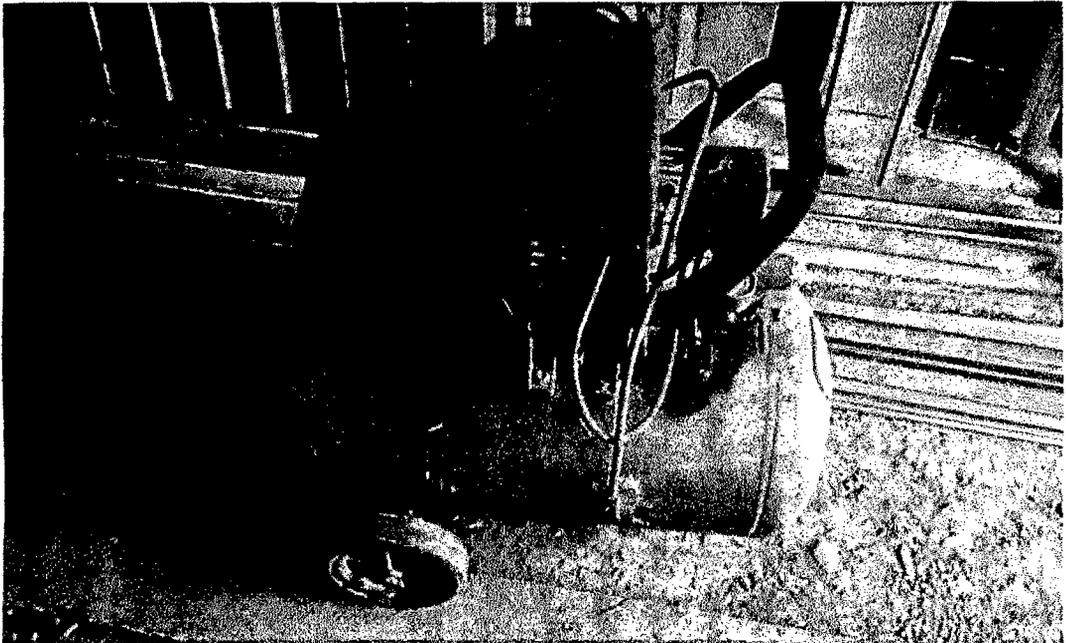


Figura 34. Compresor de aire

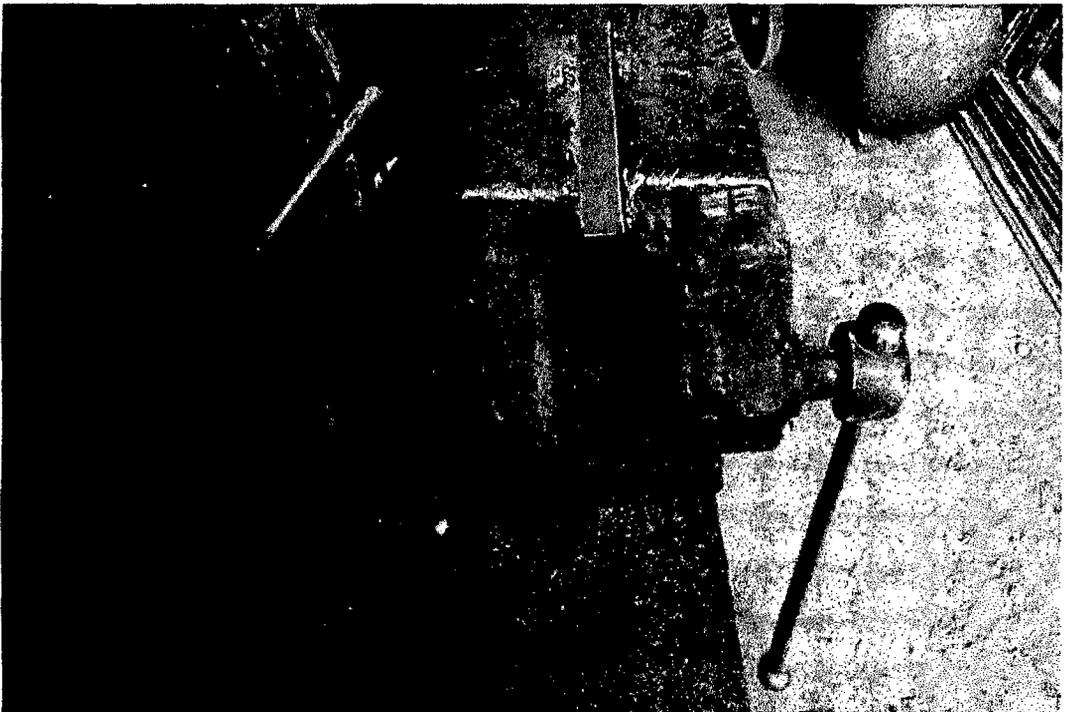


Figura 35. Prensa estándar