

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA LA ELABORACIÓN DE ALIMENTOS PARA ANIMALES

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
por los bachilleres:
Blanco Morillo, Elías Manolo.
Sánchez España, Pedro Luis.
para optar al Título
de Ingeniero Mecánico.

Caracas, 2002

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA LA ELABORACIÓN DE ALIMENTOS PARA ANIMALES

Tutor Académico: Prof. Fausto Carpentiero

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
por los bachilleres:
Blanco Morillo, Elías Manolo.
Sánchez España, Pedro Luis.
para optar al Título
de Ingeniero Mecánico.

Caracas, 2002

DEDICATORIA

*A Dios.
A mi madre Marta
por su amor y cariño incondicional.
A mi padre Eleazar por su amor y
colaboración durante mis estudios.
A mis hermanos, por el amor que me
han brindado, especialmente Juan Pablo.
A las comunidades indígenas para que mejoren
su calidad de vida y realicen las granjas integrales.
También es dedicada a todas aquellas
personas que harán uso de esta máquina.*

Elías M. Blanco M.

DEDICATORIA

*A mi padre Pedro por su ayuda y colaboración,
a mi madre Eglis por su apoyo y su paciencia,
a mis hermanas Ludisbeth y Liliana por su comprensión,
a la memoria de mi abuela Isabel,
a mi familia,
a mis amigos.*

Pedro L. Sánchez E.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos por su colaboración prestada a la realización de este proyecto, a todas aquellas personas y asociaciones que brindaron su apoyo y conocimiento, dotándonos de la orientación necesaria para llevar a cabo la culminación de este trabajo especial de grado. Entre ellos cabe destacar:

- A la Universidad Central de Venezuela, específicamente a la Biblioteca Central, Biblioteca de la Escuela de Ingeniería Mecánica, Biblioteca del Instituto de Tecnología de los Alimentos.
- A la Fundación FUDECI (Fundación para el desarrollo de las Ciencias Matemáticas, Físicas y Naturales), a su director Ramiro Royero y al personal que allí laboran, por ser propulsores de este proyecto.
- A PISCICULTURA ALMA C.A. en Campo Mata, Estado Anzoátegui, a su directora principal María Isabel Martínez por permitirnos conocer su máquina extrusora de alimentos y la manera en que ésta era operada.
- A la Empresa METALMECANICA VIMAU C.A. y al personal que en ella labora, específicamente al Sr. Genaro Méndez por participar directamente en la construcción de la máquina.
- A todos aquellos profesores, compañeros de clases, amigos y familiares por sus sugerencias hechas al proyecto, las cuales fueron de gran ayuda para la culminación del mismo.

RESUMEN

Elías Blanco M.

Pedro Sánchez E.

Diseño y Construcción de una máquina para la elaboración de alimentos para animales.

Tutor Prof. Fausto Carpentiero. Tesis. Caracas. U.C.V.

Palabras claves: extrusión, pelets, alimento, máquina.

El objetivo de este trabajo especial de grado es el de diseñar y construir una máquina para la elaboración de alimentos para animales. Este alimento debe tener forma de pequeños fideos llamados pelets. Para la elaboración de estos pelets, la máquina debe procesar harinas de origen vegetal cumpliendo con diferentes procesos que permitan darle al alimento elaborado la composición y consistencia deseada.

Para la realización de este trabajo especial de grado, haremos uso de los conocimientos adquiridos durante la carrera, sobretodo, aquellos conocimientos referentes al diseño de mecanismos y elementos de máquinas, transferencia de calor, sistemas de control, higiene y seguridad industrial, mantenimiento entre otros. Además, tomaremos en cuenta las condiciones a las que deben ser sometidas las harinas para que el alimento cumpla con los requerimientos establecidos.

La motivación de este proyecto es la de brindar la oportunidad a aquellas granjas existentes en el país, de elaborar su propio alimento para sus crías de animales (patos, pavos, cochinos, etc.). El propósito es elaborar un tipo de máquina que se adapte a los requerimientos necesarios de estas granjas y que represente una inversión económica conveniente para las mismas.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	15
PROGRAMA DE TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA PARA LA CREACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE MICROEMPRESAS EN LA REGIÓN AMAZÓNICA.....	17
1. CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. OBJETIVOS.....	20
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	
21	
1.2. OBJETIVOS.....	22
2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	23
2.1. ALIMENTOS CONCENTRADOS PARA ANIMALES. PROCESOS DE FABRICACIÓN.....	24
2.1.1. La molienda.....	25
2.1.2. Mezclado.....	27
2.1.3. Aglomeración o peletización.....	29
2.1.4. Enfriado y secado.....	30
2.1.5. Peletizado por extrusión.....	31
2.1.6. Reseña histórica de la extrusión de alimentos.....	32
2.1.7. Ventajas del peletizado por extrusión.....	33
2.1.8. Factores importantes en el proceso de extrusión.....	35
2.1.8.1. El extrusor.	
2.1.9. Efectos de la extrusión.....	38
2.2. ALIMENTO PELETIZADO Y EXTRUDIZADO.....	38
2.3. TORNILLO DE ARQUÍMEDES.....	39
3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DEL DISEÑO.....	41
3.1. PROCESO DE SOLUCIÓN DE PROBLEMAS.....	42

3.2. APLICACIÓN DEL PROCESO DE SOLUCIÓN DE PROBLEMAS A NUESTRO CASO.....	43
3.2.1. Fase 1. Formulación del problema.....	43
3.2.2. Fase 2. Análisis del problema.....	43
3.2.2.1. Especificación de los estados A y B.	
3.2.2.2. Determinación de las restricciones.	
3.2.2.3. Determinación de los criterios.	
3.2.2.4. Volumen de producción.	
3.2.2.5. Uso.	
3.2.3. Fase 3. La búsqueda de las diversas soluciones posibles.....	45
3.2.3.1. Proceso de alimentación.	
3.2.3.2. Proceso de humidificación de la mezcla de las harinas.	
3.2.3.3. Proceso de calentamiento.	
3.2.3.4. Proceso de formación de los pelets.	
3.2.3.5. Proceso de corte de los pelets.	
3.2.3.6. Proceso de secado de los pelets.	
3.2.4. Fase 4. Fase de decisión.....	49
3.2.4.1. Evaluación de los criterios.	
3.2.4.1.1. Seguridad.	
3.2.4.1.2. Facilidad de mantenimiento.	
3.2.4.1.3. Facilidad de operación.	
3.2.4.1.4. Higiene.	
3.2.4.1.5. Costos de inversión.	
3.2.4.1.6. Costos de mantenimiento.	
3.2.4.1.7. Facilidad de construcción.	
3.2.4.1.8. Tasa de producción.	
3.2.4.1.9. Vida útil.	
3.2.4.2. Matrices morfológicas.	
3.2.4.2.1. Matriz morfológica del proceso de alimentación.	
3.2.4.2.2. Matriz morfológica del proceso de humidificación de la mezcla de las harinas.	

3.2.4.2.3. Matriz morfológica del proceso de calentamiento.	
3.2.4.2.4. Matriz morfológica del proceso de formación de los pelets.	
3.2.4.2.5. Matriz morfológica del proceso de corte de los pelets..	
3.2.4.2.6. Matriz morfológica del proceso de secado de los pelets.	
3.2.4.3. Análisis de los resultados obtenidos en la fase de decisión.	
3.2.5. Fase 5. Fase de especificación del diseño.....	62
4. CAPÍTULO IV. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.....	64
4.1. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS.....	66
4.2. PARTES DE LA MÁQUINA.....	67
4.2.1. Sistema de alimentación (tolva).....	68
4.2.2. Sistema de extrusión.....	68
4.2.3. Sistema hidráulico.....	69
4.2.4. Sistema de calentamiento.....	70
4.2.5. Estructura.....	71
4.2.6. Sistema de potencia y control.....	72
4.3. MECANISMO IMPULSOR DEL SISTEMA EXTRUSOR-ALIMENTADOR....	72
4.4. DESCRIPCIÓN DE LAS COMPONENTES DE LA MÁQUINA.....	73
5. CAPÍTULO V. CÁLCULO DE LA MÁQUINA.....	80
5.1. CÁLCULOS DE LOS TORNILLOS DE ARQUIMEDES (tornillo extrusor y tornillo alimentador).....	81
5.1.1. Cálculos de las rpm del tornillo extrusor.....	81
5.1.2. Cálculo de la tasa de alimento transportado por el tornillo extrusor (flujo volumétrico y flujo másico).....	81
5.1.3. Cálculo de la tasa de alimento transportado por el tornillo de la tolva (tornillo alimentador).....	83
5.1.4. Cálculos de torques en el sistema extrusor-alimentador.....	84
5.1.5. Cálculo de la fuerza que actúa entre el eje del tornillo extrusor y el eje del tornillo alimentador, debido a la transmisión de potencia a la tolva.....	85
5.1.6. Cálculo del eje del tornillo extrusor.....	86
5.1.6.1. Cálculo de las reacciones en el eje del tornillo extrusor.	
5.1.6.2. Cálculo de los diámetros mínimos posibles en el eje del tornillo extrusor.	

5.1.6.2.1.	Diagramas de fuerza de corte, momento flector y momento torsor en el eje del tornillo extrusor.	
5.1.6.2.2.	Selección del material (acero inoxidable). Cálculo de la tensión por durabilidad en el eje del tornillo extrusor.	
5.1.6.2.3.	Cálculo de los diámetros mínimos en las secciones críticas en el eje del tornillo extrusor.	
5.1.7.	Cálculo del eje del tornillo alimentador.....	96
5.1.7.1.	Cálculo de las reacciones en el eje del tornillo alimentador.	
5.1.7.2.	Cálculo de los diámetros mínimos posibles en el eje del tornillo alimentador.	
5.1.7.2.1.	Diagramas de fuerza de corte, momento flector y momento torsor en el eje del tornillo alimentador.	
5.1.7.2.2.	Selección del material (acero inoxidable). Cálculo de la tensión por durabilidad en el eje del tornillo alimentador.	
5.1.7.2.3.	Cálculo de los diámetros mínimos en las secciones críticas en el eje del tornillo alimentador.	
5.2.	CÁLCULO DE LA FRECUENCIA DE RESONANCIA.....	99
5.2.1.	. Determinación de la curva de deflexión para el eje del tornillo extrusor.....	100
5.2.2.	Determinación de la frecuencia de resonancia. Método de Rayleigh.....	102
5.2.2.1.	Determinación de la frecuencia de resonancia en el eje del tornillo extrusor.	
5.3.	CÁLCULO DE CORREAS.....	103
5.4.	SELECCIÓN DE LOS RODAMIENTOS.....	106
5.4.1.	Selección de los rodamientos en el eje del tornillo extrusor.....	106
5.4.1.1.	Selección de los rodamientos de pie (chumaceras).	
5.4.1.2.	Selección del rodamiento rígido de una hilera de bolas.	
5.4.2.	Selección de los rodamientos en el eje del tornillo alimentador.....	110
5.5.	CÁLCULO DE LAS UNIONES ROSCADAS.	111
5.6.	CÁLCULO DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....	112

5.7.	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	115
5.7.1.	Cálculo del costo específico del alimento concentrado.....	115
5.7.2.	Costo específico del alimento concentrado producido en las granjas.....	116
6.	CAPÍTULO VI. INSTRUCCIONES DE MANTENIMIENTO. HIGIENE Y SEGURIDAD INDUSTRIAL.....	118
6.1.	INSTRUCCIONES DE MANTENIMIENTO.....	119
6.2.	INSTRUCCIONES DE HIGIENE Y SEGURIDAD INDUSTRIAL.....	120
7.	CAPÍTULO VII. IMÁGENES DE LA MÁQUINA CONSTRUIDA.....	123
	CONCLUSIONES.....	128
	RECOMENDACIONES.....	130
	BIBLIOGRAFÍA.....	131
	ANEXOS.....	132

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 Sección y detalle de un molino de martillo.....	26
Fig. 2.2 Molino de martillo.....	26
Fig. 2.3 Mezcladora de tipo vertical.....	28
Fig. 2.4 Granuladora o peletizadora.....	29
Fig. 2.5 Detalle de la matriz y el corte por cuchillas.....	30
Fig. 2.6 Granuladora de extrusión para concentrado de peces.....	32
Fig. 2.7 Esquema de las secciones de un extrusor.....	36
Fig. 2.8 Tornillo de Arquímedes.....	40
Fig. 4.1 Esquema general de la máquina.....	65
Fig. 4.2 Vista lateral de la máquina.....	66
Fig. 4.3 Corte transversal del cañón.....	67
Fig. 4.4 Sistema de alimentación.....	68
Fig. 4.5 Sistema de extrusión.....	69
Fig. 4.6 Esquema del sistema de bombeo.....	70
Fig. 4.7 Lugar de la resistencia de banda.....	71
Fig. 4.8 Estructura.....	71
Fig. 4.9 Mecanismo impulsor del sistema extrusor-alimentador.....	72
Fig. 5.1 Método de superposición.....	87
Fig. 5.2 Corte 1, Caso A.....	87
Fig. 5.3 Corte 2, Caso B.....	89
Fig. 5.4 Reacciones en el tornillo extrusor.....	92
Fig. 5.5 Diagramas de fuerza de corte, momento flector y momento torsor en el eje del tornillo extrusor.....	93
Fig. 5.6 Tensión por durabilidad contra resistencia al esfuerzo por tracción para acero forjado para varias condiciones superficiales.....	94
Fig. 5.7 Factor de tamaño para diseño de ejes.....	94
Fig. 5.8 Reacciones en el eje del tornillo alimentador.....	97

Fig. 5.9 Diagramas de fuerza de corte, momento flector y momento torsor en el eje del tornillo alimentador..... 98

Fig. 5.10 Corte 3. Aplicación para la ecuación de momento..... 100

Fig. 5.11 Factor de corrección K_1 para el ángulo de contacto..... 105

Fig. 5.12 Flujo de calor unidimensional a través de la sección cilíndrica del cañón o carcasa del tornillo extrusor..... 114

Fig. 7.1 Vista general de la máquina..... 124

Fig. 7.2 Vista lateral del cañón..... 124

Fig. 7.3 Vista de la matriz y el cañón..... 125

Fig. 7.4 Vista superior de la tolva de alimentación..... 125

Fig. 7.5 Equipo de transmisión de potencia..... 126

Fig. 7.6 Tornillo extrusor..... 126

Fig. 7.7 Detalle del paso del tornillo extrusor..... 127

Fig. 7.8 Puesta en marcha de la máquina..... 127

SIMBOLOGÍA

A	Area
δ	Deformación total, alargamiento.
τ	Esfuerzo cortante
σ	Esfuerzo normal.
ω	Velocidad angular .
C	Capacidad de carga básica
D	Diámetro
E	Modulo de elasticidad.
E	Distancia, excentricidad.
F	Fuerza.
μ	Coefficiente de fricción.
G	Modulo de rigidez.
g	Aceleración de la gravedad.
h	Ancho de la cara del cordón de la soldadura.
t	Tiempo, altura del cordón de soldadura.
I	Momento de inercia de masa, segundo momento de area.
J	Segundo momento polar de area.
L	Longitud, duración o vida.
m	Masa, pendiente.
M	Momento (de fuerza).
n	Factor de seguridad, factor de carga, velocidad de rotación.
N	Fuerza normal, numero, velocidad de rotación.
p	Paso, presión, probabilidad.
R	Radio, fuerza de reacción.
T	Temperatura, tolerancia, momento de rotación o de torsión.
U	Energía de Deformacion.
V	Velocidad (lineal), fuerza cortante.
W	Peso, carga, factor de trabajo en frío.
X	Coordenada.
x	Coordenada.
Y	Coordenada.
y	Coordenada, reflexión.
Z	Coordenada.
z	Coordenada, modulo de sección.

INTRODUCCIÓN

En Venezuela existen un conjunto de granjas integrales ubicadas, principalmente, en el oriente del país. Estas granjas cumplen con su propio ciclo ecológico; es decir, todo lo que se produce es aprovechado por ella misma. Un ejemplo sería una granja que produce el alimento necesario para su cría de animales (cerdos, patos, pavos) y a su vez de esta cría, obtiene el abono para la siembra de estos alimentos. Sin embargo, en la mayoría de los casos, no es posible procesar estos alimentos dentro de las granjas ya que no se cuenta con los equipos y máquinas necesarios para llevar a cabo estas tareas (moledoras, mezcladoras, peletizadoras). Las razones por las cuales no se cuenta con estos equipos, es el elevado costo de los mismos y, además, los ya existentes en el mercado sobrepasan los requerimientos mínimos de estas granjas, ya que están diseñadas para procesar y producir mayor cantidad de alimento al necesitado por la población animal de las mismas.

El propósito principal de este trabajo es el de diseñar y construir una máquina que se encargue de procesar las harinas provenientes de la producción agrícola de estas granjas y transformarlas en alimento elaborado para animales. Este alimento deberá tener la composición y consistencia adecuada, es decir, deberá contar con un excelente valor nutritivo y una posibilidad de almacenamiento en períodos cortos. Su forma será parecida a pequeños cilindros conocidos como pelets de aproximadamente 3 a 5 mm de diámetro y de 5 a 8 mm de largo. Es bueno aclarar que el valor nutritivo del alimento elaborado, dependerá, en gran medida, de las harinas que en la máquina se procesen. Lo que si debe hacer la máquina durante el proceso, es calentar las harinas a cierta temperatura (70 °C aproximadamente) de manera de poder eliminar los posibles antinutrientes que puedan estar presentes.

Para la realización de este proyecto, se tomaron en cuenta todos aquellos conocimientos obtenidos durante la carrera que estaban relacionados directamente con las tareas que en él se emprendieron. Fueron tomados en

cuenta, aquellos conocimientos directamente relacionados con el diseño de equipos, elementos de máquinas, mecanismos, selección de material, transferencia de calor, higiene y seguridad industrial, mantenimiento entre otros. Un ejemplo típico es el de diseños de ejes, donde fue necesario determinar los diámetros mínimos que éste puede tener dependiendo a las reacciones y estados de esfuerzos a los que estén sometidos, tomando también en cuenta que estos ejes deben ser de acero inoxidable por el hecho de estar trabajando con alimento. Otro ejemplo sería el de aplicar los conocimientos de transferencia de calor para obtener los niveles de temperatura deseados dentro del proceso o también, la necesidad de elaborar un plan de mantenimiento y operación de la máquina entre otras consideraciones. Todo esto con el propósito de diseñar y construir una máquina para la elaboración de alimentos para animales en forma de pelets que cumplan con las especificaciones y requerimientos necesarios al tipo de granjas integrales a las cuales serán destinadas.

PROGRAMA DE TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA PARA LA CREACION Y CONSOLIDACION DE MICROEMPRESAS EN LA REGION AMAZONICA.

OBJETIVO:

Este programa tiene como objetivo el mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades rurales y urbanas de la región amazónica, mediante la transferencia de tecnología para la creación y consolidación de microempresas.

INTRODUCCION:

La mayoría de las comunidades indígenas del Amazonas Venezolano, se caracteriza por bajos niveles de ingreso, precarias condiciones de acceso al servicio de salud, de educación y una fuerte dependencia del Estado. Una de las principales actividades de éstas comunidades es la agricultura, vinculada a la subsistencia con bajos porcentajes de producción, destinados al mercado y caracterizado por la utilización de tecnologías rudimentarias, centrada en productos tradicionales como la yuca, el plátano y la piña.

En el Amazonas Venezolano las iniciativas de procesamiento de productos locales han sido escasas, limitando la posibilidad de desarrollar ventajas competitivas en la cadena de agregación de valor al no existir redes de empresas locales para procesar sus productos derivados en los mercados nacional e internacional.

Las posibilidades de desarrollo agrícola del Amazonas Venezolano dependen de qué factible sea articular las diferentes fases de la cadena de agregación del valor de productos agrícolas de la zona (Producción Primaria Procesamiento-comercialización), en un sistema que garantice ventajas competitivas. Para ello, un paso fundamental lo constituye la promoción de opciones de procesamiento de productos locales que muestran un significativo potencial de explotación a escala comercial. En este sentido, la creación y consolidación de microempresas procesadoras de alimentos se plantea como un

pilar fundamental sobre la base de la cual se podría articular el desarrollo rural de la zona.

Entre el procesamiento de alimentos se encuentra el de la fruta, el cual es sencillo, de alto rendimiento y con grandes perspectivas de comercialización por ser productos exóticos, novedosos y amazónicos y a todo esto se le suma la existencia de tecnologías, que permiten la explotación de estos cultivos sin impacto sobre el ambiente, haciendo de este procesamiento de frutas la transferencia más apropiada para comenzar la creación de microempresas.

TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA PARA EL PROCESAMIENTO DE FRUTAS.

En la situación que se encuentra el Amazonas con respecto al desarrollo microempresarial, es estratégico crear una microempresa de procesamiento de frutas que incentive a las comunidades a participar en el programa de creación y consolidación de microempresas.

La creación de una microempresa piloto de frutas tiene dos vías:

- La Transferencia directamente a la comunidad, donde ésta, prueba su tecnología supervisada por **FUDECI**.
- La creación de la **Microempresa Escuela FUDECI**.

Ventajas de la 1ra. vía: Si la microempresa tiene éxito tendrá doble beneficio, porque servirá como una microempresa demostrativa de gran poder convincente realizada por un indígena.

Desventaja de la 1ra. vía: No se podría utilizar como escuela para apoyar la extensión del programa a otras comunidades.

Ventajas de la 2da. : La microempresa escuela serviría de apoyo a la extensión del programa y para el desarrollo de nuevas tecnologías apropiadas.

Desventaja de la 2da: La desventaja es que se corre el riesgo de que la microempresa manejada por profesionales reste tiempo a los líderes del programa, el cual podría emplearse mejor en el trabajo de extensión.

TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA PARA LA CONSOLIDACIÓN DE EMPRESAS.

Creemos que las dos primeras transferencias de consolidación de empresas, deben estar dirigidas a la producción de mañoco y de catara.

MAQUINARIA. PARA LA TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA.

Ante la dificultad de conseguir en el mercado maquinaria apropiada para la creación y consolidación de microempresas en el Amazonas, FUDECI está realizando un trabajo conjuntamente con la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UCV, con la finalidad de desarrollar herramientas y maquinarias apropiadas para el Amazonas.

LISTADO DE POSIBLES ALTERNATIVAS PARA EL DESARROLLO DE MAQUINARIA APROPIADA PARA EL AMAZONAS.

- PELADORA DE PIÑA
- PELADORA DE PATOS
- RAYADOR DE YUCA
- PELETIZADOR
- MEZCLADOR - SECADOR Y DOSIFICADOR DE HARINAS
- DESPULPADOR DE COPOASÚ Y TÚPIRO (manual)
- TURBINAS SUMERGIBLES EN RIOS.

***CAPITULO I
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. OBJETIVOS***

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. OBJETIVOS.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las granjas integrales cuentan con una producción agrícola de pastizales de leucadena, mata ratón (glicidia) y guama (inga edulis) que son la materia prima con la que se elaboran las harinas que luego son procesadas en alimentos en forma de pelets, es decir, como pequeños fideos o cilindros.

El problema existente es que estas granjas no cuentan con los equipos y máquinas necesarios para procesar estas harinas y producir el alimento en forma de pelets. Además, las máquinas de este tipo existentes en el mercado (peletizadoras, extrusoras) son de un elevado costo y manejan una tasa de producción mucho mayor a la requerida por estas granjas. Esto trae consigo que las granjas se vean en la necesidad de comprar el alimento ya elaborado a las compañías proveedoras en el mercado, quienes poseen el monopolio de la producción de estos alimentos y designan el precio de los mismos. De ser posible que las granjas elaboren su propio alimento se dejaría de perder una gran cantidad de pastizales que en ellas se generan y que, además, poseen un alto valor nutritivo. La posibilidad de obtener una máquina que se adapte a las condiciones de las granjas y que elabore directamente el alimento a partir de los pastizales, traería como resultado una disminución del presupuesto para la alimentación de las crías de animales y se dejaría de perder esta cosecha de pastizales que se genera de forma natural y que no está siendo aprovechada.

En el capítulo III se presenta la formulación del problema de forma general, de manera de desarrollar una metodología de diseño con la que se pretende abarcar todas las posibles soluciones, hasta tomar las decisiones más convenientes. La formulación del problema será la siguiente:

“Hallar un medio para transformar una mezcla de harinas nutritivas en alimentos elaborados para consumo animal”.

1.2 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Diseñar y construir una máquina para la elaboración de alimentos para animales.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- El alimento elaborado debe ser en forma de pelets, de 3 a 5mm de diámetro y 5 a 15 mm de largo aproximadamente.
- El alimento elaborado debe garantizar las proporciones originales de la mezcla de harinas.
- La máquina debe contar con un sistema de calentamiento que permita durante el proceso elevar la temperatura a 70 °C aproximadamente, de manera de poder eliminar los posibles antinutrientes.
- El costo de la máquina debe representar una inversión accesible y conveniente para las granjas.
- La máquina debe ser de fácil manejo y que ofrezca facilidades en las operaciones de mantenimiento.
- La producción de alimentos debe ser tal que cumpla con las con las necesidades propias de las granjas.

***CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO.***

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ALIMENTOS CONCENTRADOS PARA ANIMALES. PROCESOS DE FABRICACIÓN

Los alimentos concentrados para animales son elaborados a partir de una serie de operaciones secuenciales, en donde la materia prima es transformada hasta obtener un producto de un alto valor nutritivo; además, con este proceso de fabricación se obtienen diversas formas del alimento (pelets, cereales, fideos, etc.) que permiten facilidades en el consumo y almacenamiento. Generalmente estos alimentos concentrados no contienen una humedad mayor al 12%, presentan varias ventajas:

- Menor costo por kg de animal producido,
- Regularidad en su composición y suministro, por lo tanto una producción constante.
- Fácil almacenamiento y distribución en el cultivo.
- Manipulación mínima en el suministro del mismo.
- Menores riesgos de contaminación por bacterias o parásitos y se eliminan factores antinutricionales y biotoxinas.
- Mejor consistencia y propiedades organolépticas de los animales cultivados.
- Mejor estabilidad en el agua y mayor digestibilidad.
- Menor riesgo de contaminación de las aguas.

Las operaciones básicas en el proceso de fabricación de alimentos concentrados son

- La molienda.
- El mezclado.
- Aglomerado (granulación y recubrimiento),

2.1.1 La Molienda

Se refiere a la reducción de tamaño de partícula de materias primas, tales como granos de cereales, pescado seco, levadura seca, etc., los cuales tienen tamaños y densidades distintas. El proceso de manufactura del alimento y la eficiencia biológica de una dieta dependerán del molido inicial, por tanto con la molienda se logra:

- Obtención de una mezcla homogénea, de tal forma que en la ración diaria se encuentren presentes todos los componentes y en las proporciones adecuadas.
- Facilita la destrucción de factores antinutrientes termolábiles.
- Aumenta la superficie específica (relación superficie/volumen, mayor cuanto más pequeña es la partícula), mejorando la digestibilidad de los nutrientes.
- Un alimento compuesto molido, mejora el proceso de peletización, se prolonga la vida de los dados, facilita la penetración de vapor dentro de las partículas de alimento.
- Mejora las propiedades de mezcla de cada uno de los ingredientes y la densidad del material del ingrediente alimenticio.

En la elaboración de alimentos concentrados para peces se recomienda pasar todos los ingredientes, después de molidos, por una malla de 0.25 mm para mezclas y granulados de iniciación y por una malla de 0.35 mm para pelets de reproductores ó de crecimiento, con lo que se obtiene máximos beneficios nutricionales al proporcionar los tamaños de partícula adecuados para el animal.

Existe una gran variedad de molinos para el proceso de molienda, siendo el más utilizado en la industria de concentrados el molino de martillos, en general consta de una cámara de molienda en donde se encuentra el rotor que contiene los martillos, en la parte inferior y cubriendo la mayor superficie posible se encuentra una rejilla a manera de tamiz, estas últimas son intercambiables de acuerdo con el tamaño de partícula deseado; el molino es alimentado a través de una tolva localizada en su parte superior. Es importante que la inclusión de los ingredientes al molino se haga con la ayuda de un distribuidor regulado por un

dispositivo eléctrico que permita una entrada regular de estos; también se debe tener un sistema de imanes que evitan el paso de elementos metálicos que pueden dañar los martillos o si son muy pequeños el tracto digestivo de los animales a alimentar; de igual manera debe contener un tamiz vibrador que retiene cuerdas, piedras y otros elementos extraños. En algunos casos se realiza doble molienda para lo cual se debe contar con un juego de tamices para guardar los finos y volver a moler las partículas gruesas.

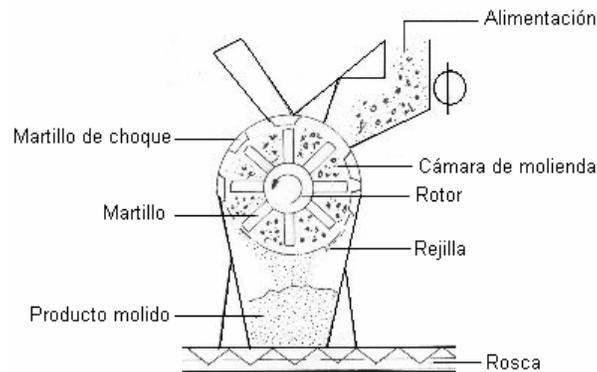


Fig. 2.1 Sección y detalle de un molino de martillo.

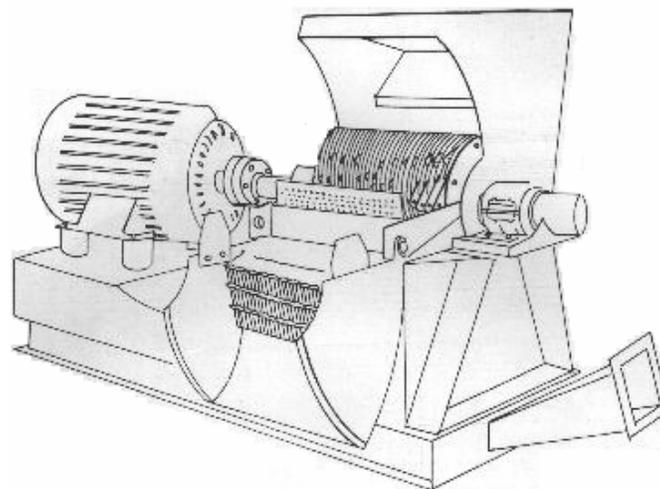


Fig. 2.2 Molino de martillo.

2.1.2. Mezclado.

La operación de mezclado se refiere a la incorporación de todos los ingredientes, que hacen parte de la «fórmula» con un peso definido, en una

distribución homogénea. Con este paso se espera que todos los principios nutritivos de la fórmula original estén presentes en la ración diaria a suministrar a los animales. En el proceso de mezclado intervienen varios factores:

- Electricidad estática: se refiere al roce entre las partículas y contra las paredes de la mezcladora, lo que hace que las partículas se carguen, impidiendo la mezcla de estas, por lo que es necesario colocar un cable de toma a tierra desde la mezcladora.
- Forma de las partículas: las formas esféricas o lisas tienen menor asociación que las formas angulosas.
- Tamaño y densidad: molidos o harinas con tamaños de partícula y densidades semejantes son más fáciles de mezclar y la segregación de partículas será menos probable.
- Pesaje: la pesada de los ingredientes que van en menor proporción debe ser más exacta que la de los ingredientes principales, siendo la precisión requerida de 1/1000.
- Proporción y tiempo: los ingredientes que entran en muy baja proporción, como vitaminas y minerales, antioxidantes, aglutinantes, etc., necesitan mayor tiempo de mezclado para que su distribución sea uniforme en toda la mezcla. Para acortar el tiempo de mezclado y asegurar una distribución uniforme es necesario hacer premezclas de estos ingredientes con un 1 al 5% de la mezcla final total.
- Introducción de componentes líquidos: la introducción de aceites de pescado, grasas, melazas, etc., en la mezcla seca puede hacerse mediante bombas de presión y toberas de aspersión y durante el proceso de aglomeración adicionándolos en el producto final seco mediante pulverización.

El proceso de mezclado se puede realizar en mezcladoras de tipo vertical u horizontal, siendo más eficientes las últimas, ya que se corre menos riesgo de la segregación de ingredientes. Las mezcladoras constan de un cilindro atravesado por un eje que gira compuesto de paletas dispuestas en forma helicoidal, el diseño puede variar y en algunos casos en lugar de paletas puede presentar un eje a

manera de tornillo sinfín, en otros casos no gira el eje sino el cilindro exterior por lo que se le denomina mezcladora de tambor; para el caso de las mezcladoras horizontales es necesario no llenar más de la mitad del volumen total con el fin de lograr un mezclado correcto.

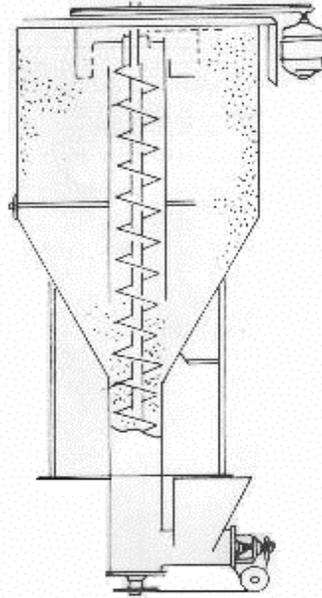


Fig. 2.3 Mezcladora de tipo vertical.

Es necesario considerar el tiempo de mezclado tanto para la premezcla como para la mezcla principal, el cual depende directamente del tipo de ingredientes, se ha definido un máximo de media hora para la primera y un menor tiempo para la segunda; un exceso de mezclado puede desmezclarlo, por lo tanto se debe tener en cuenta el análisis de comprobación de homogeneidad por valoración colorimétrica, con lo que se puede lograr definir el tiempo que debe durar este proceso.

2.1.3 Aglomeración o peletización.

Es el proceso en el cual la mezcla homogénea de ingredientes nutritivos es transformada en gránulos o pastillas (granulación comprimida) mediante un proceso de compresión calentamiento y adhesión. El proceso general envuelve el paso continuo de la mezcla a través de una cámara de acondicionamiento en

donde se adiciona de un 4 a 6% de agua (usualmente como vapor), proporcionando lubricación adecuada para la compresión y en presencia de calor se causa la gelatinización del almidón contenido en los ingredientes vegetales, resultando la adhesión necesaria para la formación de gránulos o pastillas firmes.

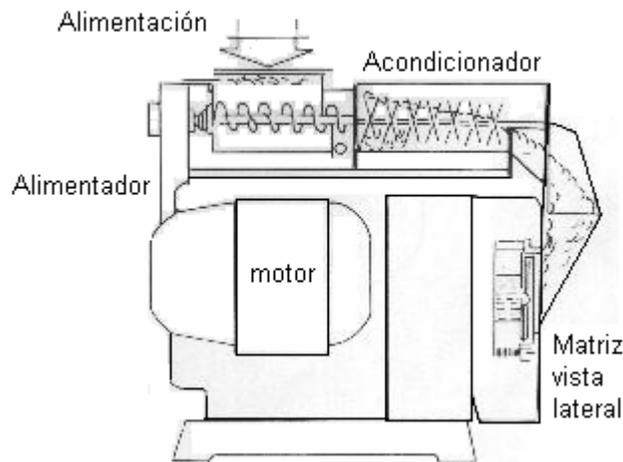


Fig. 2.4 Granuladora o peletizadora.

El proceso mecánico es realizado en una «peletizadora» donde la mezcla acondicionada con vapor de agua, se hace pasar a través de los agujeros de una matriz anular; el material sale en forma de fideo, se corta con unas cuchillas obteniéndose gránulos con diámetros entre 2 a 10 mm y una longitud de hasta 2 a 3 veces el diámetro. En términos generales, la máquina peletizadora consta de cuatro secciones:

- Alimentación: presenta un sistema de tornillo sinfín.
- Acondicionamiento: en donde se inyecta vapor a una presión de 2-3 kg/cm², una temperatura de 120° C y humedad de unos 2 g/l, con lo que la harina se calienta de 50 a 90° C aumentando la humedad hasta un 16%.
- Compactación: la masa se comprime aumentando su densidad de 0.5 a 0.7 g/cc, además se aumenta en 5 a 10° C por frotamiento. Las masas ricas en proteína compactan bien, mientras que sucede lo contrario cuando hay niveles altos de fibra.

- Corte: el material compactado sale en forma de fideo el cual es cortado por cuchillas, las cuales, según su distancia o a la velocidad que se peleticen darán la longitud del gránulo.

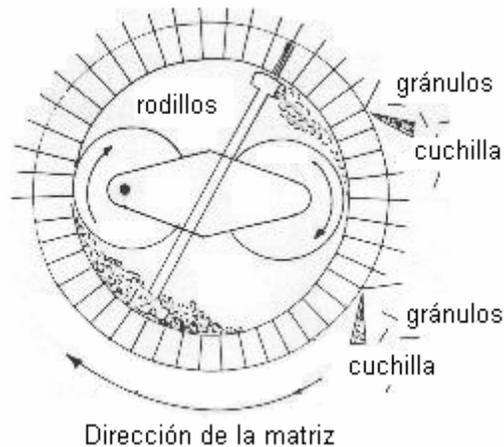


Fig. 2.5 Detalle de la matriz y el corte por cuchillas.

2.1.4 Enfriado y secado

Al finalizar el proceso de peletizado los gránulos salen calientes y húmedos teniéndose que realizar un proceso de enfriamiento y remoción del exceso de humedad con el fin de poderlos manipular y almacenar en buenas condiciones.

Para esto se efectúa un proceso de secado y enfriado por medio de aire. Generalmente, diez minutos después de la salida del pellet duro, es secado a temperatura ambiente y el exceso de humedad es retirada tendiendo los gránulos en capas finas, sobre bastidores, colocando una corriente de aire sobre ellos. Comercialmente el proceso es realizado en secadores-enfriadores tipo horizontal o vertical, los cuales presentan una cámara en donde circula aire a temperatura ambiente el cual se pone en contacto con el pellet caliente que va entrando en dicha cámara.

2.1.5 Peletizado por Extrusión

La extrusión es el proceso en el cual el alimento humidificado es forzado a fluir bajo una o más condiciones de mezclado, calentamiento y esfuerzo de corte,

a través de una boquilla o matriz diseñada para moldear, expandir y secar el producto.

El proceso de obtención de extrudizados es similar al efectuado en la granulación comprimida, con la utilización de calentamiento húmedo, para el cual se hace necesario acondicionar la mezcla de ingredientes a temperatura y presión mayores, el porcentaje inicial de humedad de la mezcla es de 20-30%, la temperatura de acondicionamiento de 65° C a 95° C; una vez se logra esto, la mezcla es llevada a un barril de extrusión presurizado en donde es cocida a una temperatura de 130° C a 180° C las cuales se logran por medio de calor y presión mecánica (50 kg/cm²) durante 10 a 60 segundos dependiendo del tamaño de partícula de los ingredientes, de la composición de la mezcla y de las propiedades físicas requeridas. La harina cocida es extruída al pasar por un tornillo ahusado, siendo obligada a pasar a través de una matriz plana (dado) al final del barril de extrusión presurizado hacia el exterior, donde el material se expande y pierde humedad por la caída brusca de presión y temperatura. En el proceso de cocción los almidones alcanzan un grado de gelatinización del 90% proporcionando al gránulo gran estabilidad en el agua.

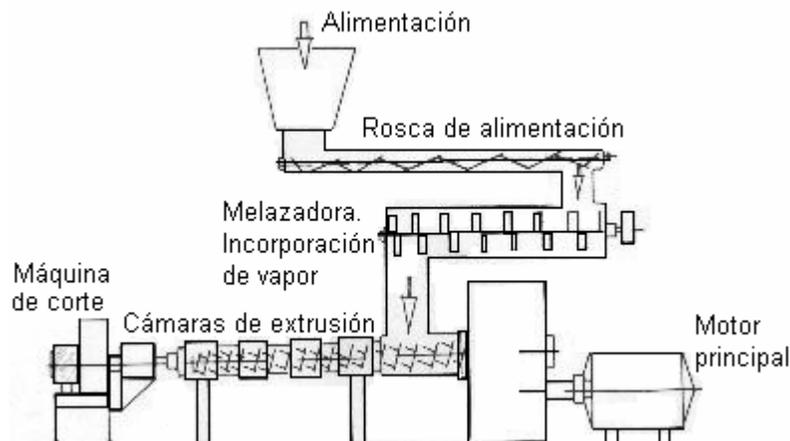


Fig. 2.6 Granuladora de extrusión para concentrado de peces.

2.1.6 Reseña histórica de la extrusión de alimentos.

La utilización inicial de extrusores para la elaboración de alimentos se remonta a mediados de los años 30. En esa época fueron usados para mezclar

harina de semolina con agua y moldear una variedad de pastas. Más tarde aparecieron los primeros cereales para el desayuno listos para comer, a partir de una masa a base de harina de cebada precocida moldeada en forma de rosca. En los años 40 se desarrolló la extrusión de "Collar", usada para la producción de collares a base de cereales altamente expandidos. Estos se cubrían con aceite e ingredientes de sabor para obtener diferentes productos tipo snack. A principios de los años 50, fueron desarrollados los grandes extrusores para ser usados en la cocción y expansión de mezclas de cereales, legumbres, subproductos cárnicos, grasas para la elaboración de productos deshidratados para consumo animal. Un descubrimiento importante tuvo lugar cuando con la extrusión se plastificaron concentrados y aislados de proteínas de soya para luego orientar y entrecruzar las moléculas de proteínas para formar una proteína vegetal texturizada. A partir de extrusores usados en la cocción de alimentos para animales y extrusores usados en plásticos, algunos investigadores han desarrollado una amplia variedad de productos alimenticios, utilizando versiones modificadas y mejoradas de los extrusores antes mencionados.

2.1.7 Ventajas del peletizado por extrusión.

Smith (1976), Harper (1978), Horn y Bronikowski (1979), Tribelhorn y Harper (1980), han señalado las ventajas de la extrusión y las causas que la convierten hoy en día en un proceso usado ampliamente para una gran cantidad de alimentos. Estas ventajas que posee el peletizado por extrusión son:

- Es versátil, pues de un mismo modelo de extrusor se pueden obtener diferentes alimentos en formas, tamaños, texturas y densidades, variando las condiciones de extrusión.
- Se obtiene una alta productividad.
- Se obtiene una alta calidad del producto.
- Se obtienen alimentos con formas no obtenidas por medio de otros métodos.

- Cocina ingredientes individuales o mezclas de ellos.
- Capacidad de producción continua.
- Bajo costo de empaque y almacenamiento de los productos obtenidos.
- No hay afluentes ni contaminantes ecológicos en el proceso posee una alta eficiencia operacional en el esfuerzo laboral, la energía utilizada y el espacio de trabajo.
- Representa un atractivo económico.
- Desnaturaliza enzimas que causan rancidez u otras deterioraciones.
- Inactiva factores antinutricionales como el inhibidor de la Tripsina en proteína de soya. La alta temperatura inactiva o destruyen factores antinutricionales termolábiles presentes en cereales y oleoginosas, como por ejemplo, inhibidores enzimáticos de crecimiento.
- Minimiza la destrucción de vitaminas.
- Cocina proteínas vegetales sin afectar la calidad de las mismas.
- Gelatiniza harinas de cereales o granos para diferentes fines. Las altas temperaturas utilizadas producen la gelatinización de los almidones aumentando la biodisponibilidad calorífico de los carbohidratos.
- Elimina o reduce al mínimo la carga microbiana.
- El pelet extrudizado tiene mayor estabilidad en estado seco, pudiéndose almacenar por largos períodos sin la degradación de los nutrientes.
- El extrudizado es más estable en el agua por su alto grado de gelatinización.

La gran variedad de productos extruidos confirma las ventajas antes mencionadas. Entre ellos tenemos:

- Productos precocidos para consumo animal.
- Cereales para el desayuno.
- Cereales instantáneos precocidos.
- Cereales enriquecidos con proteínas.
- Alimentos para bebés.

- Productos tipo snack.
- Bebidas instantáneas.
- Fórmulas dietéticas (enriquecidas con proteínas).
- Bases para sopas y salsas instantáneas.
- Almidones modificados.
- Productos para empanar y rellenar.
- Productos de pastas.
- Productos protéicos a base de legumbres.
- Alimentos a base de carne precocida.
- Salchichas a base de mezclas de proteínas de origen animal y vegetal.
- Productos intermedios que luego serán fritos, sazonados y empacados.
- Harina de soya completa.
- Proteínas vegetales texturizadas.

Muchos de estos productos salen al mercado listos para comer como es el caso de los cereales listos para comer y los snack, que son los dos tipos de productos que mayor consumo tienen en las sociedades industrializadas. Otros se extruyen para luego ser deshidratados, congelados y ser alimentos instantáneos preparados por hidratación o calentamiento.

2.1.8 Factores importantes en el proceso de extrusión.

Hay que tomar en cuenta dos tipos de factores al extruir, los inherentes a la máquina usada y los factores a controlar en el proceso de extrusión, Para poner una clara idea de esto es necesario describir el funcionamiento y la estructura de un extrusor.

2.1.8.1 El extrusor

El extrusor consiste en un tornillo de Arquímedes con resaltos helicoidales, el cual rota dentro de un barril fijo o estacionario. Cuando se opera apropiadamente los resaltos helicoidales se llenan completamente con el material, ocurriendo una reducción en la viscosidad del producto debido a los elevados

esfuerzos de corte generados como consecuencia de la energía mecánica utilizada para girar el tornillo.

Un tornillo típico está dividido en tres partes o secciones por la función que cada uno de ellos desempeña. Estas secciones son:

- **Primera sección o sección de alimentación:** En esta sección, el tornillo posee resaltos más pronunciados y esto hace que el alimento caiga fácilmente dentro del tornillo y sea transportado a lo largo del barril.
- **Segunda sección o sección de transición o compresión:** Es la sección donde el material alimenticio es compactado y convertido de una masa granular o pegajosa a una masa plastificada relativamente uniforme.
- **Tercera sección o sección dosificadora:** Aquí el tornillo puede tener resaltos helicoidales poco pronunciados, un ángulo de inclinación de dichos resaltos respecto al eje del tornillo reducido o ranuras en superficie para mezclar completamente y/o aumentar la temperatura del producto.

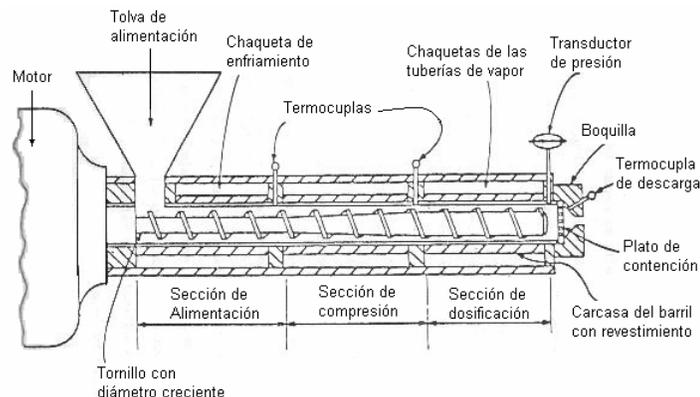


Fig. 2.7 Esquema de las secciones de un extrusor.

Varios problemas en el proceso pueden relacionarse con una pobre alimentación del extrusor, por lo tanto el diseño del tanque de alimentación del tornillo, debe ser tal que los materiales pegajosos, con propiedades de flujo pobres puedan ser rápidamente aceptados y transportados por el tornillo (Bain, 1979).

Después de que la materia prima entra en el tornillo, comienza a ser compactada y trabajada para formar una masa continua plastificada. La descarga restringida del extrusor, o las restricciones internas y/o compresiones a lo largo del tornillo resultan en un llenado completo del canal del tornillo a medida que el

material avanza, ocurriendo una reducción en la viscosidad debido a la energía mecánica utilizada para girar el tornillo, trayendo como consecuencia elevados esfuerzos de corte en el producto.

Una vez que el material pasa la sección de alimentación llega a la sección de transición donde el material es compactado y convertido de una masa granular o pegajosa a una masa plastificada relativamente. Según Matson (1982), la compresión en el tornillo del extrusor resulta de varios diseños que incluyen: el incremento en el diámetro del eje del tornillo y/o la disminución del paso de los resaltos helicoidales y/o la presencia de restricciones en los resaltos del tornillo.

Luego de que el material deja la sección de transición y antes de entrar a la boquilla o a la matriz de orificios, pasa por la sección de dosificación en la cual el tornillo posee resaltos poco pronunciados y/o ranuras en la superficie del canal para mezclar completamente y aumentar la temperatura del producto terminado. De esta manera los resaltos helicoidales se llenan completamente del material alimenticio, ocurriendo una disminución de la viscosidad, debido a la energía mecánica usada para girar el tornillo, trayendo como consecuencia elevados esfuerzos de corte en el producto. Los tornillos son secciones dosificadoras relativamente largas tienden a generar productos de gran uniformidad y menores fluctuaciones en el flujo de salida del extrusor debido al incremento del tiempo de residencia del producto dentro del extrusor (Smith, 1975).

Finalmente, la masa es forzada a través de la boquilla o de la matriz de salida, donde gran parte de la humedad se evapora y el producto se expande como consecuencia de la caída drástica de la temperatura y la presión (Faubion y Hosney, 1982).

Los cambios ocurridos con el material en la extrusión son el resultado de la transferencia de calor. Existe una similitud entre la extrusión de polímeros y la extrusión de alimentos, la cual ha sido estudiada ampliamente hoy día. Entre los factores de la máquina que hay que considerar son las características inherentes a ella, como el diámetro y el largo del barril, perfil del tornillo y geometría de la boquilla o matriz. Los factores de operación del proceso de extrusión son la temperatura, velocidad de extrusión, poder y compresión de extrusión, también

las características del material a extruir, especialmente la humedad y la composición química. El método de mezclado de las harinas puede ser otra variable que influye debido a que la mezcla permanece a la temperatura ambiente y puede reaccionar bioquímicamente. No hay una técnica o instrumento universal apropiado para obtener datos acerca de la extrusión de alimentos simulada. La idea es comparar la idea es comparar la extrusión de alimentos con la extrusión de polímeros y regir la extrusión de alimentos con las ecuaciones de la extrusión de polímeros. Interesa observar los cambios en la viscosidad del material alimenticio a lo largo del proceso de extrusión. Cambios que se complican en su observación ya que el material alimenticio esta bajo la cocción y la cocción es un término que no se puede definir con precisión ya que describe una variedad de cambios térmicamente inducidos. La tasa de corte es una variable importante, pues cambia a lo largo de los diferentes partes del extrusor e influye para el cálculo del perfil de velocidad y la tasa del flujo volumétrico. La temperatura también puede cambiar durante la extrusión. Así se puede entender la dependencia de la viscosidad aparente del material alimenticio de las dos variables anteriores. La dependencia de las propiedades reológicas de la composición es útil saberlo, pero para algunos procesos específicos, ya que la composición es usualmente constante. Hay pequeños cambios de humedad normalmente constantes durante la extrusión de polímeros, pero como el material alimenticio esta bajo cocción, la visión es distinta a la hecha en polímeros. Estos cambios que traen su efecto en la aparente viscosidad del material alimenticio, lo realizan a través de ciertos mecanismos que ocurren durante la extrusión, como la disolución, la fusión, la desnaturalización y la gelatinización.

2.1.9 Efectos de la extrusión.

El proceso de extrusión afecta significativamente a los productos alimenticios, sus componentes y aditivos, específicamente reducen el contenido de vitaminas de los factores antinutricionales, la disponibilidad de aminoácidos y cantidad de bacterias en los alimentos. Los extrusores también alteran la naturaleza de varios de los constituyentes de los alimentos, así como los

almidones y proteínas los cuales cambian sus propiedades físicas, químicas y nutricionales.

2.2 ALIMENTO PELETIZADO Y EXTRUDIZADO.

Peletizado: Es el tipo más común de compactación empleado para la elaboración comercial de alimentos y se hace al vapor.

Extrudizado: Es un alimento peletizado por expansión, utilizado en los últimos años en la acuicultura y tiene como ventaja la flotabilidad. El proceso de extrusión o peletizado por expansión es un proceso de calentamiento húmedo, por medio del cual los ingredientes premolidos y mezclados secos son primero acondicionados con vapor y/o agua a presión atmosférica (la mezcla de alimentos en esta etapa contendrá 20 a 30% de humedad; temperatura de acondicionamiento 65 a 95° C) y luego son llevados a un barril de extrusión presurizado conocido como extrusor, en donde la mezcla de alimento es cocida a una temperatura de 130 a 180° C por medio de calor y presión mecánica por 10 a 60 segundos (el período de cocimiento y la temperatura dependen del tamaño de partícula de los ingredientes, de la composición de la mezcla del alimento y de las propiedades físicas requeridas por la dieta extruida). La harina cocida es entonces extruída por medio de un tornillo ahusado, pasando a través de un dado al final del barril de extrusión presurizado hacia el exterior, donde el material se expande y es cortado a la longitud o forma física deseada. Durante este proceso el alimento cocido o extruido emerge del dado con una densidad más baja y un contenido de humedad de 25 a 30%, el cual requiere de un secado posterior. El proceso de extrusión requiere de cierta cantidad de carbohidratos presentes en la mezcla (como almidón); el almidón gelatinizado se vuelve plástico, absorbe agua y en el sobrecalentamiento se evapora produciendo la expansión.

2.3 TORNILLO DE ARQUÍMEDES.

Este tipo de alimentador es un desarrollo de los tornillos empleados en la antigüedad para transportar y elevar agua, y cuyo origen se atribuye a Arquímedes.

Consta de un helicoide construido en chapa, y cuyo eje material puede ser macizo o tubular, dependiendo de las dimensiones. Este helicoide se aloja en un tubo redondo o en una caja cuya parte inferior tiene forma de medio punto.

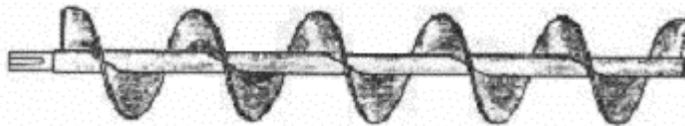


Fig. 2.8 Tornillo de Arquímedes.

El helicoide se apoya en soportes situados en los extremos del tubo o caja; cuando es muy largo, existen además, apoyos intermedios. El accionamiento se efectúa por un grupo motorreductor colocado en un extremo, estando montado generalmente coaxial con el tubo. La posición del tornillo puede ser horizontal o inclinada, pudiendo alcanzarse inclinaciones de hasta 15° .

Entre las ventajas principales de este medio de transporte respecto de otros, destaca su estanqueidad, con la cual se evita la formación de polvo, y el poco espacio ocupado transversalmente. Su empleo se recomienda para el transporte de materiales no muy densos, no friables y que no tengan tendencia a adherirse a las paredes de la caja; los cereales, cemento, harina, etc., se transportan fácilmente con los tornillos de Arquímedes.

Normalmente el paso es uniforme a lo largo del tornillo, pero en la zona de carga se hace con un menor paso y a veces con menor diámetro; ello tiene por objeto lograr que el nivel del material disminuya en el sentido de la marcha lográndose el adecuado coeficiente de llenado.

Si bien este tornillo refleja ciertas diferencias con respecto al tornillo utilizado dentro del barril de un extrusor, existe la posibilidad de seleccionar uno de

estos tornillos a la hora de diseñar un extrusor, estableciendo debidamente las condiciones. Todo esto debido a la similitud que existe entre estos tornillos.

***CAPÍTULO III
METODOLOGÍA DEL DISEÑO***

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DEL DISEÑO

Resolver un problema no es hallar una solución que satisfaga las restricciones impuestas, sino que implica algo más, a saber: la búsqueda de la solución óptima, dentro de todas las que satisfacen las restricciones establecidas, y para tal fin, se ha desarrollado un mecanismo conocido como el proceso solucionador de problemas.

3.1 PROCESO DE SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

El procedimiento general propuesto por Edward Krick en su libro “Introducción a la Ingeniería”, especial para la solución de los problemas usuales en ingeniería, consta de las siguientes fases:

- **La fase de la formulación del problema**, en la que este se define en una forma relativamente amplia, sin consideración de detalles, y haciendo hincapié respecto a la identificación de los estados A (estado inicial) y B (objetivo o resultado).
- **La fase de análisis del problema**, durante la cual el problema se define en forma relativamente más detallada. Esto involucra una sintetización, investigación, procesado y discriminación de la información recabada, para así poder determinar las características específicas del problema.
- **La fase de búsqueda**, en la cual se indaga acerca de las diversas soluciones posibles, empleando para ello el razonamiento creativo, consultando, etc.
- **La fase de decisión**, durante la cual las diversas soluciones posibles logradas se evalúan, comparan y discriminan, hasta que surge la mejor de ellas.

- **La fase de especificación**, la cual consiste en una completa descripción de las características físicas y de funcionamiento de la solución elegida.

3.2 APLICACIÓN DEL PROCESO SOLUCIONADOR DE PROBLEMAS A NUESTRO CASO

A continuación, se presenta este método aplicado a las circunstancias reales de nuestro problema, de manera de llegar a la solución más óptima, tomando en consideración los diferentes criterios existentes y evaluando las restricciones de cada uno de ellos. Para ello, someteremos nuestro problema a las cinco fases o etapas del proceso solucionador de problemas.

3.2.1 Fase 1. Formulación del problema

Problema:

“Hallar un medio para transformar una mezcla de harinas nutritivas en alimentos elaborados para consumo animal”.

Este problema fue definido, de la forma más amplia posible, de manera de abarcar todas las posibles soluciones, sin incluir ningún tipo de restricciones. Además, se pueden identificar los estados A y B:

- Estado A (estado inicial): mezclas de harinas nutritivas.
- Estado B (objetivo o resultado): alimentos elaborados para consumo animal.

3.2.2 Fase 2. Análisis del problema

3.2.2.1 Especificación de los Estados A y B:

Estado A: la mezcla de harinas, la cual va a ser transformada, proviene de una producción agrícola de pastizales conocidos como leucadena, mata ratón (glicidia) y guama (inga edulis). Para satisfacer el consumo animal se requiere procesar un mínimo de 600 Kg en una jornada de trabajo diaria de 8 horas.

Estado B: el alimento elaborado a una cantidad mínima de producción equivalente a la mezcla de harinas. El alimento debe ser en forma de pelets

(diminutos cilindros) con un tamaño aproximado de 3 a 5 mm de diámetro y de 8 a 15 mm de largo. El pelet debe garantizar su contenido nutritivo.

3.2.2.2 Determinación de las restricciones

El medio transformador debe:

- Ser capaz de procesar la mezcla de harinas necesaria para la elaboración del alimento en forma de pelets.
- Garantizar las proporciones de la mezcla de harinas durante la fabricación de los pelets.
- Durante el proceso debe existir un sistema que permita elevar la temperatura de la mezcla de harinas a 70° C para eliminar los antinutrientes.
- Ser de fácil manejo y que ofrezca facilidades en las operaciones de mantenimiento.
- El costo debe representar una inversión accesible y conveniente para las granjas.

3.2.2.3 Determinación de los criterios

- Fácil manejo.
- Facilidades de mantenimiento.
- Seguridad al usuario.
- Debe ser una solución económica.
- Debe adaptarse a las condiciones propias del lugar donde se instale, específicamente, a las condiciones rurales de las granjas y sus habitantes. Estas condiciones pueden estar referidas a las condiciones climáticas, abastecimiento de electricidad, etc.

3.2.2.4 Volumen de producción

Se realizará una sola unidad de la solución que se tome, ya sea que se trate de alguna máquina u otro dispositivo que cumpla con el proceso. La razón viene dada, debido a que la solución deberá ser adaptada a las condiciones

establecidas, las cuales cuentan con características particulares, y, además, deberá comprobarse su utilidad, haciendo los ajustes posteriores que sean necesarios.

3.2.2.5 Uso

Se desea que la solución tomada se adapte a una jornada de trabajo de ocho horas diarias, durante cinco días a la semana, con una vida útil superior a los cinco años. Cabe destacar, que la vida útil del dispositivo puede llegar a variar debido al uso y al mantenimiento que el mismo reciba. Además, si consideramos que el dispositivo puede contar con piezas o componentes fácilmente sustituibles, podremos prolongar la vida del mismo.

3.2.3 Fase 3. La búsqueda de las diversas soluciones posibles

El objetivo de la fase de búsqueda es idear diversas soluciones posibles al problema que se desea resolver. En este proceso se debe tomar en cuenta, los factores determinantes de la capacidad inventiva de una persona, como lo son sus conocimientos, el empeño que pone, su aptitud y el método que usa. Para el desarrollo de esta fase es aconsejable: no enfrascarse en detalles demasiado pronto, adoptar una actitud interrogante, buscar muchas posibilidades, evitar ser conservador, no realizar rechazos ni aceptaciones prematuras, buscar ideas en problemas semejantes y consultar a otros. Además, es necesario apartar la mente de la solución ya existente, agrupar los enfoques y, ser consciente de las limitaciones propias de la mente en este proceso de generar ideas.

En este trabajo, la búsqueda de las diversas soluciones fue llevada a cabo aplicando un método llamado tormenta de ideas, en donde se exponen todas las ideas posibles que se pudieran presentar. Para ello fue conveniente identificar los diferentes procesos requeridos en la solución del problema, como lo son:

- 3.2.3.1 Proceso de alimentación.
- 3.2.3.2 Proceso de humidificación de la mezcla de las harinas.
- 3.2.3.3 Proceso de calentamiento.
- 3.2.3.4 Proceso de formación de los pelets.

3.2.3.5 Proceso de corte de los pelets.

3.2.3.6 Proceso de secado de los pelets.

3.2.3.1 Proceso de alimentación

Este proceso consiste en la introducción de la mezcla de harina al dispositivo o máquina que se encargará de elaborar el producto (pelets). Esta mezcla de harinas pudiera estar seca o humidificada, esto dependerá de la decisión que se tome en el proceso de humidificación de la mezcla de harinas. Las soluciones presentadas fueron las siguientes:

- a. Una tolva de alimentación por gravedad con una válvula dosificadora para regular la cantidad de mezcla de harinas que es introducida.
- b. Una tolva de alimentación con eje de paletas mezcladoras y válvula dosificadora.
- c. Una tolva de alimentación con tornillo alimentador.
- d. Una tolva de alimentación con eje de paletas mezcladoras y tornillo alimentador.

3.2.3.2 Proceso de humidificación de la mezcla de harinas

Una vez mezcladas las harinas secas, estas deben ser humidificadas para obtener la masa con la que van a ser elaborados los pelets. Entre las posibles soluciones se propusieron las siguientes:

- a. De forma manual, añadiendo la cantidad de agua requerida a la mezcla de harinas, mientras vamos amasando hasta darle la consistencia deseada.
- b. Usando una máquina mezcladora de harinas.
- c. A través de una inyección de agua hacia el interior del dispositivo o máquina, mientras la mezcla de harinas son transportadas dentro de ésta.

3.2.3.3 Proceso de calentamiento

El calentamiento debe realizarse con el fin de eliminar los antinutrientes en el producto elaborado, pudiendo crear un alimento rico en proteínas y propiedades nutritivas. Además, el calentamiento es necesario para obtener la cocción necesaria en la preparación del producto. Las ideas propuestas fueron:

- a. Por la fricción producida dentro de una extrusora de un tornillo.
- b. Por la fricción producida dentro de una extrusora de doble tornillo.
- c. Calentamiento de la mezcla de harinas antes de introducirla al dispositivo o máquina (este método es conocido como autoclave).
- d. Resistencias eléctricas generadoras de calor alrededor del dispositivo o máquina.
- e. Caldera de vapor.
- f. Empleos de combustibles (gas, gasoil, etc.)

3.2.3.4 Proceso de formación de los pelets

Este proceso va referido al tipo de dispositivo o máquina que será utilizado para transformar a la masa en finos cilindros similares a los fideos para luego ser cortados produciendo así los pelets. En este proceso, a manera de consenso, se decidió que estos filamentos deberían generarse por el empuje de la masa a través de una matriz de orificios circulares. Entre las ideas propuestas para generar este empuje de la masa se encontraron:

- a. Máquina extrusora con un tornillo sin fin que genere la función de transporte y empuje de la masa.
- b. Máquina extrusora con doble tornillo sin fin que genere la función de transporte y empuje de la masa.
- c. Máquina extrusora con mecanismo de pistón que genere la misma función de transporte y empuje de la masa.

3.2.3.5 Proceso de corte de los pelets

Una vez que los filamentos salen por la matriz, se desea obtener un mecanismo que permita hacer el corte de forma inmediata. Para ello se pensó en las siguientes posibilidades:

- a. De forma manual, con el uso de alguna herramienta cortante (cuchillos, navajas, etc.).
- b. Con el uso de una cuchilla giratoria que corte los filamentos a medida que van saliendo.
- c. Aprovechando el hecho de que los filamentos son frágiles y al manipularlos se van cortando a la longitud deseada.

3.2.3.6 Proceso de secado de los pelets

Los pelets que se van generando necesitan ser enfriados, de manera de que puedan obtener la suficiente consistencia que permitirá el posterior consumo por parte de la población animal a la cual se destinará. Una de las características que debe tener este alimento es la de ser capaz de ser transportado en sacos sin que ello implique el deterioro de los pelets, además de permitir su almacenamiento durante períodos cortos. Entre las posibles soluciones a este proceso se propusieron:

- a. Diseñando un sistema que use un ventilador que produzca una corriente de aire que pase a través de una malla horizontal donde se encuentran los pelets.
- b. Distribuyendo los pelets sobre una superficie horizontal (suelo) dentro de un recinto techado (por ejemplo un galpón) y dejar que se enfríe durante el tiempo necesario a la temperatura del ambiente.

Todas las posibles soluciones mostradas para los diferentes procesos, fueron el resultado de una serie de observaciones y visitas hechas a los lugares donde se realizan estos procesos, tomando en cuenta las máquinas de alta tecnología utilizadas por grandes compañías del ramo y las alternativas usadas por productores de menores recursos. Fueron consultados expertos en el área, así como bibliografías referentes al tema y de los conocimientos obtenidos por la asistencia a un seminario sobre la extrusión de alimentos dictado en la Universidad Simón Bolívar en Noviembre del 2001.

3.2.4 Fase 4. Fase de Decisión

Para cumplir la toma de decisiones hemos adoptado el método de **matrices morfológicas**, el cual consiste en comparar las diferentes soluciones con diferentes criterios o factores y determinar, a través de una puntuación, que soluciones son mejores para cada criterio. La suma de todas las puntuaciones obtenidas por una solución da como resultado la puntuación total de la misma. La solución de mayor puntaje representa la solución más óptima. Los criterios tienen un valor porcentual de importancia. Las puntuaciones parciales son multiplicadas por el valor porcentual de su respectivo criterio para después ser sumadas.

La escala asumida para la puntuación es del 1 al 5, expresada de la manera siguiente:

- (1) Deficiente.
- (2) Regular.
- (3) Bueno.
- (4) Mejor.
- (5) Excelente.

Los criterios asumidos son:

- Seguridad.
- Facilidad de mantenimiento.
- Facilidad de operación.
- Higiene.
- Costos de inversión.
- Costos de mantenimiento.
- Facilidad de construcción.
- Tasa de producción.
- Vida útil.

3.2.4.1 Evaluación de los criterios

Para poder determinar las soluciones a los diferentes procesos, se debe considerar ciertos factores o criterios que estarán presentes en el proyecto. Estos criterios tendrán condiciones más o menos favorables dependiendo de cada solución. Por ejemplo, puede ser que ocurra que una solución que presenta una gran facilidad de operación, resulta ser de un costo de inversión muy elevado, como puede ser, que una que resulta muy económica, termine presentando dificultades al momento de hacer mantenimiento. Por ello, es recomendable evaluar cada solución ante la influencia de estos criterios, de manera de obtener la solución más conveniente. Es necesario considerar también, las características propias del ambiente a las cuales estará sometida la máquina; además de la materia prima a procesar y; el nivel de preparación que tiene y que deberá tener el operario; de manera que reciba el debido entrenamiento. Los criterios asumidos se presentan a continuación:

3.2.4.1.1 Seguridad

Este criterio se ha considerado importante evaluar porque es necesario proteger la vida y salud del operario. Por ello, la selección de cada uno de los procesos y de los elementos que lo integran, deben garantizar la menor exposición posible al riesgo. Por ejemplo, la presencia de un sistema de transmisión, implica un debido aislamiento de este sistema de manera de evitar posibles accidentes. Es necesario, además, hacer un estudio de todas las enfermedades profesionales a las que pudiera estar expuesto el operario a fin de determinar las acciones de protección a las que debe estar sometido. Por estas razones, a la seguridad se le da una importancia del 10%. Mientras más alta es la puntuación más seguro es el sistema y/o hay menos exposición al riesgo. Sin embargo, es conveniente agregar que la máquina debe incluir un instructivo en donde se especifiquen los riesgos a los que puede estar sometido el operario y las medidas que debe adoptar para evitarlos.

3.2.4.1.2 Facilidad de mantenimiento

Este criterio o factor va referido a las acciones que se deben emprender para conservar en buen estado al sistema. Mientras menos acciones tengan que tomarse para conservar el sistema más fácil será su mantenimiento. Por ello deberá existir un debido cronograma de actividades que deberán ejecutarse para garantizar el buen funcionamiento de la máquina. Estas acciones vendrán a conformar las actividades de un mantenimiento preventivo, donde algunas de estas medidas deberán realizarse en períodos diarios y otras en períodos más prolongados (semanales, mensuales, semestrales y/o anuales). En caso de avería, deberá hacerse un mantenimiento correctivo, donde lo más probable es que traiga como consecuencia la sustitución del elemento averiado. Por ende se considera darle a la facilidad de mantenimiento un valor porcentual del 15%. Mientras más alta sea la puntuación más fácil será su mantenimiento, menores serán las acciones que se deberán tomar para llevarlo a cabo. Al igual que para el criterio de seguridad, debe existir un instructivo que indique los pasos a tomar en el mantenimiento.

3.2.4.1.3 Facilidad de operación

Análogamente al criterio anterior, mientras menos acciones deban ser realizadas por el operario más fácil será su operación. Estas operaciones estarán básicamente comprendidas a la puesta en marcha del sistema y al debido control de las variables durante su funcionamiento. Estas operaciones deberán ser realizadas a través de pasos secuenciales, correctamente ejecutados y deberán adaptarse a las características propias del ambiente como al nivel de preparación y entrenamiento que pueda llegar a obtener el operario. Es oportuno recordar que la intención de este proyecto, es adaptar esta máquina a las condiciones y necesidades de la región Amazónica, donde el medio y la población presentan características peculiares. Por ello, a este criterio se le da un valor porcentual del 15%, debido a su gran importancia. Mientras mayor sea el puntaje, mayor será la facilidad de operación. Al igual que en los criterios anteriores, debe existir un instructivo que indique los pasos a tomar en la operación del sistema.

3.2.4.1.4 Higiene

Este criterio está enfocado a determinar si la solución que se desea adoptar cumple con las normas sanitarias. Este criterio es importante siempre tomarlo en cuenta, más aún si se trata de elaborar alimentos. Deben establecerse las condiciones del lugar, así como las variables presentes durante el funcionamiento de la máquina. Debe existir un instructivo que indique las acciones a tomar para obtener aceptables condiciones de salubridad. Para un mayor puntaje, existirán mejores condiciones de higiene y limpieza. Por estas razones, se le dio al criterio de higiene un porcentaje del 5%.

3.2.4.1.5 Costos de inversión

Este criterio consiste en evaluar cuál de las soluciones que se presentan es la opción más económica. Para ello, es necesario tener un estimado del valor económico de cada opción presentada. Esto se hace evaluando el valor en el presupuesto de las piezas elaboradas que formarán parte de la máquina, así como el valor de la materia prima y la mano de obra que son requeridas para su construcción. Mientras mayor sea el puntaje, menor serán los costos de inversión. La necesidad de que la máquina sea económica, se debe a la escasez de recursos económicos por parte de las personas que requieren la máquina. Es por eso, que el valor porcentual de este criterio fue considerado en un 20%, lo que representa el criterio más importante.

3.2.4.1.6 Costos de mantenimiento

Este criterio se refiere a los gastos mínimos requeridos para llevar a cabo las tareas de mantenimiento preventivo. Estos costos tienden a ser relativamente bajos, por ello tienen un valor porcentual de apenas 5%. El problema se complica cuando el gasto de mantenimiento ocurre por avería, debido al valor que podría

representar una reparación. Mientras mayor es la puntuación menor es el valor del costo de mantenimiento.

3.2.4.1.7 Facilidad de construcción

La facilidad de construcción fue conveniente considerarla debido a las pocas posibilidades que se tiene de crear piezas exclusivas para la máquina, debido a que no se cuenta con una tecnología suficiente para realizarlas. Si el diseño que se elija solo posee piezas ya elaboradas que solo se requiera seleccionarlas, diremos que el diseño es fácil de construir. Si, por el contrario, requiere que se elabore alguna pieza exclusiva, entonces el diseño se irá complicando. Por estas razones, el calor porcentual se estimó en un 10%. A medida de que el puntaje es mayor más fácil será su construcción.

3.2.4.1.8 Tasa de producción

Este criterio va referido a la cantidad de alimento que puede ser elaborado durante un tiempo estimado. Podría tomarse en cuenta como la cantidad de alimento elaborado durante una jornada diaria de ocho horas. La tasa de producción será óptima si cumple con el requerimiento mínimo que establezca la granja a la cual se desea cubrir la demanda. Es conveniente señalar, que esta máquina será utilizada para abastecer el consumo de los animales propios de la granja donde esta máquina será instalada y; no así, para la comercialización del alimento. Para nuestro caso, se ha sugerido que la tasa de producción oscile alrededor de los 600 Kg por jornada diaria. Mientras más alto sea el puntaje, mayor será la posibilidad de cubrir y, hasta exceder, la tasa mínima requerida. Por lo expuesto se considero darle al criterio de la tasa de producción un porcentaje de 10%. Para el proceso de alimentación se establece una tasa de alimentación, la cual va ligada directamente a la tasa de producción y se refiere a la cantidad de materia prima que puede suministrar la posible solución a la maquina y, que luego se traduciría a la tasa de producción obtenida.

3.2.4.1.9 Vida útil

La vida útil va referida al tiempo que pueda durar la máquina cumpliendo satisfactoriamente sus funciones. Esta vida útil dependerá, en gran medida, al uso y mantenimiento que ésta reciba. Por ello es necesario establecer, claramente, las normas de operación y mantenimiento. La otra variable importante a considerar es determinar la durabilidad de aquellas componentes de la máquina que están sometidas a concentraciones de esfuerzos (uniones atornilladas y soldadas) y aquellas que están sometidas a esfuerzos oscilatorios debido a la acción dinámica (ejes, correas, rodamientos, etc.). Un diseño óptimo es aquel que cumpla con la teoría de esfuerzo de corte máximo y límite de la fatiga, de manera de no exceder las sollicitaciones que puedan soportar los elementos de la máquina y; así, garantizar una mayor vida útil al sistema. Es necesario poder garantizar una mayor vida útil, debido a lo inhóspito de la zona y porque las posibilidades de obtener una máquina parecida son escasas. Mientras mayor sea el puntaje, mayor es la posibilidad de que la máquina tenga una mayor vida útil. Por su importancia, se decidió tomar un valor porcentual del 10%.

3.2.4.2 Matrices Morfológicas

A continuación presentaremos las 6 matrices realizadas para cada uno de los procesos. En cada matriz se mostrará la puntuación obtenida para cada una de las soluciones posibles.

3.2.4.2.1 Matriz morfológica del proceso de alimentación

- a. Una tolva de alimentación por gravedad con una válvula dosificadora para regular la cantidad de mezcla de harinas que es introducida.
- b. Una tolva de alimentación con eje de paletas mezcladoras y válvula dosificadora.

Crterios	%	%/ 10 0	a	a x (%/100)	b	b x (%/100)	c	c x (%/100)	d	d x (%/100)
1.Seguridad	10	0.1	4	0.4	2	0.2	3	0.3	3	0.3
2. Facilidad de mantenimiento	15	0.15	4	0.6	2	0.3	3	0.45	3	0.45
3.Facilidad de operación	15	0.15	1	0.15	2	0.3	5	0.75	4	0.6
4.Higiene	5	0.05	3	0.15	3	0.15	3	0.15	4	0.2
5.Costos de inversión	20	0.2	3	0.6	3	0.6	2	0.4	2	0.4
6.Costos de mantenimiento	5	0.05	4	0.2	3	0.15	3	0.15	4	0.2
7.Facilidad de construcción	10	0.1	3	0.3	3	0.3	3	0.3	2	0.2
8.Tasa de alimentación	10	0.1	3	0.3	3	0.3	4	0.4	4	0.4
9.Vida útil	10	0.1	3	0.3	3	0.3	3	0.3	3	0.3
Puntaje total				3		2.6		3.2		3.05
Selección								X		

- c. Una tolva de alimentación con tornillo alimentador.
- d. Una tolva de alimentación con eje de paletas mezcladoras y tornillo alimentador.

3.2.4.2.2 Matriz morfológica del proceso de humidificación de la mezcla de las harinas

Criterios	%	%/100	a	a x (%/100)	b	b x (%/100)	c	c x (%/100)
1.Seguridad	10	0.1	5	0.5	3	0.3	4	0.4
2. Facilidad de mantenimiento	10	0.1	2	0.2	4	0.4	4	0.4
3.Facilidad de operación	10	0.1	1	0.1	4	0.4	4	0.4
4.Higiene	10	0.1	2	0.2	3	0.3	4	0.4
5.Costos de inversión	15	0.15	5	0.75	1	0.15	2	0.3
6.Costos de mantenimiento	10	0.1	3	0.3	3	0.3	4	0.4
7.Facilidad de construcción	15	0.15	5	0.75	1	0.15	3	0.45
8. Tasa de producción	15	0.15	1	0.15	4	0.6	4	0.6
9.Vida útil	5	0.05	2	0.1	3	0.15	3	0.15
Puntaje total				3.05		2.75		3.5
Selección								X

- a. De forma manual, añadiendo la cantidad de agua requerida a la mezcla de harinas, mientras vamos amasando hasta darle la consistencia deseada.
- b. Usando una máquina mezcladora de harinas.
- c. A través de una inyección de agua hacia el interior de la máquina mientras las harinas son procesadas y transportadas dentro de esta.

3.2.4.2.3 Matriz morfológica del proceso de calentamiento.

Criterios	%	%/100	a	a x (%/100)	b	b x (%/100)	c	c x (%/100)	d	d x (%/100)
1.Seguridad	10	0.1	5	0.5	5	0.5	2	0.2	3	0.3
2. Facilidad de mantenimiento	10	0.1	4	0.4	3	0.3	4	0.4	4	0.4
3.Facilidad de operación	10	0.1	4	0.4	4	0.4	2	0.2	4	0.4
4.Higiene	10	0.1	3	0.3	3	0.3	2	0.2	4	0.4
5.Costos de inversión	15	0.15	1	0.15	1	0.15	4	0.6	3	0.45
6.Costos de mantenimiento	10	0.1	1	0.1	3	0.3	4	0.4	4	0.4
7.Facilidad de construcción	15	0.15	1	0.15	1	0.15	3	0.45	4	0.6
8. Tasa de producción	15	0.15	5	0.75	3	0.45	3	0.45	2	0.3
9.Vida útil	5	0.05	3	0.15	3	0.15	3	0.15	3	0.15
Puntaje total				2.9		2.7		3.05		3.4
Selección										X

- a. Por la fricción producida dentro de una extrusora de un tornillo.
- b. Por la fricción producida dentro de una extrusora de doble tornillo.
- c. Calentamiento de la mezcla de harinas antes de introducirla al dispositivo o máquina (este método es conocido como autoclave).
- d. Resistencias eléctricas generadoras de calor alrededor del dispositivo o máquina.

3.2.4.2.4 Matriz morfológica del proceso de formación de los pelets

Criterios	%	%/100	a	a x (%/100)	b	b x (%/100)	c	c x (%/100)
1.Seguridad	10	0.1	4	0.4	4	0.4	4	0.4
2. Facilidad de mantenimiento	10	0.1	4	0.4	3	0.3	2	0.2
3.Facilidad de operación	10	0.1	4	0.4	3	0.3	3	0.3
4.Higiene	10	0.1	3	0.3	3	0.3	2	0.2
5.Costos de inversión	15	0.15	3	0.45	1	0.15	3	0.45
6.Costos de mantenimiento	10	0.1	3	0.3	3	0.3	2	0.2
7.Facilidad de construcción	15	0.15	4	0.6	1	0.15	3	0.45
8. Tasa de producción	15	0.15	4	0.6	4	0.6	3	0.45
9.Vida útil	5	0.05	3	0.15	3	0.15	2	0.1
Puntaje total				3.6		2.65		2.75
Selección				X				

- a. Máquina extrusora con un tornillo sin fin que genere la función de transporte y empuje.
- b. Máquina extrusora con doble tornillo sin fin que genere la función de transporte y empuje.
- c. Máquina extrusora con mecanismo de pistón que genere la misma función de transporte y empuje.

3.2.4.2.5 Matriz morfológica del proceso de corte de los pelets

Crterios	%	%/100	a	a x (%/100)	b	b x (%/100)	c	c x(%/100)
1.Seguridad	10	0.1	2	0.2	4	0.4	3	0.3
2. Facilidad de mantenimiento	10	0.1	4	0.4	4	0.4	5	0.5
3.Facilidad de operación	10	0.1	2	0.2	5	0.5	3	0.3
4.Higiene	10	0.1	3	0.3	4	0.4	3	0.3
5.Costos de inversión	15	0.15	4	0.60	3	0.45	5	0.75
6.Costos de mantenimiento	10	0.1	4	0.4	4	0.4	5	0.5
7.Facilidad de construcción	15	0.15	4	0.6	2	0.3	5	0.5
8. Tasa de producción	15	0.15	1	0.15	4	0.6	3	0.45
9.Vida útil	5	0.05	3	0.15	3	0.15	2	0.1
Puntaje total				3.00		3.6		3.7
Selección								X

- a. De forma manual, con el uso de alguna herramienta cortante (cuchillos, navajas, etc.).
- b. Con el uso de una cuchilla giratoria que corte los filamentos a medida que van saliendo.
- c. Aprovechando el hecho de que los filamentos son frágiles y al manipularlos se van cortando a la longitud deseada.

3.2.4.2.6 Matriz morfológica del proceso de secado de los pelets

Criterios	%	%/100	a	a x (%/100)	b	b x (%/100)
1.Seguridad	10	0.1	3	0.3	5	0.5
2. Facilidad de mantenimiento	10	0.1	3	0.3	4	0.4
3.Facilidad de operación	10	0.1	3	0.3	4	0.4
4.Higiene	10	0.1	3	0.3	3	0.3
5.Costos de inversión	15	0.15	2	0.3	4	0.6
6.Costos de mantenimiento	10	0.1	3	0.3	4	0.4
7.Facilidad de construcción	15	0.15	3	0.45	3	0.45
8. Tasa de producción	15	0.15	4	0.6	3	0.45
9.Vida útil	5	0.05	3	0.15	3	0.15
Puntaje total				3		3.65
Selección						X

- a. Diseñando un sistema que use un ventilador que produzca una corriente de aire que pase a través de una malla horizontal donde se encuentran los pelets.
- b. Distribuyendo los pelets sobre una superficie horizontal (suelo) dentro de un recinto techado (por ejemplo un galpón) y dejar que se enfríe durante el tiempo necesario a la temperatura del ambiente.

3.2.4.3 Análisis de los resultados obtenidos en la Fase de Decisión

Los resultados obtenidos para cada uno de los procesos en sus respectivas matrices morfológicas, arrojaron una máquina para la elaboración de alimentos para animales con las siguientes características generales:

- Para el **Proceso de alimentación** se decidió utilizar una tolva de alimentación con tornillo alimentador para regular la cantidad de mezcla de harinas que es introducida. Se optó por esta solución ya que se requiere asegurar una alimentación continua y constante de las harinas y, por gravedad se corre el riesgo de que la alimentación sea inconstante y que en algunos casos se tranque el sistema. Se puede decir que debido a lo rápido del proceso, las harinas no pierden, de forma considerable, su homogeneidad, por lo que no se hace tan necesario el uso de paletas mezcladoras dentro de la tolva.
- Para el **Proceso de humidificación de las harinas** se decidió llevarlo a cabo mediante la introducción de la mezcla seca de harinas a la carcasa de la máquina, donde son tomadas por el tornillo extrusor y humidificadas a través de una inyección de agua que ocurre cuando las harinas son transportadas por este mismo tornillo. El agua es inyectada mediante un orificio en la carcasa. Se tomó esta opción debido a la facilidad de operación que presenta, a pesar que resulta más costoso que preparar la masa manualmente. Por cierto, que introducir la masa preparada a la máquina, presenta complicaciones debido a que debe ser compactada para lograr entrar, algo que no ocurre con las harinas secas.
- Para el **Proceso de calentamiento** se decidió utilizar resistencias eléctricas generadoras de calor alrededor del dispositivo o máquina. Esta

decisión se toma conveniente ya que el calentamiento por fricción dentro de nuestra máquina resultará escaso debido a sus pequeñas dimensiones.

- Para el **Proceso de formación de los pelets** se optó porque nuestra máquina sea una extrusora con un tornillo sinfín que genere la función de transporte y empuje de la masa. Esto se debe a la facilidad de operación y que este proceso se puede combinar con los otros dos anteriores, para brindarle a la masa que se origina, las características necesarias para atravesar una matriz de orificios y convertirse en fideos que, posteriormente, serán rebanados a su salida por una cuchilla giratoria, dándoles la forma de pelets deseada.
- Para el **Proceso de corte de los pelets** se decidió aprovechar el hecho de que los filamentos al ser tan frágiles se reducen a la longitud deseada. Sin embargo vemos que la opción de utilizar una cuchilla giratoria que corte los filamentos o fideos a medida que van saliendo de la matriz, se presenta como una buena alternativa que pudiera ser desarrollada, pero que para nuestra situación implica mayor inversión de dinero y tiempo.
- Para el **Proceso de secado de los pelets** se decidió no crear un dispositivo adicional y que los pelets, recién formados, sean distribuidos sobre una superficie horizontal (suelo) dentro de un recinto techado (por ejemplo un galpón) y dejar que se enfríe durante el tiempo necesario a la temperatura del ambiente. Esto ahorraría el gasto que traería la construcción de otro dispositivo; además, a través de observaciones realizadas, pudimos percatar, que esta opción producía resultados satisfactorios.

3.2.5 Fase 5. Fase de especificación del diseño

Una vez que se ha elegido las soluciones al problema que se está resolviendo, inmediatamente se procede a especificar los atributos físicos y las características de funcionamiento de estas soluciones, con el detalle suficiente

para que las personas, respectivamente, encargadas de su aprobación, creación física, operación y mantenimiento, puedan entenderlas claramente.

Estas especificaciones serán expuestas en el siguiente capítulo, con una descripción detallada de cada uno de los procesos y mecanismos con sus respectivas componentes. Además, el siguiente capítulo denominado **Descripción del Equipo**, a parte de traer una explicación sobre la máquina, ésta es sustentada con la presencia de esquemas y dibujos que muestran su funcionamiento.

***CAPÍTULO IV.
DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO***

CAPÍTULO IV. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

A continuación, en la figura 4.1, se muestra un esquema de la máquina donde se muestra sus componentes de forma general:

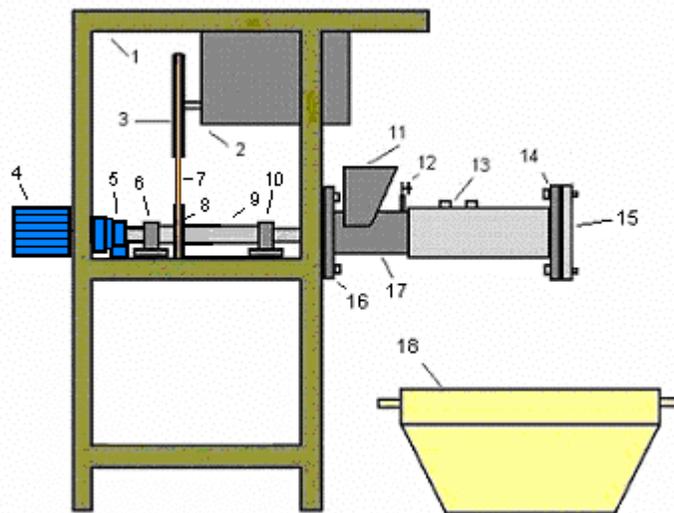


Fig. 4.1 Esquema general de la máquina.

1. Estructura o soporte
2. Tolva de alimentación
3. Polea del tornillo alimentador de la tolva
4. Motor
5. Caja reductora.
6. Chumacera
7. Correa tipo A
8. Polea 1 canal
9. Chumacera
10. Eje del tornillo extrusor.
11. Chumacera

12. Tolva receptora de la carcasa o cañón
13. Válvula de inyección de agua
14. Banda de resistencia eléctrica
15. Brida sujetadora de la matriz de orificios
16. Matriz de orificios
17. Brida sujetadora del cañón
18. Carcasa o cañón
19. Envase receptor del alimento.

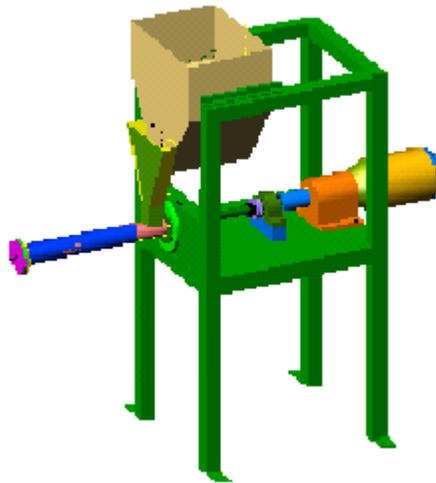


Fig. 4.2 Vista lateral de la máquina.

4.1 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS

La máquina tiene como objetivo principal la elaboración de alimento concentrado para animales. Este alimento deberá ser en forma de pelets, es decir, pequeños cilindros de 3 a 5 mm de diámetro y 5 a 15 mm de largo aproximadamente, pudiendo llegar a ser algo más grandes, ya que los animales consumidores para los cuales está destinado este alimento (cerdos, patos, pavos entre otros), toleran un tamaño de pelets mayor al señalado. Otra de las razones por las que se elabora este tipo de alimento es que el mismo permite su

almacenamiento por períodos más largos que las harinas, siendo más aprovechable.

La tarea de la máquina consistirá en transformar una mezcla de harinas, ya preestablecida, en alimentos en forma de pelets. Para ello, la máquina cumplirá con 5 procesos necesarios para la elaboración del alimento y que se relacionan de la manera siguiente: Un proceso previo o **proceso de alimentación** para introducir la cantidad requerida de harinas de forma continua. Después, un proceso principal o **proceso de formación de los pelets** donde las harinas son transportadas, comprimidas y obligadas a atravesar una matriz de orificios para convertirse en filamentos. Durante este proceso ocurren otros dos procesos como lo son el **proceso de humidificación de la mezcla de harinas** y el **proceso de calentamiento**. Por último, ocurre el **proceso de corte de los pelets**, donde se aprovecha la fragilidad de los filamentos para removerlos de forma manual y obtener el tamaño de los pelets.

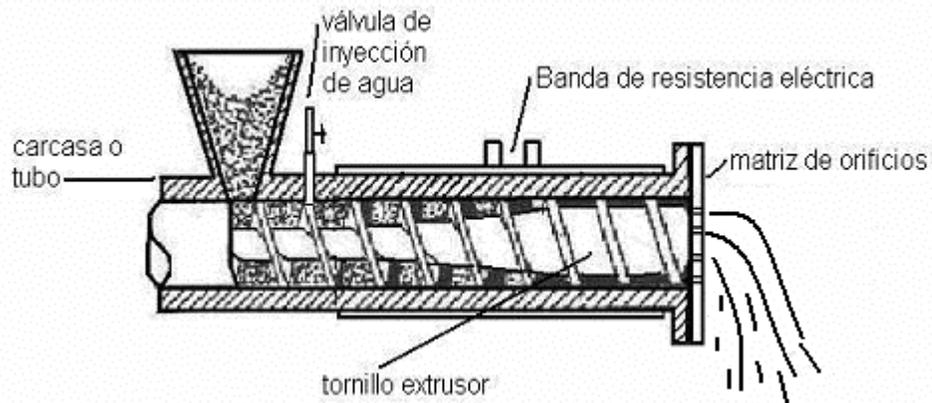


Fig. 4.3 Corte transversal del cañón.

4.2 PARTES DE LA MÁQUINA

Hemos dividido la máquina en 6 partes o sistemas de manera de poder identificar sus componentes y funciones. Estas partes son:

- 4.2.1 Sistema de alimentación (tolva)
- 4.2.2 Sistema de extrusión
- 4.2.3 Sistema hidráulico

- 4.2.4 Sistema de calentamiento
- 4.2.5 Estructura
- 4.2.6 Sistema de potencia y control.

4.2.1 Sistema de alimentación (Tolva)

Este proceso ocurre en una tolva de alimentación donde son colocadas las harinas. Esta tolva posee un tornillo alimentador, el cual gira debido a una transmisión de poleas. El tornillo envía por un orificio de la tolva, la cantidad necesaria de harinas y estas caen en una tolva más pequeña adherida al cañón, donde van al sistema de tornillo extrusor.

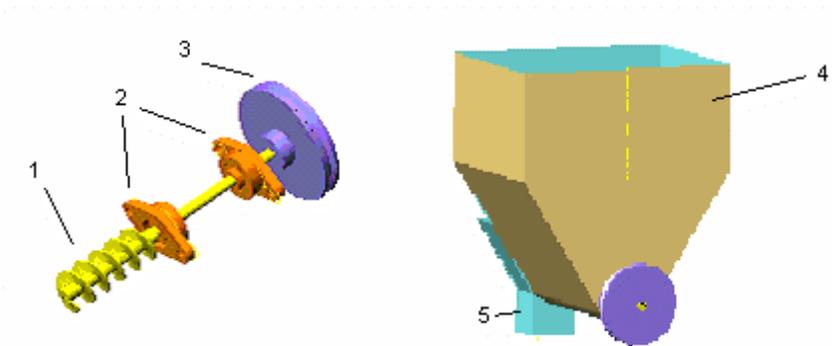


Fig. 4.4 Sistema de alimentación. 1.- Tornillo alimentador. 2.- Rodamientos. 3.- Polea. 4.- Tolva de alimentación. 5.- Tolva receptora del sistema extrusor.

4.2.2 Sistema de Extrusión

Este sistema es, básicamente, un sistema de tornillo extrusor. Una vez que las harinas son introducidas, estas son transportadas y comprimidas por un tornillo dentro de un tubo o carcasa (cañón), hasta llegar a una matriz de orificios por donde salen las harinas transformadas en fideos que luego serán cortados por una cuchilla giratoria. Mientras las harinas son transportadas reciben una inyección de agua, proveniente de un orificio en la carcasa y regulado por una válvula que introduce la cantidad requerida al interior del sistema, donde se va mezclando con las harinas obteniendo la consistencia deseada, este proceso interno es el denotado como el **proceso de humidificación de la mezcla de harinas**. Otro

proceso interno que se da en la carcasa es el **proceso de calentamiento**, este se origina por la fricción que ocurre durante el transporte y compresión de las harinas y; compensado, por un sistema de banda de resistencias eléctricas que envuelven la carcasa y generan una transferencia de calor al interior del tubo, permitiendo alcanzar una temperatura mínima de 70 ° C que es la requerida para eliminar los antinutrientes y permitir una recomendable cocción de la mezcla. Para hacer girar el tornillo extrusor se utiliza, básicamente, un motor y una caja reductora.

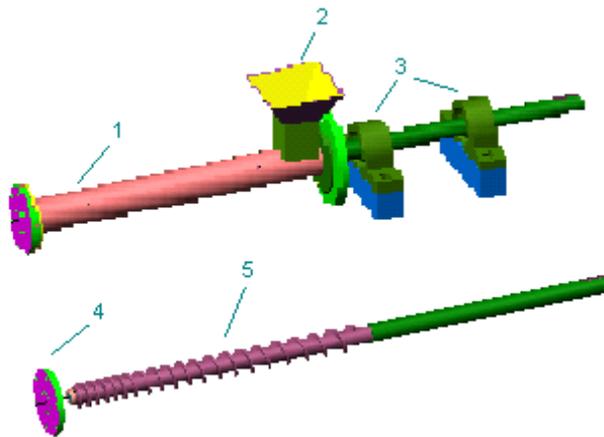


Fig 4.5 Sistema de Extrusión. 1.- Cañón. 2.- Tolva receptora. 3.- Chumaceras. 4.- Matriz. 5.- Tornillo Extrusor.

4.2.3 Sistema hidráulico

La humidificación de las harinas ocurre de la manera expuesta en el párrafo anterior. Ahora bien, para llevar a cabo esta tarea es necesario contar con un sistema de bombeo que permita la inyección de agua al interior de la máquina extrusora. Este sistema se muestra en el siguiente esquema:

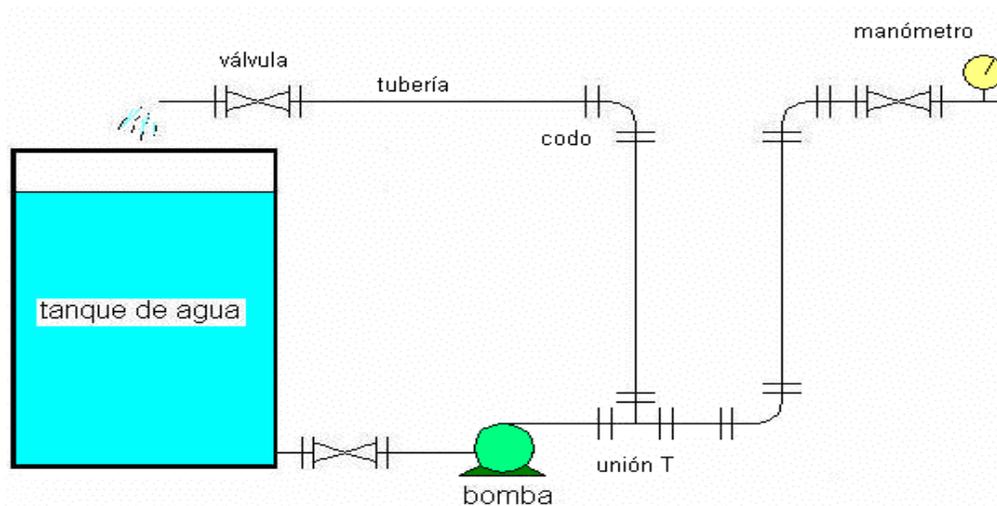


Fig. 4.6 Esquema del sistema de bombeo.

El esquema muestra un depósito de agua de donde se alimenta una bomba que envía el flujo a través de una tubería y controlado por una válvula. El manómetro indica la presión del agua en ese punto, esto quiere decir que podemos controlar el flujo de agua con la válvula, conociendo el respectivo valor de presión que este flujo conlleva. El excedente de agua que es suministrada por la bomba es devuelta al tanque. Es recomendable que el tanque este siempre lleno de agua, por lo que se sugiere llenarlo por vías externas para mantener el nivel dentro del tanque.

La razón por la que se sugiere construir este sistema, es que se debe asegurar la alimentación continua de agua durante la operación para evitar posibles daños en los componentes de la máquina, ya que una mezcla muy seca no sale por la matriz de orificios y la acumulación de mezcla dentro del tubo podría averiar al mecanismo. En general, se sugiere este sistema por una razón de seguridad.

4.2.4 Sistema de calentamiento

Como se explicó anteriormente este calentamiento se origina por fricción y por banda de resistencias eléctricas. Mientras las harinas son transportadas por el tornillo extrusor, estas van rozando con las paredes internas del tubo, generando

un aumento de temperatura de las harinas. Sin embargo para nuestro caso, este aumento de temperatura no es suficiente, por lo que fue necesario colocar un sistema de resistencias eléctricas de banda que permitan alcanzar la temperatura deseada. Estas resistencias se colocan en la superficie externa de la carcasa o cañón envolviéndose completamente. Este sistema cuenta con un dispositivo que permite regular la temperatura que se desea alcanzar (pirómetro).

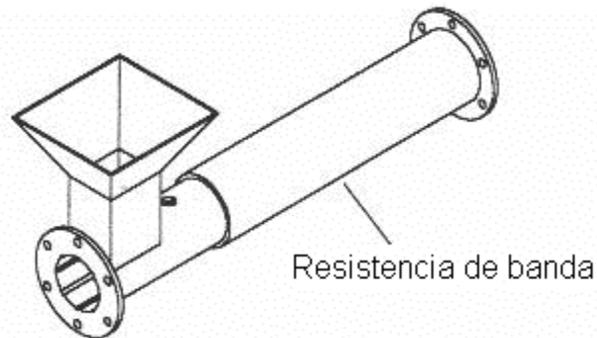


Fig. 4.7 Lugar de la resistencia de banda.

4.2.5 Estructura

La estructura viene a ser el soporte de todos los sistemas incluyendo sus componentes. Esta estructura estará básicamente conformada de ángulos, debidamente ensamblados. Sobre ella reposará la tolva, los motores, chumaceras e irá adherido el cañón.

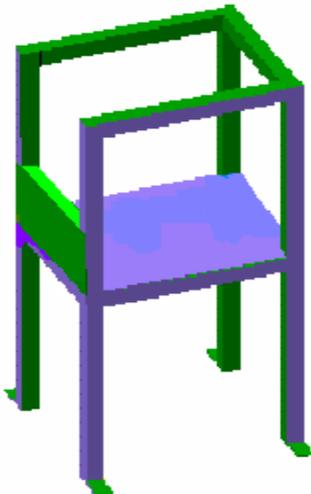


Fig. 4.8 Estructura.

4.2.6 Sistema de potencia y control

Este sistema permite al operador controlar las funciones de la máquina de manera sincronizada. Este sistema está representado, básicamente, por un tablero de control, el cual posee un conjunto de pulsadores de encendido y de parada para el control de los sistemas. Desde este tablero se puede controlar el encendido del motor y del sistema hidráulico. Además cuenta con un pulsador de parada en caso de emergencia.

4.3 MECANISMO IMPULSOR DEL SISTEMA EXTRUSOR-ALIMENTADOR.

La transmisión a partir del eje del motor se hace a través de una caja reductora con la que se reducen las rpm a 192 en el eje del tornillo extrusor. En este mismo eje existe montada una polea de 1 canal la cual se conecta a través de una correa a otra polea de 1 canal que se encuentra montada en el eje del tornillo alimentador, haciendo girar a este tornillo a las rpm necesarias para obtener la tasa de alimentación requerida en el proceso. El tamaño de las poleas se señala mas adelante en la descripción de las componentes de la máquina y su determinación se encuentra debidamente explicada en el capítulo V.

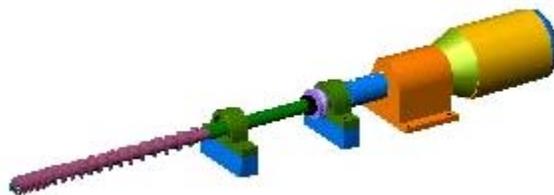


Fig. 4.9 Mecanismo impulsor del sistema extrusor-alimentador. 1.- Eje del tornillo extrusor. 2.- Chumaceras. 3.- Polea. 4.- Acople. 5.- Caja reductora. 6.- Motor.

4.4 DESCRIPCIÓN DE LAS COMPONENTES DE LA MÁQUINA.

A continuación detallaremos cada una de las partes de la máquina anteriormente nombradas, describiendo la materia prima que fue necesaria utilizar para la construcción de algunos de sus elementos (lámina de acero inoxidable) y los componentes o piezas ya elaboradas que fueron necesarias adquirir (motor, rodamientos, tornillos), indicando la aplicación de cada una de estas. La tabla siguiente muestra el código utilizado para cada una de las partes generales:

Cod.	DESCRIPCIÓN (PARTES)
1	<i>Sistema de alimentación (tolva)</i>
2	<i>Sistema de Extrusión</i>
3	<i>Sistema hidráulico</i>
4	<i>Sistema de calentamiento</i>
5	<i>Estructura</i>
6	<i>Sistema de potencia y control</i>

A continuación se presentan 2 tablas por cada una de las partes de la máquina. La primera indica la descripción de cada una de las componentes existentes en la parte (materia prima y/o piezas elaboradas). La segunda tabla indica la aplicación de cada una de las componentes existentes en la parte. Para ello es necesario utilizar los códigos señalados para ubicar la descripción con la correspondiente aplicación.

1) SISTEMA DE ALIMENTACIÓN (TOLVA).

Cod.	Cant.	DESCRIPCION (SISTEMA DE ALIMENTACIÓN)
1.1	1	Lámina de AISI 304 C.alibre20 y un área de 0.5 m ² aprox.
1.2	4	Tornillos de sujeción de la tolva
1.3	2	Chumaceras ovaladas D=19.05mm (3/4")
1.4	1	Barra de D= 19.05 mm (3/4"), L= 400 mm.
1.5	1	Tamiz de 0,12 m ²
1.6	1	Estopera
1.7	1	Polea D= 152.4 mm (6") de aluminio, tipo A de 1 canal.
1.8	1	Cuñero de 6.35 x 6.35 x 25.4 mm (1/4 x 1/4 x 1")
1.9	1	Dosificador
1.10	1	Correa tipo A, L= 965 mm (38")
1.11	1	Lámina de AISI 304, espesor 4 mm y un área de 8000 mm ² aprox.

Cod.	APLICACIÓN (SISTEMA DE ALIMENTACIÓN)
1.1	Para hacer la tolva
1.2	Sujeción de la tolva a la estructura
1.3	Apoyos del tornillo alimentador
1.4	Eje del tornillo alimentador
1.5	Malla de seguridad y coladora de material
1.6	Sellos para evitar de material
1.7	Transmisión de potencia al tornillo alimentador
1.8	Sujeción de poleas
1.9	Ventanilla reguladora de caudal
1.10	Transmisión de potencia al tornillo alimentador
1.11	Para hacer los filetes del tornillo

2) SISTEMA DE EXTRUSIÓN

Cod.	Cant.	DESCRIPCIÓN (SISTEMA DE EXTRUSIÓN)
2.1	1	Barra de acero inox. AISI 304 D= 31.75 mm (D= 1 1/4 "), L=1 m.
2.2	1	Tubo mecánico de 52 x 60 mm (L = 500 mm) Sch 80.
2.3	12	Tornillos de bridas (D = 8 mm)
2.4	1	Rodamiento blindado (12 x 28 x 8 mm)
2.5	2	Chumaceras de D = 31.75 mm (1 1/4")
2.6	1	Lámina de AISI 304, espesor 4 mm y un área de 45000 mm ² aprox.
2.7	1	Lámina de AISI 304, espesor 12 mm y un área de 8000 mm ² aprox.
2.8	1	Lámina de AISI 304, espesor 3 mm y un área de 24000 mm ² aprox.
2.9	1	Lámina de AISI 304, espesor 6 mm y un 16000 mm ² aprox.
2.10	2	Estoperas
2.11	2	Polea de D = 76.2 mm (3") tipo A de 1 canal
2.12	3	Cuñeros (Chavetas) de 7.94 x 7.94 x 38.1 mm (5/16 x 5/16 x 3/2")
2.13	1	Motorreductor 3 HP, 220 V, 1750/192 rpm (Rv=9.11)
2.14	4	Tornillos de sujeción del motor
2.15	4	Tornillos de sujeción de las chumaceras

Cod.	APLICACIÓN (SISTEMA DE EXTRUSIÓN)
2.1	Tornillo extrusor
2.2	Cañón o carcasa
2.3	Sujeción del cañón
2.4	Apoyo del eje en el extremo de la matriz
2.5	Apoyos del eje en el exterior del cañón
2.6	Para hacer los filetes del tornillo
2.7	Para hacer la matriz
2.8	Para hacer la tolva de entrada adherida al cañón
2.9	Para hacer las 2 bridas que van soldadas al cañón
2.10	Sellos, para evitar fugas de material y agua
2.11	Transmisión de potencia al tornillo alimentador
2.12	Sujeción de poleas
2.13	Suministra energía mecánica
2.14	Sujeción del motor a la estructura
2.15	Sujeción de las chumaceras a la estructura

3) SISTEMA HIDRÁULICO

Cod.	Cant.	DESCRIPCIÓN (SISTEMA HIDRÁULICO)
3.1	1	Tanque de agua 500 litros
3.2	1	Bomba de agua, potencia 0.25 HP, 110 V AC

3.3	1	Tubería hierro galvanizado D= 12.7 mm (1/2 pulg), L= 5 m
3.4	2	Válvulas de paso
3.5	1	Válvulas de globo (Dosificador)
3.6	1	Flotante del tanque de suministro de 12.7 mm (1/2")
3.7	1	Medidor de caudal
3.8	1	Filtro de agua
3.9	1	Inyector de agua de D= 12.7 mm (1/2")
3.10	1	Manguera de D= 12.7 mm (1/2")
3.11	3	Codos de D = 12.7 mm (1/2")
3.12	1	Tubería de T de D= 12.7 mm (1/2")
3.13	1	Boquilla de D= 12.7 mm (1/2")
3.14	4	Tornillos de sujeción de la bomba

Cod.	APLICACIÓN (SISTEMA HIDRÁULICO)
3.1	Almacena el agua que se usa en el proceso
3.2	Suministra el agua al tornillo de extrusor
3.3	Permite transportar el agua al extrusor
3.4	Permite la apertura y cierre total del suministro de agua
3.5	Regula la cantidad de agua a suministrar al extrusor
3.6	Controla el nivel máximo del tanque de alimentación
3.7	Mide el caudal
3.8	Elimina las impurezas presentes en el agua
3.9	Inyecta el agua uniformemente en el extrusor
3.10	Permite inyectar agua al extrusor
3.11	Accesorios de la tubería de suministro de agua
3.12	Tubería de suministro de agua
3.13	Tubería de descarga de agua del tanque de alimentación
3.14	Sujeción de la bomba

4)SISTEMA DE CALENTAMIENTO

Cod.	Cant.	DESCRIPCIÓN (SISTEMA DE CALENTAMIENTO)
4.1	7	Resist. De banda de 60 x 68 x 58 mm, potencia 300 W, bifásico 220 V
4.2	1	Sistema de control de temperatura (pirómetro)
4.3	1	Termocupla de D= 15.28 mm (5/8")

4.4	1	Contactador (accionamiento de resistencia)
4.5	1	Protección contra cortocircuito, sistema de control

Cod.	APLICACIÓN (SISTEMA DE CALENTAMIENTO)	
4.1	Suministra energía calórica al extrusor	
4.2	Controla y regula la temperatura del alimento procesado	
4.3	Mide la temperatura del alimento dentro del extrusor	
4.4	Acciona las resistencia banda, de 220 V.	
4.5	Protección del sistema de control de temperatura	

5) ESTRUCTURA

Cod.	Cant.	DESCRIPCIÓN (ESTRUCTURA)
5.1	1	Lámina soporte del cañón (e = 6.35 mm)
5.2	6	Tornillos de la lámina soporte del cañón D = 7.94 mm (5/16")
5.3	1	Tubod de 50.8 x 50.8 6.35 mm (2 x 2 x 1/4") L = 15 m aprox.
5.4	4	Anclajes (pletinas).
5.5	1	Sistema de protección de poleas y ejes.

Cod.	APLICACIÓN (ESTRUCTURA)
5.1	Une el cañón a la estructura
5.2	Une el cañón a la lámina
5.3	Para la construcción de la estructura
5.4	Fija la estructura a la base del piso
5.5	Protección al operador (sistema de seguridad)

6) SISTEMA DE POTENCIA Y CONTROL

Cod.	Cant.	DESCRIPCIÓN (SISTEMA DE POTENCIA Y CONTROL)
6.1	1	Contactador trifásico para motor de 3 HP
6.2	1	Relé térmico para el motor del 3 HP
6.3	1	Pulsador (Normalmente cerrado)
6.4	1	Pulsador (Normalmente abierto)
6.5	1	Pulsador parada de de emergencia
6.6	1	Interruptor para protección de motores
6.8	1	Indicador de nivel del tanque (eléctrico)
6.9	1	Luz piloto
6.9	1	Porta fusible Modular

Cod.	APLICACIÓN (SISTEMA DE POTENCIA Y CONTROL)
6.1	Arranque y parada del motor del extrusor
6.2	Protección de sobrecarga
6.3	Pulsadores de parada: mot. 3 Hp, bomba, mot. 0.25 Hp y Resist. de banda
6.4	Pulsadores de arranque: mot. 3 Hp, bomba, mot. 0.25 Hp y Resist. de banda
6.5	Apaga todo el sistema en casos de emergencia
6.6	Protección contra corto-circuitos
6.8	Para proteger el motor del extrusor y mecanismos
6.9	Indican cuando están activados cada uno de los sistemas.
6.9	Protección del sistema de control

CAPÍTULO V
CÁLCULOS DE LA MÁQUINA

CAPÍTULO V

CÁLCULOS DE LA MÁQUINA

5.1 CÁLCULOS DE LOS TORNILLOS DE ARQUIMEDES (tornillo extrusor y tornillo alimentador).

5.1.1 Cálculos de las rpm del tornillo extrusor

Para el cálculo de las rpm del tornillo extrusor debemos considerar la relación de velocidades de la caja reductora y las rpm del eje del motor. A continuación se presentan las variables que están presentes en este cálculo con su nomenclatura asignada:

R_{v1} : relación de velocidades

ω_1 : velocidad angular del eje del motor

ω_2 : velocidad angular del tornillo extrusor

Los datos necesarios para hallar las rpm del tornillo son:

$$\omega_1 = 1750 \text{ rpm}$$

$$R_{v1} = 9.1145$$

Con la siguiente ecuación, hallamos las rpm del tornillo extrusor:

$$\omega_2 = \frac{\omega_1}{R_{v1}} = \frac{1750}{9.1145} = 192 \text{ rpm}$$

5.1.2 Cálculo de la tasa de alimento transportado por el tornillo extrusor (flujo volumétrico y flujo másico).

Estos datos son necesarios para determinar la cantidad de alimento que es capaz de producir la máquina en un determinado tiempo. Además, a partir de estos cálculos, se pueden ajustar otras variables, como lo son las rpm de la cuchilla de corte para obtener el tamaño de pellets deseado entre otros. Las variables requeridas con su respectiva nomenclatura se presentan a continuación:

ϕ_M : diámetro mayor del tornillo extrusor

ϕ_m : diámetro menor del tornillo extrusor

C_1 : Factor de llenado

h_1 : altura del filete del tornillo extrusor

Pa : paso del tornillo extrusor

Q_1 : caudal de producción (flujo volumétrico)

ρ : densidad del producto procesado

m_1 = tasa de producción (flujo másico)

V_a = velocidad de avance

Con los datos de los diámetros del tornillo extrusor (mayor y menor), hallamos la altura del filete:

$$\phi_M = 0.049 \text{ m}$$

$$\phi_m = 0.028575 \text{ m } (1\frac{1}{8} \text{ in})$$

$$h_1 = \frac{\phi_M - \phi_m}{2} = \frac{0.049 - 0.028575}{2} = 0.01025 \text{ m}$$

Suposiciones:

- El interior del sistema de extrusión (cañón-tornillo) se llena de alimento a un promedio de la mitad de su capacidad ($C_1 = 0.5$).
- La densidad del alimento es de aproximadamente $\rho = 700 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$.
- Para efectos de cálculo el paso se supone constante $\left(Pa = 0.02 \frac{\text{m}}{\text{rev}} \right)$.

Tomando en cuenta las anteriores suposiciones y con las siguientes ecuaciones, calculamos el caudal de alimento producido (flujo volumétrico) y la tasa de producción (flujo másico) respectivamente:

$$Q_1 = \left(\pi \times C_1 \times Pa \times \omega_2 \times 60 \times \left(\frac{\phi_M^2 - \phi_m^2}{4} \right) \right)$$

$$Q_1 = \left(3.1416 \times 0.5 \times 0.02 \times 109.375 \times 60 \times \left(\frac{(0.049)^2 - (0.028575)^2}{4} \right) \right) = 0.1434 \frac{m^3}{h}$$

$$m_1 = \rho \times Q_1 = 700 \times 0.1434 = 100.4 \frac{Kg}{h}$$

La velocidad de avance del alimento, la calculamos de la siguiente manera:

$$V_a = \frac{Pa \times \omega_2}{60} = \frac{0.02 \times 192}{60} = 0.064 \frac{m}{s}$$

Si deseamos saber la tasa de producción diaria durante una jornada de 8 horas, entonces tenemos:

$$Tasa\ diaria = m_1 \times 8 = 100.351 \times 8 = 802.8 \frac{Kg}{día}$$

5.1.3 Cálculo de la tasa de harina transportada por el tornillo de la tolva (tornillo alimentador).

La tasa de harina transportada por el tornillo de la tolva equivale aproximadamente a la mitad de la determinada en el tornillo extrusor. Esto se debe a que la otra mitad vendría dada por el agua que se mezcla con la harina dentro del cañón. Para ajustar esta condición, la tolva contará con una compuerta que permita dosificar el volumen de harina que va saliendo de la misma, llevándola a la cantidad requerida. Las variables presentes con sus nomenclaturas son:

ω_3 : velocidad angular del tornillo de la tolva

Rv_2 : relación de velocidades entre los tornillos

ϕ_{M1} : diámetro mayor del tornillo de la tolva

ϕ_{m1} : diámetro menor del tornillo de la tolva

Q_2 : caudal de alimento (flujo volumétrico)

m_2 : tasa de alimento (flujo másico)

Los datos son los siguientes:

$$C_1 = 0.5$$

$$\phi_{M1} = 0.05 \text{ m}$$

$$\phi_{m1} = 0.019 \text{ m}$$

$$Pa = 0.025 \frac{\text{m}}{\text{rev}}$$

$$Rv_2 = 2$$

Hallamos las rpm del tornillo alimentador:

$$\omega_3 = \frac{\omega_2}{Rv_2} = \frac{192}{2} = 96 \text{ rpm}$$

Ahora calculamos, respectivamente el caudal y la tasa de alimento transportada por el tornillo alimentador:

$$Q_1 = \left(\pi \times C_1 \times Pa \times \omega_3 \times 60 \times \left(\frac{\phi_{M1}^2 - \phi_{m1}^2}{4} \right) \right)$$

$$Q_1 = \left(3.1416 \times 0.5 \times 0.025 \times 96 \times 60 \times \left(\frac{(0.05)^2 - (0.019)^2}{4} \right) \right) = 0.121 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$m_1 = \rho \times Q_1 = 700 \times 0.121 = 84.7 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

5.1.4 Cálculos de torques en el sistema extrusor-alimentador.

Estos cálculos serán de utilidad para determinar el acero que deba utilizarse para construir el eje del tornillo extrusor y del tornillo alimentador según su resistencia, además de determinar los diámetros mínimos que este eje pueda adoptar. Las variables necesarias para estos cálculos son las siguientes:

P_1 : Potencia del motor de tracción

T_1 : Torque del eje del motor

T_2 : Torque del tornillo extrusor

Rv_1 : relación de velocidades motor – tornillo extrusor

Datos:

$$P_1 = 2.237 \times 10^3 \text{ W (3 Hp)}$$

$$Rv_1 = 9.1145$$

Con las siguientes ecuaciones, hallamos el torque en el eje del motor y el torque en el tornillo extrusor respectivamente:

$$T_1 = \frac{P_1 \times 60}{\omega_1 \times 2\pi} = \frac{2.237 \times 10^3 \times 60}{1750 \times 2 \times 3.1416} = 12.21 \text{ N} \times m$$

$$T_2 = T_1 \times Rv_1 = 12.2056 \times 9.1145 = 111.25 \text{ N} \times m$$

Supongamos que del total de la potencia transmitida por el motor, 149.12 W (0.2 Hp) son tomados para mover el tornillo alimentador, por lo que el torque producido en la polea que se encuentra en el tornillo extrusor y que transmite potencia al tornillo alimentador es igual a:

$$T_3 = \frac{P_3 \times 60}{\omega_2 \times 2\pi} = \frac{149.12 \times 60}{192 \times 2 \times 3.1416} = 7.42 \text{ N} \times m$$

El torque existente en el eje del tornillo alimentador es:

$$T_4 = T_3 \times Rv_2 = 7.42 \times 2 = 14.84 \text{ N} \times m$$

5.1.5 Cálculo de la fuerza que actúa entre el eje del tornillo extrusor y el eje del tornillo alimentador, debido a la transmisión de potencia a la tolva

El cálculo de esta fuerza es importante porque es necesaria para determinar las reacciones que se producen en el tornillo extrusor y en el tornillo alimentador. Para ello calculamos la fuerza neta de impulso F_{n1} :

ϕ_{polea1} = polea en el eje del tornillo extrusor.

Dato adicional:

$$\phi_{polea1} = 0.1016 \text{ m (3 in)}$$

$$F_{n1} = \frac{T_3}{\frac{\phi_{polea1}}{2}} = \frac{7.42}{\frac{0.0762}{2}} = 194.8 \text{ N}$$

ϕ_{polea1} = polea en el eje del tornillo extrusor.

Con la siguiente ecuación hallamos la fuerza de flexión F_{b1} , que es la fuerza que deseamos encontrar:

$$F_{b1} = 1.5 \times F_{n1} = 1.5 \times 194.8 = 292.2 \text{ N}$$

5.1.6 Cálculo del eje del tornillo extrusor

5.1.6.1 Cálculo de las reacciones en el eje del tornillo extrusor

El eje del tornillo extrusor está sometido a un momento torsor proveniente del acople con la caja reductora. Además, descansa sobre tres apoyos, de los cuales dos de ellos, son dos chumaceras y el otro es un rodamiento blindado ubicado en el extremo del tornillo donde acopla con la matriz. También existe una fuerza F_{b1} generada por la polea que transmite potencia al tornillo alimentador, calculada anteriormente. Estos tres apoyos generan tres reacciones en los puntos donde están ubicadas y clasificando al sistema como hiperestático. Para calcular estas reacciones se procede a utilizar un método matemático conocido como método de superposición y que permite determinar el valor de las reacciones. Para nuestro caso, este método se aplica de la siguiente manera:

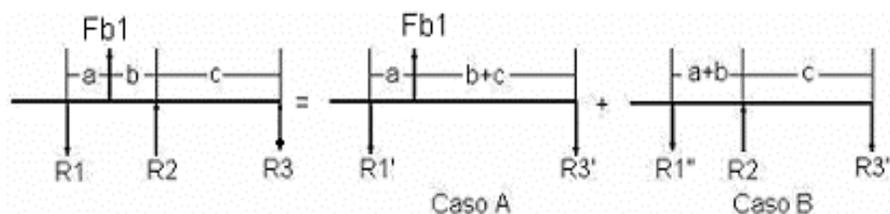


Fig. 5.1 Método de superposición.

La fig. 5.1 muestra las reacciones en un plano XY, tal cual ocurren en el eje del tornillo y la iguala a la suma de dos posibles casos. La idea del método es plantear para cada caso, la ecuación de deflexión del eje (flecha). Una vez obtenidas las dos ecuaciones, evaluar cada ecuación para un mismo punto. El punto a elegir sería donde ocurre la reacción R_2 , es decir la distancia $a+b$, ya que es la incógnita que nos interesa. Luego se igualan ambas ecuaciones y se calcula R_2 . Después de obtener R_2 , nos vamos al estado inicial y hallamos las otras dos reacciones con las ecuaciones de sumatorias de fuerza y momento.

Caso A

Sumatorias de fuerzas en Y:

$$R'_1 + R'_3 = F_{b1}$$

Momento en R_3 :

$$M_{R3} = 0$$

$$- R'_1(L) + F_{b1}(b + c) = 0$$

$$R'_1 = \frac{b + c}{L} F_{b1}$$

donde $L = a + b + c$

Corte 1, Caso A:

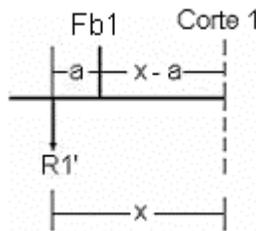


Fig. 5.2 Corte 1, Caso A

Hallamos la ecuación de momento para el corte 1:

$$- R'_1 x + F_{b1}(x - a) = M \quad (a)$$

Aplicamos el método de la segunda derivada para determinar la ecuación de la flecha:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = - \frac{M}{EI} \quad (b)$$

M: momento

E: modulo de elasticidad

I: momento de inercia.

Para efecto de simplificar los cálculos suponemos el momento de inercia constante a lo largo de la longitud del eje. Esto también se hace posible debido a que los cambios de sección transversal son muy pequeños y, por ende, el momento de inercia no se ve considerablemente afectado. Sustituyendo la ecuación (a) en (b) tenemos:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{R_1' - F_{b1}}{EI} x + \frac{aF_{b1}}{EI}$$

Integramos:

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{R_1' - F_{b1}}{EI} \cdot \frac{x^2}{2} + \frac{aF_{b1}}{EI} x + C_1$$

Volvemos a integrar:

$$y_A = \frac{R_1' - F_{b1}}{EI} \cdot \frac{x^3}{6} + \frac{aF_{b1}}{EI} \cdot \frac{x^2}{2} + C_1 x + C_2 \quad (c)$$

Condiciones de borde:

Condición de borde 1 (C.B.1):

$$x = 0 \quad y = 0$$

Condición de borde 2 (C.B.2):

$$x = L \quad y = 0$$

Aplicando C.B.1 en la ecuación (c) tenemos $C_2=0$.

Aplicando C.B.2 en la ecuación (c) tenemos:

$$C_1 = -\frac{R_1' - F_{b1}}{EI} \cdot \frac{L^2}{6} - \frac{aF_{b1}}{EI} \cdot \frac{L}{2} \quad (d)$$

Sustituyendo (d) en (c) tenemos:

$$y_A = \frac{R_1' - F_{b1}}{EI} \cdot \frac{x^3}{6} + \frac{aF_{b1}}{EI} \cdot \frac{x^2}{2} - \frac{R_1' - F_{b1}}{EI} \cdot \frac{L^2}{6} x - \frac{aF_{b1}}{EI} \cdot \frac{L}{2} x$$

Simplificando:

$$y_A = -\frac{aF_{b1}}{6LEI}x^3 + \frac{aF_{b1}}{2EI}x^2 - \frac{aF_{b1}L}{3EI}x$$

Caso B

Sumatorias de fuerzas en Y:

$$R_1'' + R_3'' = R_2$$

Momento en R₃:

$$M_{R3} = 0$$

$$-R_1''L + R_2c = 0$$

$$R_1'' = \frac{c}{L}R_2$$

Corte 2, Caso B:

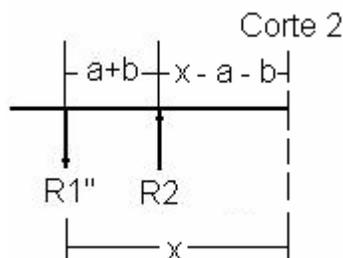


Fig. 5.3 Corte 2, Caso B.

Hallamos la ecuación de momento para el corte 2:

$$-R_1''x + R_2(x - a - b) = M \quad (a')$$

Aplicamos el método de la segunda derivada para determinar la ecuación de la flecha:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = -\frac{M}{EI} \quad (b')$$

Sustituyendo la ecuación (a) en (b) tenemos:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{R_1'' - R_2}{EI} x + \frac{R_2(a+b)}{EI}$$

Integramos:

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{R_1'' - R_2}{EI} \cdot \frac{x^2}{2} + \frac{R_2(a+b)}{EI} x + C_1$$

Volvemos a integrar:

$$y_B = \frac{R_1'' - R_2}{EI} \cdot \frac{x^3}{6} + \frac{R_2(a+b)}{EI} \cdot \frac{x^2}{2} + C_1 x + C_2 \quad (c')$$

Condiciones de borde:

Condición de borde 1 (C.B.1):

$$x = 0 \quad y = 0$$

Condición de borde 2 (C.B.2):

$$x = L \quad y = 0$$

Aplicando C.B.1 en la ecuación (c') tenemos $C_2=0$.

Aplicando C.B.2 en la ecuación (c') tenemos:

$$C_1 = \frac{R_2 - R_1''}{EI} \cdot \frac{L^2}{6} - \frac{R_2(a+b)}{EI} \cdot \frac{L}{2} \quad (d')$$

Sustituyendo (d') en (c') tenemos:

$$y_B = \frac{R_1'' - R_2}{EI} \cdot \frac{x^3}{6} + \frac{R_2(a+b)}{EI} \cdot \frac{x^2}{2} + \frac{R_2 - R_1''}{EI} \cdot \frac{L^2}{6} - \frac{R_2(a+b)}{EI} \cdot \frac{L}{2}$$

Simplificando:

$$y_B = -\frac{(a+b)R_2}{6LEI} x^3 + \frac{(a+b)R_2}{2EI} x^2 - \frac{(a+b)R_2 L}{3EI} x$$

Una vez obtenidas las ecuaciones de deflexión para cada caso, evaluamos a cada una para el mismo punto y luego las igualamos:

Para el caso A, evaluamos en a+b y obtenemos:

$$y_{A(a+b)} = -\frac{aF_{b1}(a+b)^3}{6LEI} + \frac{aF_{b1}(a+b)^2}{2EI} - \frac{aF_{b1}L(a+b)}{3EI}$$

Para el caso B, evaluamos en a+b y obtenemos:

$$y_{B(a+b)} = -\frac{(a+b)^4 R_2}{6LEI} + \frac{(a+b)^3 R_2}{2EI} - \frac{(a+b)^2 R_2 L}{3EI}$$

Ahora igualamos:

$$y_{A(a+b)} = y_{B(a+b)}$$

$$-\frac{aF_{b1}(a+b)^3}{6LEI} + \frac{aF_{b1}(a+b)^2}{2EI} - \frac{aF_{b1}L(a+b)}{3EI} = -\frac{(a+b)^4 R_2}{6LEI} + \frac{(a+b)^3 R_2}{2EI} - \frac{(a+b)^2 R_2 L}{3EI}$$

Despejamos R₂:

$$R_2 = \frac{-\frac{a(a+b)^3}{6L} + \frac{a(a+b)^2}{2} - \frac{aL(a+b)}{3}}{-\frac{(a+b)^4}{6L} + \frac{(a+b)^3}{2} - \frac{(a+b)^2 L}{3}} F_{b1}$$

Con la ecuación anterior y haciendo uso de los datos del problema, procedemos a hallar el valor de la reacción R₂:

$$F_{b1} = 292.2 \text{ N}$$

$$a = 0.2 \text{ m.}$$

$$b = 0.2 \text{ m.}$$

$$c = 0.5 \text{ m.}$$

$$L = a + b + c = 0.9 \text{ m.}$$

$$R_2 = \frac{-\frac{0.2(0.2+0.2)^3}{6(0.9)} + \frac{0.2(0.2+0.2)^2}{2} - \frac{0.2(0.9)(0.2+0.2)}{3}}{-\frac{(0.2+0.2)^4}{6(0.9)} + \frac{(0.2+0.2)^3}{2} - \frac{(0.2+0.2)^2(0.9)}{3}} 292.2 = -40.26 \text{ N}$$

El signo negativo indica que la reacción se produce en sentido contrario a la supuesta, es decir, las reacciones quedarían de la siguiente forma:

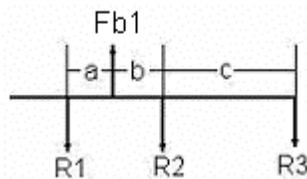


Fig. 5.4 Reacciones en el tornillo extrusor.

Aplicamos momento en R₃ y despejamos R₁:

$$M_{R3} = 0$$

$$R_1 = \frac{(b+c)F_{b1} - R_2c}{L} = \frac{(0.2+0.5)292.2 - 40.26(0.5)}{0.9} = 204.8 \text{ N}$$

Hacemos sumatorias de fuerzas en y, despejamos R₃:

$$R_3 = F_{b1} - R_1 - R_2 = 292.2 - 204.8 - 40.26 = 47.04 \text{ N}$$

5.1.6.2 Cálculo de los diámetros mínimos posibles en el eje del tornillo extrusor

Para determinar los diámetros mínimos que puede tener el eje del tornillo extrusor en cada una de sus secciones críticas, es decir, aquellos puntos donde el eje puede estar sometido a fuerzas, momentos flectores y torsores, procederemos a hacerlo siguiendo el método que se presenta a continuación.

5.1.6.2.1 Diagramas de fuerza de corte, momento flector y momento torsor.

A continuación presentamos los diagramas resultantes de fuerza de corte, momento flector y momento torsor en el eje del tornillo extrusor.

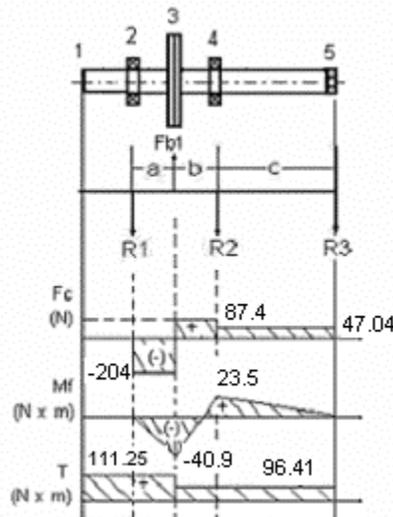


Fig. 5.5 Diagramas de fuerza de corte, momento flector y momento torsor en el eje del tornillo extrusor.

5.1.6.2.2 Selección del material (acero inoxidable). Cálculo de la tensión por durabilidad.

Elegimos el material (acero inoxidable AISI 304) en el que será maquinado el eje del tornillo extrusor y calculamos los diámetros mínimos que puede tener este eje. Se selecciona un acero inoxidable debido a que este tendrá contacto directo con el alimento y esta establecido en las normas alimenticias.

Datos del acero inoxidable AISI 304:

$$S_y = 241 \text{ MPa} \quad (35 \text{ kpsi})$$

$$S_u = 586 \text{ MPa} \quad (85 \text{ kpsi})$$

Con la fig. 5.6 calculamos S_n :

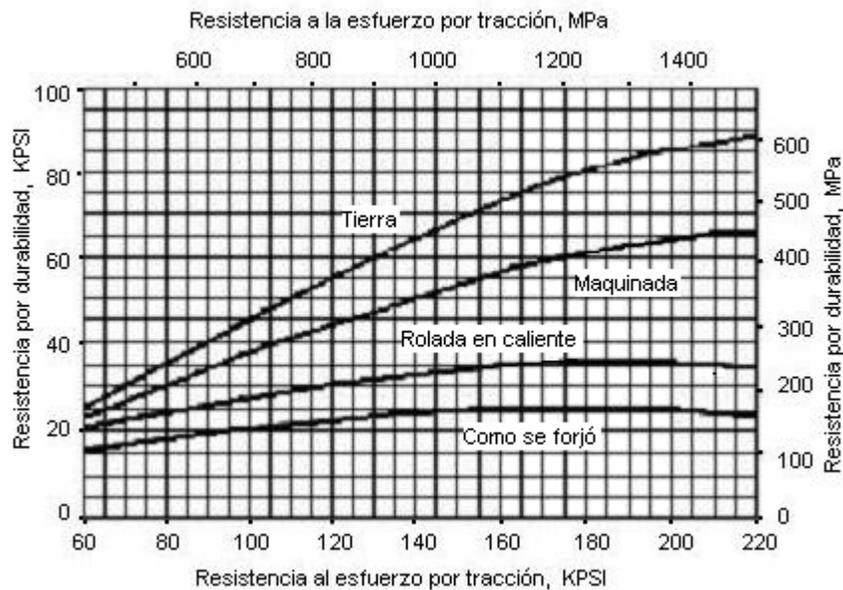


Fig. 5.6 Tensión por durabilidad contra resistencia al esfuerzo por tracción para acero forjado para varias condiciones superficiales.

$$S_n = 225 \text{ MPa}$$

Con la fig. 5.7 hallamos el factor de tamaño C_s :

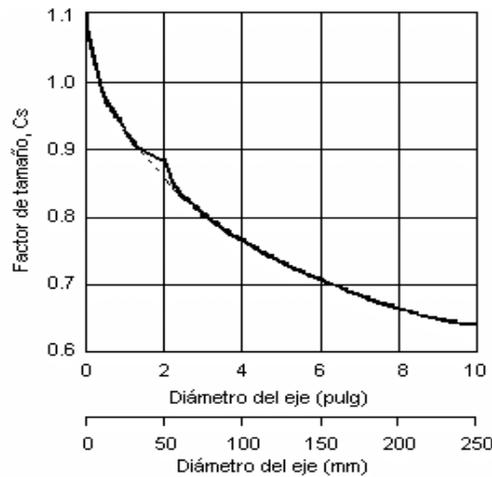


Fig. 5.7 Factor de tamaño para diseño de ejes.

El eje podría oscilar alrededor de 30 mm aproximadamente. $C_s = 0.9$.
Tomamos un factor de confiabilidad de la tabla 5.1

Confiabilidad que se desea	Factor de confiabilidad, C_R
0.50	1.00
0.90	0.90
0.99	0.81
0.999	0.75

Tab. 5.1 Factor de confiabilidad para diseño de ejes.

Elegimos una confiabilidad de 0.99, por ende $C_R = 0.81$

Ahora calculamos $S_n' = S_n C_s C_R = 225 \times 0.9 \times 0.81 = 164.025 \text{ MPa}$

5.1.6.2.3 Cálculo de los diámetros mínimos en las secciones críticas.

Estos cálculos se realizan en los puntos donde el eje está sometido a alguna mayor tensión, momento o torsión. Estos puntos, por lo general, son

aquellos donde existe una transmisión de potencia, apoyos, acoples, cambios de sección, etc. Para el eje del tornillo extrusor estos puntos son:

- Punto 1: acople con la caja reductora. Transmisión de potencia.
- Punto 2: Chumacera. Apoyo del eje.
- Punto 3: Polea. Transmisión de potencia al tornillo alimentador.
- Punto 4: Chumacera. Apoyo del eje.
- Punto 5: Rodamiento blindado. Apoyo del eje, extremo terminal del tornillo.

Calculamos el diámetro en el punto 1:

Elegimos un factor de diseño $N = 3$.

$$\tau_d = \frac{0.577 \times S_y}{N} = \frac{0.577 \times 241 \times 10^6}{3} = 46352333 \text{ Pa}$$

$$Z_p = \frac{T}{\tau_d} = \frac{111.249}{46352333} = 2.40007 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$D_1 = \sqrt[3]{\frac{16 \times Z_p}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{16 \times 2.40007 \times 10^{-6}}{3.1416}} = 0.02303 \text{ m}$$

Calculamos los diámetros para vida infinita en las chumaceras y en la polea con la siguiente ecuación:

$$D = \left[\frac{32 \times N}{\pi} \sqrt{\left(\frac{K_t \times M}{S_n'} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$K_t = 1.5$ (chaflanes de bordes bien redondeados)

$K_t = 2.5$ (Chaflanes de bordes cortantes)

$$D_2 = \left[\frac{32 \times 3}{3.1416} \sqrt{\left(\frac{2.5 \times 0}{164.025 \times 10^6} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{111.25}{241 \times 10^6} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} = 0.02303 \text{ m}$$

$$D_3 = \left[\frac{32 \times 3}{3.1416} \sqrt{\left(\frac{2.5 \times 40.9}{164.025 \times 10^6} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{111.25}{241 \times 10^6} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} = 0.02828 \text{ m}$$

$$D_4 = \left[\frac{32 \times 3}{3.1416} \sqrt{\left(\frac{2.5 \times 23.5}{164.025 \times 10^6} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{103.8}{241 \times 10^6} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} = 0.02478 \text{ m}$$

Calculamos el diámetro mínimo en el rodamiento blindado con la siguiente ecuación:

$$D_5 = \sqrt{\frac{16R_3}{3\pi\tau_d}} = \sqrt{\frac{16 \times 40.26}{3 \times 3.1416 \times 46352333}} = 0.001214 \text{ m}$$

5.1.7 Cálculo del eje del tornillo alimentador

5.1.7.1 Cálculo de las reacciones en el eje del tornillo alimentador

El eje del tornillo alimentador está sometido a un momento torsor proveniente de la transmisión de potencia a través de la polea. Además, descansa sobre dos apoyos, los cuales son dos cojinetes provistos de pestaña reborde. Estos dos apoyos generan dos reacciones en los puntos donde están ubicados y clasifica al sistema como estático, donde el valor de las reacciones se determina directamente con las ecuaciones de sumatoria de fuerzas y momento flector. Para nuestro caso, este método se aplica de la siguiente manera:

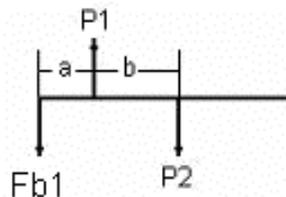


Fig. 5.8 Reacciones en el eje del tornillo alimentador.

Datos:

$$a = 0.08 \text{ m}$$

$$b = 0.1 \text{ m}$$

$$L = a + b = 0.1 + 0.08 = 0.18 \text{ m}$$

$$F_{b1} = 292.2 \text{ N}$$

Aplicamos momento en P_2 y despejamos P_1 :

$$M_{P_2} = 0$$

$$P_1 = \frac{L}{b} F_{b1} = \frac{0.18}{0.1} 292.2 = 525.8 \text{ N}$$

Hacemos sumatorias de fuerzas en y , despejamos P_2 :

$$P_2 = P_1 - F_{b1} = 525.8 - 292.2 = 233.6 \text{ N}$$

5.1.7.2 Cálculo de los diámetros mínimos posibles en el eje del tornillo alimentador

Para determinar los diámetros mínimos que puede tener el eje del tornillo alimentador en cada una de sus secciones críticas, es decir, aquellos puntos donde el eje puede estar sometido a fuerzas, momentos flectores y torsores, procederemos a hacerlo siguiendo el método que se presenta a continuación.

5.1.7.2.1 Diagramas de fuerza de corte, momento flector y momento torsor.

A continuación presentamos los diagramas resultantes de fuerza de corte, momento flector y momento torsor en el eje del tornillo alimentador.

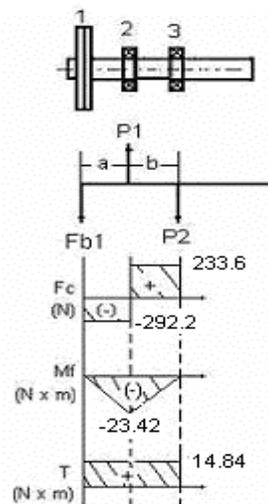


Fig. 5.9 Diagramas de fuerza de corte, momento flector y momento torsor en el eje del tornillo alimentador.

5.1.7.2.2 Selección del material (acero inoxidable). Cálculo de la tensión por durabilidad.

Al igual que en el caso anterior, elegimos el material (acero inoxidable AISI 304) en el que será maquinado el eje del tornillo alimentador y calculamos los diámetros mínimos que puede tener este eje. Por lo tanto:

$$S_n' = 164.025 \text{ MPa}$$

5.1.7.2.3 Cálculo de los diámetros mínimos en las secciones críticas.

Para el eje del tornillo alimentador los puntos o secciones a considerar son:

- Punto 1: Polea. Transmisión de potencia.
- Punto 2: Cojinete provisto de pestaña reborde. Apoyo del eje.
- Punto 3: Cojinete provisto de pestaña reborde. Apoyo del eje.

Calculamos el diámetro en el punto 1:

Elegimos un factor de diseño $N = 3$.

$$\tau_d = \frac{0.577 \times S_y}{N} = \frac{0.577 \times 241 \times 10^6}{3} = 46352333 \text{ Pa}$$

$$Z_p = \frac{T}{\tau_d} = \frac{14.84}{46352333} = 3.20008 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$D_1 = \sqrt[3]{\frac{16 \times Z_p}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{16 \times 3.20008 \times 10^{-7}}{3.1416}} = 0.01176 \text{ m}$$

Calculamos los diámetros para vida infinita en los cojinetes con la siguiente ecuación:

$$D = \left[\frac{32 \times N}{\pi} \sqrt{\left(\frac{K_t \times M}{S_n'} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_2 = \left[\frac{32 \times 3}{3.1416} \sqrt{\left(\frac{2.5 \times 23.42}{164.025 \times 10^6} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{14.84}{241 \times 10^6} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} = 0.0222 \text{ m}$$

$$D_3 = \left[\frac{32 \times 3}{3.1416} \sqrt{\left(\frac{2.5 \times 0}{164.025 \times 10^6} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{14.84}{241 \times 10^6} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} = 0.0222 \text{ m}$$

5.2 CÁLCULO DE LA FRECUENCIA DE RESONANCIA.

Este cálculo consiste en determinar la velocidad angular a la cual no debería funcionar un eje ya que en ella se produce la mayor resonancia, lo que significa conocer las rpm a las que el eje no debe andar. Para calcular este valor es necesario conocer la curva de deflexión del eje para poder determinar el valor de la flecha (y) en sus puntos críticos, es decir, donde existen fuerzas, reacciones, etc. Luego, con estos datos y aplicando el método o ecuación de Rayleigh se halla el valor de la velocidad angular.

5.2.1 Determinación de la curva de deflexión para el eje del tornillo extrusor.

Para determinar la curva de deflexión, utilizaremos el método de la segunda derivada (el cual fue utilizado anteriormente para determinar las reacciones en el sistema hiperestático del eje del tornillo extrusor). Calcularemos la deflexión existente entre las chumaceras.

Como se muestra en la fig. 5.10, Se toma un punto x del eje y se procede a aplicar la ecuación de momento a partir de este punto (Corte 3).

Corte 3:

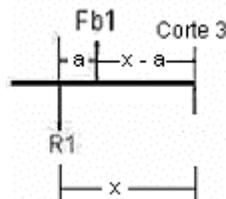


Fig. 5.10 Corte 3. Aplicación para la ecuación de momento.

Hallamos la ecuación de momento para el corte 3:

$$-R_1 x + F_{b1}(x - a) = M \quad (a)$$

Aplicamos el método de la segunda derivada para determinar la ecuación de la flecha:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = -\frac{M}{EI} \quad (b)$$

M: momento

E: modulo de elasticidad

I: momento de inercia.

Sustituyendo la ecuación (a) en (b) y simplificando tenemos:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{R_1 - F_{b1}}{EI} x + \frac{aF_{b1}}{EI} \quad (c)$$

Donde:

E = 190 GPa

$$I_1 = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot (0.03175)^4}{64} = 4.998 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

Sustituimos los valores en la ecuación c:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{204.8 - 292.2}{190 \times 10^9 (4.998 \times 10^{-8})} x + \frac{0.2(292.2)}{190 \times 10^9 (4.998 \times 10^{-8})} = -(0.0092)x + (0.006)$$

Integramos:

$$\frac{\partial y}{\partial x} = -0.0092 \frac{x^2}{2} + 0.006x + C_1$$

Volvemos a integrar:

$$y = -0.0092 \frac{x^3}{6} + 0.006 \frac{x^2}{2} + C_1 x + C_2 \quad (d)$$

Condiciones de borde:

Condición de borde 1 (C.B.1):

$$x = 0 \quad y = 0$$

Condición de borde 2 (C.B.2):

$$x = L \quad y = 0$$

Aplicando C.B.1 en la ecuación (d) tenemos $C_2=0$.

Aplicando C.B.2 en la ecuación (d) tenemos:

$$C_1 = 0.0092 \frac{L^2}{6} - 0.006 \frac{L}{2} \quad (e)$$

Sustituyendo (e) en (d) tenemos:

$$y = -0.0092 \frac{x^3}{6} + 0.006 \frac{x^2}{2} + 0.0092 \frac{(0.9)^2}{6} x - 0.006 \frac{0.9}{2} x$$

Simplificando:

$$y = -0.00153x^3 + 0.003x^2 - 0.001458x$$

5.2.2 Determinación de la frecuencia de resonancia. Método de Rayleigh.

El método de Rayleigh puede utilizarse para determinar la frecuencia fundamental (frecuencia de resonancia) de una viga o eje representado por una serie de masas concentradas. Como una primera aproximación, supondremos una curva estática de deflexiones, debida a las cargas. La energía de deformación almacenada en el eje se determina por medio del trabajo hecho por estas cargas y las energías máximas potencial y cinética serán:

$$U_{m\acute{a}x} = \frac{1}{2} (F_1 y_1 + F_2 y_2 + F_3 y_3 + \dots)$$

$$T_{m\acute{a}x} = \frac{1}{2g} \omega^2 (F_1 y_1^2 + F_2 y_2^2 + F_3 y_3^2 + \dots)$$

Igualando las dos se establece que:

$$\omega^2 = \frac{g \sum_i F_i y_i}{\sum_i F_i y_i^2}$$

5.2.2.1 Determinación de la frecuencia de resonancia en el eje del tornillo extrusor.

La ecuación de Rayleigh para el eje del tornillo extrusor queda de la siguiente manera:

$$\omega = \sqrt{g \frac{F_{b1}y_1 + R_2y_2}{F_{b1}y_1^2 + R_2y_2^2}}$$

Los valores de y_1 y y_2 correspondientes a las distancias a y $a+b$ respectivamente, se calcularon con la ecuación de deflexión del eje del tornillo extrusor, como se muestra a continuación:

$$y_1 = -0.00153(0.2)^3 + 0.003(0.2)^2 - 0.00146(0.2) = -0.000414 \text{ m}$$

$$y_2 = -0.00153(0.4)^3 + 0.003(0.4)^2 - 0.00146(0.4) = -0.0010622 \text{ m}$$

La velocidad angular es:

$$\omega = \sqrt{9.81 \frac{292.2(0.000414) - 40.26(0.001602)}{292.2(0.000414)^2 - 40.26(0.001602)^2}} = 405.87 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Esta velocidad expresada en rpm es:

$$n = \frac{\omega \times 60}{2\pi} = \frac{405.87 \times 60}{2 \times 3.1416} = 3876 \text{ rpm}$$

La lectura de este resultado es que a esta velocidad el eje no debe funcionar, por ello lo recomendable es que el eje funcione a rpm inferiores o superiores a este resultado.

5.3 CÁLCULO DE CORREAS

Para el cálculo de las correas se pretende determinar el número de correas que son necesarias utilizar para la transmisión de potencia para el caso del sistema de alimentación. Para ello deberá cumplirse con una serie de pasos como se muestran a continuación.

El primer paso consiste en determinar la longitud de la correa, la cual se determina con la siguiente ecuación:

$$L = 2C + 1.57(D_2 - D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4C}$$

Donde:

L: longitud de la correa

C: distancia entre los centros de las poleas

D₂: diámetro de la polea mayor

D₁: diámetro de la polea menor

Datos:

C = 0.2286 m (9 in)

D₂ = 0.1524 m (6 in)

D₁ = 0.0762 m (3 in)

Calculamos L:

$$L = 2(0.2286) + 1.57(0.1524 - 0.0762) + \frac{(0.1524 - 0.0762)^2}{4(0.2286)} = 0.5832 \text{ m (22.9 in)}$$

Calculamos la velocidad tangencial de la correa en pies por minutos para poder utilizar la tabla 5.3:

$$V = \pi \frac{D_1 \omega_2}{12} = 3.1416 \frac{3 \times 192}{12} = 150.8 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$$

Diámetro de la polea (in)	Velocidad de la correa, ft/min	
	1000	2000
2.6	0.47	0.62
3	0.66	1.01
3.4	0.81	1.31

Tab. 5.3 Potencias nominales en Hp de correas trapeciales tipo A estándares.

Con los valores del diámetro de la polea y con el valor de la velocidad tangencial de la banda entramos a la tabla 5.3 y determinamos la potencia nominal en Hp de

la correa. Es de hacer notar que para hallar nuestro valor fue necesario hacer una extrapolación. Por tanto nuestro resultado de la potencia nominal es $H' = 0.3627$ Hp (270.43 W). Este resultado debe corregirse por el ángulo de contacto y la longitud de correa. El ángulo de contacto se calcula con la siguiente ecuación:

$$\theta_d = \pi - 2 \cdot \text{sen}^{-1} \frac{D-d}{2C} = 3.1416 - 2 \cdot \text{sen}^{-1} \frac{0.0762 - 0.0762}{4 \times 0.2286} = 3.1416 \text{ rad} = 180^\circ$$

Por tanto el valor del factor de corrección K_1 al entrar a la figura 5.11 es de 0.99.

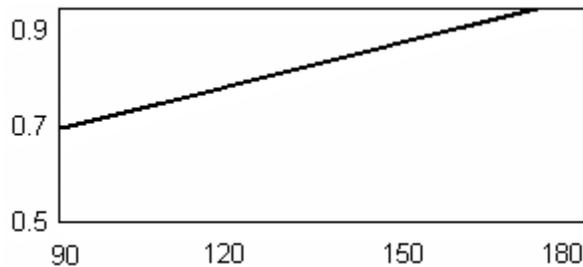


Fig. 5.11 Factor de corrección K_1 para el ángulo de contacto.

El factor de corrección por longitud de correa K_2 , según la tabla 5.4 es de 0.85

Factor de longitud	Longitud de correa
0.85	Hasta 35
0.90	38 - 46
0.95	48 - 55
1.00	60 - 75
1.05	78 - 90
1.10	96 - 112
1.15	120 o más

Tab. 5.4 Factor de corrección de longitud de correa K_2 , para correas tipo A.

En consecuencia la potencia corregida por correa es:

$$H = K_1 K_2 H' = 0.99 \times 0.85 \times 0.3627 = 0.3052 \text{ Hp (227.55 W)}$$

Haciendo uso de la potencia que se transmite en el sistema de alimentación $P_3 = 0.2$ Hp (149,12 W), calculamos el número de correas que se requiere para la transmisión de potencia:

$$NC = \frac{P_3}{H} = \frac{0.2}{0.3052} = 0.655 \text{ correas}$$

Por lo que podemos concluir que sólo se requiere una correa para la transmisión de potencia en el sistema de alimentación.

5.4 SELECCIÓN DE LOS RODAMIENTOS

5.4.1 Selección de los rodamientos en el eje del tornillo extrusor.

5.4.1.1 Selección de los rodamientos de pie (chumaceras).

Para seleccionar los dos rodamientos de pie (chumaceras), tomaremos como diámetro del eje 31.75 mm, es decir, 1 ¼ in. Tomaremos como referencia para la selección de estos rodamientos, el punto 2 del eje, donde obtuvimos la mayor carga radial. La carga radial, anteriormente calculada en el punto 2, fue $R_3 = 153.56$ N. Debido al empuje existente en el proceso de extrusión se genera una fuerza axial "T" en el tornillo. La carga axial promedio es de $T=80$ N la cual se determinó a partir de pruebas experimentales realizadas por nosotros. Las pruebas se realizaron en un sistema donde se colocó una masa (mezcla de harina y agua) dentro de un tubo cilíndrico provisto de una matriz de orificios en un extremo, en el extremo opuesto se colocó un pistón para aplicar una fuerza axial a la masa, se colocaron pesos determinados encima del pistón y se determinó el valor de la carga cuando la masa comienza a fluir a través de los orificios de la matriz.

5.4.1.1.1 Método a seguir para seleccionar el rodamiento.

La ecuación que calcula la carga equivalente que actúa sobre el cojinete es:

$$P = VXR + YT$$

P = carga equivalente

V = Factor de rotación

R = carga radial aplicada

T = carga de empuje aplicada

X = factor radial

Y = factor de empuje

Por ser la pista interna del rodamiento la que gira $V = 1$.

Suponemos un valor de Y a partir de la tabla 5.5 El valor de $Y = 1.55$ el cual resulta razonable, ya que está a la mitad de rangos posibles. El valor de $X = 0.56$ para cualquier valor de Y . Entonces tenemos:

$$P = VXR + YT = 1 \times 0,56 \times 153.56 + 1.55 \times 80 = 210 \text{ N.}$$

e	T/C _o	Y
0.19	0.01	2.30
0.22	0.03	1.99
0.26	0.06	1.71
0.28	0.08	1.55
0.30	0.110	1.45
0.34	0.170	1.31
0.38	0.280	1.15
0.42	0.420	1.04
0.44	0.560	1.00

Tab. 5.5 Factores radiales y de empuje para cojinetes de hilera única, ranura profunda.

Determinamos la vida útil del diseño en revoluciones.

$$t = 20000 \text{ h (tomado del anexo 10)}$$

$$n = 192 \text{ r.p.m.}$$

$$L_d = t \times n \times 60 = 20000 \times 192 \times 60 = 2.304 \times 10^8 \text{ rev.}$$

Determinamos la especificación básica de carga dinámica que se necesita:

$$C = P_d \left(\frac{L_d}{10^6} \right)^{\frac{1}{k}} = 210 \left(\frac{2.304 \times 10^8}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}} = 1287.3 \text{ N}$$

Seleccionamos un rodamiento potencial que tenga un valor de C cuando menos igual al valor que se requiere y un diámetro ajustado al del eje. En el anexo 7, elegimos al rodamiento YAR 206-104.

Datos del rodamiento YAR 206-104:

$$d = 0.03175 \text{ m (1 } \frac{1}{4} \text{ in).}$$

$$C_o = 11200 \text{ N.}$$

$$C = 15000 \text{ N.}$$

Calculamos T/C_o

$$\frac{T}{C_o} = \frac{80}{11200} = 0.00714 \approx 0.01$$

A partir de la tabla 5.5 determinamos $e = 0.19$ y $Y = 2.30$.

Recalculamos P con el nuevo valor de Y :

$$P = VXR + YT = 1 \times 0,56 \times 153.56 + 2.13 \times 80 = 256.4 \text{ N.}$$

Determinamos la nueva especificación básica de carga dinámica que se necesita:

$$C = P_d \left(\frac{L_d}{10^6} \right)^{\frac{1}{k}} = 256.4 \left(\frac{2.304 \times 10^8}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}} = 1571.8 \text{ N}$$

Como el cojinete posee una carga dinámica mayor a la calculada entonces resulta satisfactorio. El rodamiento seleccionado es el **YAR 206-104**, extraído del Catálogo S.K.F.

5.4.1.2 Selección del rodamiento rígido de una hilera de bolas.

Para seleccionar este rodamiento, usaremos el mismo método anterior. Tomaremos como diámetro del eje en este punto 12 mm. La carga radial, anteriormente calculada en este punto (punto 5), fue $R_5 = 35.25 \text{ N}$. Supondremos el mismo valor anterior para la fuerza axial $T = 80 \text{ N}$.

$$P = VXR + YT = 1 \times 0,56 \times 35.25 + 1.55 \times 80 = 143.7 \text{ N.}$$

Determinamos la especificación básica de carga dinámica que se necesita:

$$C = P_d \left(\frac{L_d}{10^6} \right)^{\frac{1}{k}} = 143.7 \left(\frac{2.304 \times 10^8}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}} = 881.2 \text{ N}$$

Seleccionamos un rodamiento potencial que tenga un valor de C cuando menos igual al valor que se requiere y un diámetro ajustado al del eje. En el anexo 6, elegimos al rodamiento 61801.

Datos del rodamiento 61801:

$$d = 0.012 \text{ m}$$

$$C_o = 670 \text{ N.}$$

$$C = 1430 \text{ N.}$$

Calculamos T/C_o

$$\frac{T}{C_o} = \frac{80}{670} = 0.11$$

A partir de la tabla 5.5 determinamos $e = 0.30$ y $Y = 1.45$.

Recalculamos P con el nuevo valor de Y:

$$P = VXR + YT = 1 \times 0,56 \times 35.25 + 1.45 \times 80 = 135.7 \text{ N.}$$

Determinamos la nueva especificación básica de carga dinámica que se necesita:

$$C = P_d \left(\frac{L_d}{10^6} \right)^{\frac{1}{k}} = 135.7 \left(\frac{2.304 \times 10^8}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}} = 832.2 \text{ N}$$

Como el cojinete posee una carga dinámica mayor a la calculada entonces resulta satisfactorio. El rodamiento seleccionado es el **61801**, extraído del Catálogo S.K.F.

5.4.2 Selección de los rodamientos en el eje del tornillo alimentador.

Para seleccionar los dos rodamientos de pestaña reborde, tomaremos como diámetro del eje 19.05 mm, es decir, 3/4 pulg. Tomaremos como referencia para la selección de estos rodamientos, el punto 2 del eje, donde obtuvimos la mayor carga radial. La carga radial, anteriormente calculada en el punto 2, fue $P_1 = 218.99$ N. Suponemos que no existe fuerza de empuje o que la misma es despreciable, por lo que el método a utilizar sólo considera a la carga radial.

5.4.2.1 Método a seguir para seleccionar el rodamiento.

La ecuación que calcula la carga equivalente que actúa sobre el cojinete es:

$$P = VR$$

P = carga equivalente

V = Factor de rotación

R = carga radial aplicada

Por ser la pista interna del rodamiento la que gira $V = 1$.

$$P = VR = 1 \times 219 = 219 \text{ N.}$$

Determinamos la vida útil del diseño en revoluciones.

t = 20000 h (tomado de la anexo 10)

n = 384 r.p.m.

$$L_d = t \times n \times 60 = 20000 \times 384 \times 60 = 4.608 \times 10^8 \text{ rev.}$$

Determinamos la especificación básica de carga dinámica que se necesita:

$$C = P_d \left(\frac{L_d}{10^6} \right)^{\frac{1}{k}} = 219 \left(\frac{4.608 \times 10^8}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}} = 1691.5 \text{ N}$$

Seleccionamos un rodamiento del anexo 7 ajustado al eje del tornillo alimentador y con una carga dinámica igual o superior a la calculada, el cual es el YAR 204-012.

Datos del rodamiento YAR 204-012:

$$d = 0.01905 \text{ m (3/4 in)}$$

$$C_o = 6550 \text{ N.}$$

$$C = 9800 \text{ N.}$$

5.5 CÁLCULO DE LAS UNIONES ROSCADAS.

El propósito de estos cálculos es determinar cuantos tornillos son necesarios colocar alrededor de cada una de las bridas que sujetan el cañón. Para ello, cumpliremos con los siguientes pasos:

Supongamos que la fuerza de separación es la misma fuerza axial supuesta en el cálculo de los rodamientos en el eje del tornillo extrusor $F = 80 \text{ N}$.

Calculamos las rigideces k_b y k_m del perno:

Datos:

$$D_{\text{perno}} = 8 \text{ mm}$$

$$E = 207 \text{ GPa}$$

$$l = 18 \text{ mm}$$

$$k_b = \frac{\pi \cdot d^2 E}{4l} = \frac{3.1416(0.008)^2 207000}{4(0.018)} = 578.05 \frac{\text{MN}}{\text{m}}$$

$$k_m = \frac{0.577\pi Ed}{2 \ln \left(5 \frac{0.577l + 0.5d}{0.577l + 2.5d} \right)} = \frac{0.577\pi(207000)(0.008)}{2 \ln \left(5 \frac{0.577(0.018) + 0.5(0.008)}{0.577(0.018) + 2.5(0.008)} \right)} = 1741.78 \frac{\text{MN}}{\text{m}}$$

Ahora calculamos la constante C:

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m} = \frac{578.05}{578.05 + 1741.78} = 0.2491$$

Con la siguiente ecuación determinamos el número de pernos que son necesarios colocar:

$$N = \frac{4CnF}{S_p A_t}$$

Datos:

$n = 2$ (factor de diseño).

$F = 80$ N (fuerza de separación).

$S_p = 227.7$ MPa (resistencia límite mínima a la tensión. Extraída del anexo 13 (33 Kpsi)).

$A_t = 0.00005026$ m² (área de esfuerzo de tensión).

$$N = \frac{4(0.2491)(2)(80)}{(227700000)(0.00005026)} = 0.0139$$

Este resultado indica que la fuerza de separación es tan pequeña con respecto a la resistencia de los pernos que con uno sería suficiente. Sin embargo, nuestras bridas serán ajustadas con 6 tornillos de manera de evitar la posible salida de material durante el proceso, por lo que las mismas deben estar debidamente ajustadas.

5.6 CÁLCULO DE TRANSFERENCIA DE CALOR

El propósito principal del cálculo de transferencia de calor, es obtener una aproximación de la cantidad de calor que es necesario transferir al alimento desde la resistencia eléctrica. A partir de este resultado se puede determinar que tipo de resistencia eléctrica es la que se debe utilizar para nuestro diseño, según la cantidad de calor que esta sea capaz de generar. La suposición y simplificación que se hace en nuestro cálculo es como si se tratara de una conducción estacionaria unidimensional considerando un cilindro largo de radio interior r_1 y radio externo r_2 y longitud L . Este cilindro se somete a una diferencia de temperaturas $T_2 - T_1$ y se plantea la pregunta de cuál será el flujo de calor. En un cilindro donde la longitud sea muy grande comparada con su diámetro, se puede suponer que el calor fluye sólo en dirección radial. A continuación mostramos la leyenda utilizada, los datos con los que se cuentan para nuestro caso y las ecuaciones requeridas para determinar el flujo de calor.

L : longitud de la resistencia eléctrica

T_R : temperatura de la resistencia eléctrica

T_{ALI} : temperatura del alimento

T_0 : temperatura inicial de la harina

r_1 : radio interno del tubo o cañón

r_2 : radio externo del tubo o cañón

r_3 : radio interno del aislante de la resistencia eléctrica

r_4 : radio externo del aislante de la resistencia eléctrica

K_1 : conductividad térmica del acero

K_2 : conductividad térmica del aislante lana de vidrio mineral a $T = 150\text{ }^\circ\text{C}$

R_{TUBO} : resistencia térmica del tubo o cañón

R_{AIS} : resistencia térmica del aislante

R_{ALI} : resistencia térmica del alimento

Q_R : calor requerido por la resistencia eléctrica

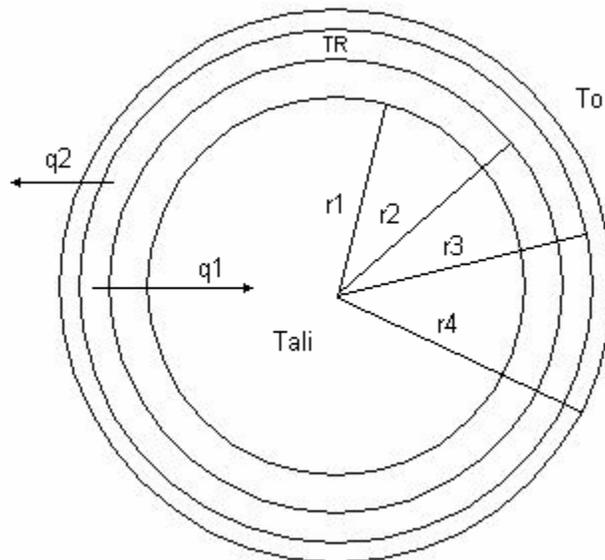


Fig. 5.12 Flujo de calor unidimensional a través de la sección cilíndrica del cañón o carcasa del tornillo extrusor.

Datos:

$$r_1 = 0.025 \text{ m}$$

$$r_2 = 0.03 \text{ m}$$

$$r_3 = 0.033 \text{ m}$$

$$r_4 = 0.035 \text{ m}$$

$$T_R = 83 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ALI} = 80 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_0 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$L = 0.41 \text{ m}$$

$$K_1 = 36 \frac{W}{m \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$K_2 = 0.067 \frac{W}{m \text{ }^\circ\text{C}}$$

Las resistencias térmicas las calculamos con las siguientes ecuaciones:

$$R_{TUBO} = \frac{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}{2\pi K_1 L} = \frac{\ln\left(\frac{0.03}{0.025}\right)}{2(3.1416)(36)(0.41)} = 0.0019659 \frac{^\circ\text{C}}{W}$$

$$R_{AIS} = \frac{\ln\left(\frac{R_4}{R_3}\right)}{2\pi K_2 L} = \frac{\ln\left(\frac{0.035}{0.033}\right)}{2(3.1416)(0.067)(0.41)} = 0.34091 \frac{^\circ\text{C}}{W}$$

El valor del flujo de calor que sale de la resistencia eléctrica es la suma del calor que entra a través del cañón más el calor que sale a través del aislante, por tanto:

$$q = q_1 + q_2 = \frac{T_{ALI} - T_R}{R} + \frac{T_R - T_0}{R} = \frac{80 - 83}{0.001965} + \frac{83 - 25}{0.34091} = -1355.8 \text{ W}$$

Este resultado indica que se puede utilizar una resistencia o un conjunto de ellas que genere aproximadamente esta cantidad de flujo de calor. Se recomienda adoptar una resistencia o conjunto de ellas que este algo por encima de este valor calculado.

5.7 Análisis económico

5.7.1 Cálculo del costo específico del alimento concentrado:

Los cálculos presentados determinan el costo específico de alimento concentrado para un año de producción. La máquina procesadora de alimentos tiene una tasa de producción de 100 kilogramos por hora. Suponiendo que se trabajan cinco días hábiles a la semana, durante jornadas de ocho horas, entonces la producción anual para cuarenta y ocho (48) semanas es:

$$Pr od = 48 \frac{\text{semanas}}{\text{año}} \times 5 \frac{\text{dias}}{\text{semana}} \times 8 \frac{h}{\text{dia}} \times 100 \frac{Kg}{h} = 192000 \frac{Kg}{\text{año}}$$

El costo de inversión, representa el costo de fabricación de la máquina procesadora y es de:

$$C_{IN} = 4000000 \text{ Bs}$$

El costo de mantenimiento anual de la máquina:

$$C_M = 200000 \frac{\text{Bs}}{\text{año}}$$

El costo total de energía eléctrica consumida por la máquina, cuya potencia total es de 6.3 Hp y suponiendo 90 Bs/KW.h, se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$C_E = 6.3 \text{ Hp} \times 0.745 \frac{W}{\text{Hp}} \times 90 \frac{\text{Bs}}{\text{KW} \cdot h} \times 8 \frac{h}{\text{dia}} \times 240 \frac{\text{dia}}{\text{año}} = 817033 \frac{\text{Bs}}{\text{año}}$$

El costo de la mano de obra, considerando que la máquina requiere sólo un operador para procesar los alimentos concentrados, se estima de 10000 bolívares diarios aproximadamente, siendo al año un total de:

$$C_{MO} = 10000 \frac{Bs}{dia} \times 240 \frac{dias}{año} = 2400000 \frac{Bs}{año}$$

El costo anual de la materia prima requerida para procesar el alimento concentrado, asumiendo un costo de 50 bolívares por kilogramo y sabiendo que se necesitan 800 Kg diarios, es:

$$C_{MP} = 50 \frac{Bs}{Kg} \times 800 \frac{Kg}{dia} \times 240 \frac{dias}{año} = 9600000 \frac{Bs}{año}$$

5.7.2 Costo específico del alimento concentrado producido en las granjas :

El costo específico del alimento concentrado se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$C_{Ep} = \frac{Costo \ Total}{Producción \ total} = \frac{C_{IN} + C_M + C_E + C_{MO} + C_{MP}}{Pr od}$$

$$C_{Ep} = \frac{(4000000 + 200000 + 817033 + 2400000 + 9600000)}{192000 \frac{Kg}{año}} \frac{Bs}{año} = 88.66 \frac{Bs}{Kg}$$

Considerando que el precio del alimento concentrado en el mercado es superior a 250 Bs/Kg, se justifica la inversión de la máquina, ya que se ahorraría anualmente, para la misma tasa de producción un total de:

$$\text{Ahorro} = \text{Producción total}(250 - C_{Ep}) - (C_{IN} + C_M + C_E + C_{MO} + C_{MP})$$

$$\text{Ahorro} = 192000(250 - 88,6) - (4000000 + 200000 + 817033 + 2400000 + 9600000)$$

$$\text{Ahorro} = 13971767 \frac{\text{Bs}}{\text{año}}$$

Este resultado indica que en un año se recupera la inversión de la máquina más los otros costos (mantenimiento, energía, mano de obra y materia prima) y, además, se obtendría un ahorro de 13971767 Bs/año si lo comparamos con el hecho de comprar el alimento en el mercado.

***CAPÍTULO VI.
INSTRUCCIONES DE MANTENIMIENTO.
HIGIENE Y SEGURIDAD INDUSTRIAL.***

**CAPÍTULO VI.
INSTRUCCIONES DE MANTENIMIENTO.
HIGIENE Y SEGURIDAD INDUSTRIAL.**

6.1 INSTRUCCIONES DE MANTENIMIENTO.

Las instrucciones de mantenimiento van dirigidas a preservar la máquina en todo su conjunto, de tal forma, que el rendimiento de la inversión sea lo más rendidor posible. Para ello recurriremos a especificar un mantenimiento preventivo y un mantenimiento correctivo.

El mantenimiento preventivo está referido al conjunto de operaciones que se hacen con el objetivo de prevenir la ocurrencia de una falla. Estas operaciones corresponden a las siguientes tareas:

- Chequear el buen estado de las componentes del sistema.
- Mantener debidamente lubricados los rodamientos.
- Chequear que los tornillos de sujeción estén debidamente apretados.
- Asegurarse que los medidores de caudal y temperatura están en perfecto estado arrojando los resultados deseados.
- Asegurarse que los ejes estén alineados y ajustados, principalmente el eje del tornillo extrusor en cada uno de sus extremos, es decir, al acople con la caja reductora y al rodamiento blindado alojado en la matriz.
- Una vez terminada la jornada de funcionamiento de la máquina. debe desarmarse el cañón y sacar la matriz, de manera de realizar la limpieza interna de estas componentes y el tornillo extrusor. Se recomienda lavar con abundante agua y jabón. También se recomienda vaciar completamente la tolva de alimentación para limpiarla debidamente.
- Asegurarse que las correas estén debidamente apretadas.
- Evitar la presencia de humedad en las componentes eléctricas (motores, cables, tablero de control, etc.).

- En aquellos componentes o piezas donde se identifique cierto desgaste, se recomienda sustituirlos antes de que se produzca la falla. Ejemplos de estos componentes pudieran ser los rodamientos, correas, tornillos, etc.

El mantenimiento correctivo son el conjunto de operaciones que se hacen sobre un equipo o sistema de equipos fallado para restituirlo a condiciones operativas normales. Estas operaciones están directamente relacionadas a identificar una avería. Las fallas más comunes que pudiera presentar la máquina tienen que ver con aquellas piezas consideradas desechables y que son fácilmente sustituibles, como los motores, controladores, rodamientos, correas, caja reductora, entre otras; donde la mayor limitante sería el precio de las mismas. Lo más complicado de corregir de llegar a fallar serían los tornillos sin fin, principalmente el tornillo extrusor, cuya única solución sería mandarlos a hacer. Sin embargo, las condiciones en las que han sido diseñadas estas piezas hacen que se consideren conservables y colocando su probabilidad de falla en períodos muy largos.

6.2 INSTRUCCIONES DE HIGIENE Y SEGURIDAD INDUSTRIAL.

El propósito de estas instrucciones es obtener un buen rendimiento de la máquina y evitar accidentes personales:

1. Coloque la máquina en un recinto o local, que facilite las actividades de trabajo.
2. Chequear que las llaves de ajustes sean retiradas de la máquina antes de encenderla.
3. Mantenga el área de trabajo limpia y ordenada.
4. No use la máquina en ambientes peligrosos (húmedos o mojados).
5. Mantenga el área de trabajo con una iluminación adecuada.
6. La máquina debe ser usada solo por personal calificado.
7. Demarcar el área de trabajo, para reducir los riesgos físicos a los demás empleados y visitantes.

8. No debe forzar los componentes de la máquina, ya que podría causar daños a la misma.
9. Usar el uniforme adecuado a las condiciones de trabajo (bragas, guantes, botas anti-resbalantes, etc.).
10. Use lentes de seguridad en todo momento. Emplee máscara antipolvo.
11. Solamente a las personas calificadas por su experiencia y conocimientos técnicos se permitirá proyectar, instalar, regular, examinar o reparar equipos o instalaciones eléctricas (Art. 314 del Reglamento de las Condiciones de Higiene y Seguridad en el Trabajo y Otras Normas Laborales).
12. Mantenga las herramientas en perfecto estado (llaves, atornilladores, alicates, etc.).
13. Asegúrese que la máquina esté apagada (Off) antes de enchufarla.

14. Desconecte máquina antes de cambiar cualquier accesorio.
15. Use los accesorios recomendados (correas, rodamientos, componentes eléctricos, etc.).
16. No dejar la máquina encendida sin operador, apáguela.
17. No atornille excesivamente las tuercas de la matriz y cañón de extrusión.
18. Coloque la alimentación eléctrica de la herramienta adecuadamente, para que no dificulte las actividades laborales.
19. Verificar la existencia de interruptores automáticos en el sistema eléctrico (protector contra corto circuito)
20. Disponer de botiquín de primeros auxilios en caso de emergencia.
21. No maneje o almacene productos inflamables en el area de trabajo.
22. Antes de emplear la máquina lea las instrucciones de operación.
23. Conocer la ubicación de los interruptores de desconexión del área de trabajo en caso de emergencia.
24. Colocar y verificar la puesta a tierra de la máquina para reducir los riesgos de choques eléctricos.

25. Asegúrese que la máquina este conectada al voltaje indicado en la placa de datos.
26. Si la máquina presenta cualquier falla suspende su funcionamiento. Para reponer la puesta en marcha deberá ser reparada por su seguridad.
27. Después de usar la máquina, revísela para asegurarse que esta en buenas condiciones.
28. No introduzca las harinas húmedas a la tolva, ya que el tornillo alimentador opera con las harinas secas.
29. No tocar la resistencia de banda, para evitar quemaduras.
30. Verifique que los tornillos que sujetan la estructura de la máquina al suelo, estén debidamente apretados para su debida estabilidad.
31. Evite introducir objetos o cuerpos extraños a la tolva de alimentación.
32. Ninguna persona podrá suprimir los resguardos ni los dispositivos de seguridad que protegen una máquina o parte de la misma que ocasione riesgo, excepto cuando la máquina este parada. Cuando sea necesario quitar un resguardo para reparar o ajustar una máquina, antes de ponerla en funcionamiento, el mismo deberá ser colocado en su puesto (Art. 314 del Reglamento de las Condiciones de Higiene y Seguridad en el Trabajo y Otras Normas Laborales).
33. Toda máquina, aunque sus partes móviles estén debidamente resguardadas, deberá ubicarse de manera que el espacio asignado al operador sea amplio y cómodo, y pueda éste, en caso de emergencia, abandonar el sitio facial y rápidamente. Los pasillos de circulación deberán tener un ancho mínimo de 80 centímetros (Art. 314 del Reglamento de las Condiciones de Higiene y Seguridad en el Trabajo y Otras Normas Laborales).
34. Colocar aparatos de extinción de incendios, en lugares cercanos la máquina y visibles desde ella.

***CAPÍTULO VII.
IMÁGENES DE LA MÁQUINA
CONSTRUIDA.***

CAPÍTULO VII.

IMÁGENES DE LA MÁQUINA CONSTRUIDA

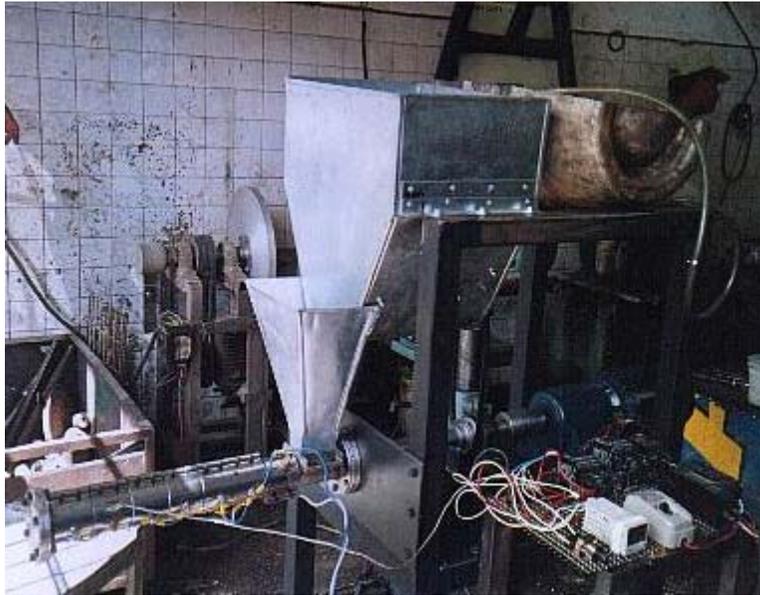


Fig. 7.1 Vista general de la máquina. En esta imagen se observa el cañón cubierto por las resistencias, la tolva superior o tolva de alimentación, la tolva receptora del sistema extrusor y el sistema de control.



Fig. 7.2 Vista lateral del cañón. Podemos observar las conexiones en serie de las siete resistencias eléctricas de banda, las cuales suministran el calor requerido al alimento mientras pasa por el interior del cañón

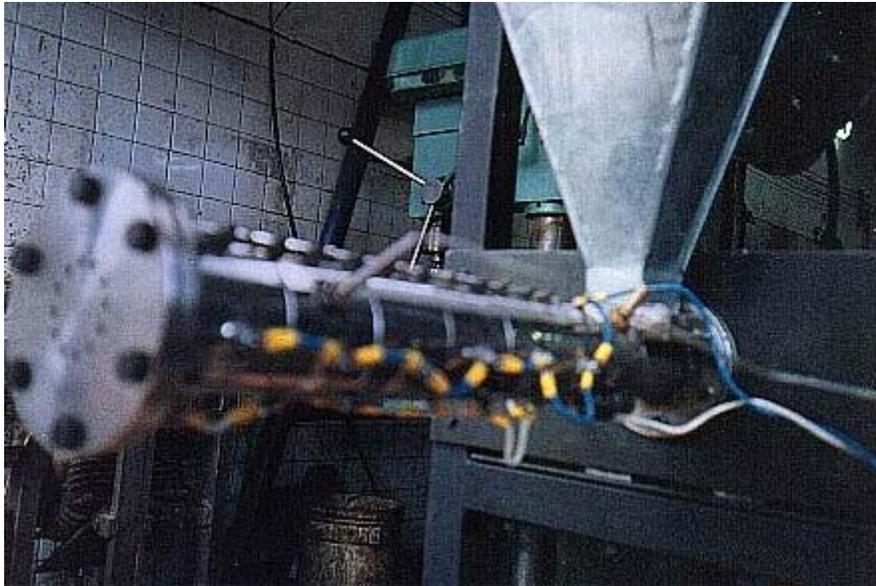


Fig. 7.3 Vista de la matriz y el cañón. Se observa en el extremo, la matriz de orificios por donde salen los filamentos del alimento procesado. Cerca de la tolva y al final de las resistencias se encuentra la boquilla por donde entra la inyección de agua en la cual se conecta la manguera que viene del sistema hidráulico.

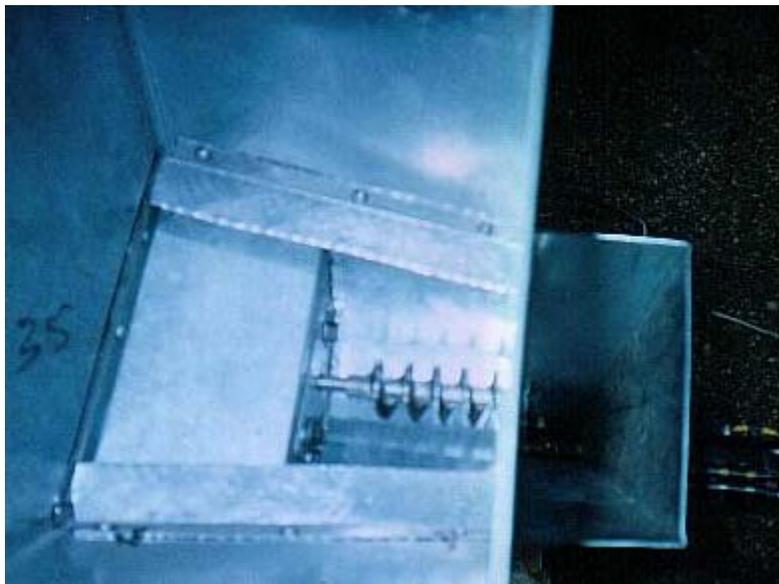


Fig. 7.4 Vista superior de la tolva de alimentación. Dentro de ella podemos ver el tornillo alimentador quien envía por un orificio las harinas a la otra tolva por donde entran al cañón hasta encontrarse con el tornillo extrusor.



Fig. 7.5 Equipo de transmisión de potencia. De izquierda a derecha vemos al motor seguido de la caja reductora, el acople con el eje del tornillo extrusor, la chumacera, la polea en el eje del tornillo extrusor que conecta con una correa la polea en el eje del tornillo alimentador.



Fig. 7.6 Tornillo extrusor.

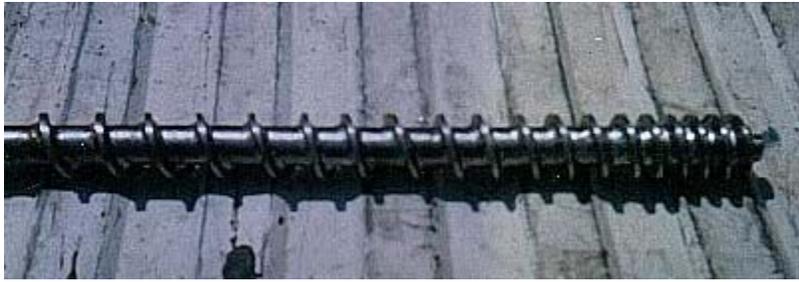


Fig. 7.7 Detalle del paso del tornillo extrusor. Aquí podemos observar como se va reduciendo el paso a lo largo del tornillo, desde el paso más grande donde ocurre la etapa de alimentación hasta el paso más pequeño donde se efectúa la etapa final de compresión.



Fig. 7.8 Puesta en marcha de la máquina. En esta prueba podemos observar como salen los filamentos por los orificios de la matriz. Estos filamentos son el resultado de la mezcla de las harinas con la inyección de agua que ocurre dentro del cañón, además del aumento de temperatura que recibe dicha mezcla mientras son transportados internamente por el tornillo extrusor. En la parte inferior derecha se encuentra un envase donde caen los filamentos. Debido a la fragilidad de estos filamentos, los mismos pueden ser partidos en pequeños pelets con tan sólo darles vuelta dentro de este envase, llevándolos a la condición deseada.

CONCLUSIONES

El diseño elegido para construir la máquina para la elaboración de alimentos para animales, resultó ser una máquina extrusora de alimentos, cuyo principio consiste en un tornillo sin fin dentro de un tubo. Dicho tornillo al girar, va transportando, mezclando y comprimiendo las harinas hasta obligarlas a traspasar una matriz de orificios por donde salen al exterior en forma de filamentos y llegan a ser rebanados por una cuchilla giratoria, convirtiéndose en pequeños fideos conocidos como pelets. El alimento durante su elaboración, requiere de una transferencia de calor que permita elevar su temperatura a 70 °C para eliminar los antinutrientes posiblemente presentes en las harinas. Esta transferencia de calor ocurre a través del tubo o carcasa, gracias a unas resistencias eléctricas de banda que recubren el exterior del mismo. Otros de los procesos que ocurren dentro del tubo es la inyección de agua a través de un orificio, de manera de humedecer las harinas y compactar la mezcla.

Las razones por las que se llegó a un diseño con las características anteriormente nombradas, es que este tipo de máquina es capaz de elaborar el alimento a través de un proceso continuo, permitiendo al operador simplificar sus tareas al hecho de alimentar la tolva con las harinas y ser vigilante de las variables de temperatura e inyección de agua, por medio de los medidores respectivos. Además, cumple con los objetivos planteados, ya que el tamaño de los pelets se ajusta al preestablecido, se conservan las proporciones originales de las harinas, se puede alcanzar la temperatura requerida para eliminar los antinutrientes, es de fácil manejo y mantenimiento, la producción se ajusta a las necesidades de las granjas y su precio es una buena alternativa económica. El análisis económico arrojó como resultado una recuperación de la inversión en menos de un año, trayendo consigo un ahorro de más de 13 millones de bolívares en el primer año, por lo que la opción de adquirir la máquina resulta más rentable que el tener que comprar el alimento en el mercado.

Las dimensiones de la máquina fueron adaptadas a las necesidades de producción y al lugar donde ésta pudiera estar ubicada. También se consideró realizar un diseño ergonómico, adaptado a las condiciones propias de los posibles operadores, sobretodo, aquellas que se identifiquen con sus características físicas y su grado de instrucción. Sabiendo que esta máquina será utilizada, generalmente por una población indígena de baja estatura y de bajo nivel de instrucción, la máquina fue diseñada relativamente baja y las instrucciones para su debido funcionamiento son sencillas.

Los cálculos referentes a las componentes mecánicas, también determinaron las dimensiones de la máquina, en particular, en elementos como los ejes, cuyas dimensiones debían adaptarse a la resistencia del material (acero inoxidable) del que fueron construidos, material que a su vez debió cumplir con las normas alimenticias las cuales indican que debe utilizarse acero inoxidable. Estos cálculos también fueron útiles para la determinación de variables las cuales son fundamentales en los sistemas de la máquina, como lo son las rpm de los ejes, la potencia transmitida, la transferencia de calor y la temperatura adquirida, la tasa de alimento elaborado entre otros.

En general podemos decir, que la máquina representa una buena opción para la elaboración de alimentos para animales y que se adapta a las condiciones de diseño preestablecidas, siendo una buena alternativa económica para las granjas integrales ubicadas en el interior del país y adaptada a la producción de alimento elaborado que estas requieren para abastecer su población animal.

RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que se puedan sugerir con respecto a la máquina y a su debido uso, está en el hecho de cumplir cabalmente con las instrucciones de operación, mantenimiento y de higiene y seguridad industrial planteadas anteriormente en el capítulo VI. El cumplimiento de estas instrucciones traerá consigo un mejor funcionamiento de la máquina y facilitará su uso, además ayudará a la conservación de la misma y evitará posibles accidentes.

La máquina está en condiciones de procesar harinas de diferentes orígenes. Se recomienda que estas harinas estén finamente molidas, con tamaños de granos adecuados. Esto se sugiere con el propósito de que puedan salir sin mayores problemas por los orificios de la matriz y así evitar posibles en el sistema. También se sugiere hacer estudios y pruebas experimentales con las harinas a procesar en la máquina, de forma tal de obtener conocimiento de cómo manejar las variables y obtener un alimento más óptimo en la misma. Se recomienda, para la optimización de la máquina, hacer estudios de laboratorio a los alimentos elaborados por la misma.

Debe colocarse resguardos de seguridad en los elementos móviles de la máquina y resistencias eléctricas de bandas.

Se recomienda hacer líneas de análisis para el cálculo torque y la fuerza axial en el tornillo extrusor.

Las recomendaciones que se pueden sugerir con respecto al proyecto, es la de hacer un llamado a aquellas organizaciones existentes en el país que estén en posibilidades de impulsar esta idea, ya que la misma es una opción viable para la solución de los problemas que presentan algunos sectores campesinos en el interior del país. Además, sería una gran oportunidad de desarrollar un área tecnológica, la cual ha arrojado escasos resultados en nuestra nación, teniendo que ser importada dicha tecnología y pudiendo ser mucho más rentable si la misma fuese desarrollada.

BIBLIOGRAFIA

- FOX, R., Mc Donald A. "Introducción a la mecánica de fluidos". Mc Graw Hill, México, 1995.
- HOLMAN, J.P., "Transferencia de calor". 8va Edición. Mc Graw Hill. Madrid, España, 1998.
- JANSSEN, L.P.B.M. "Twin Screw Extrusión". Elsevier, New York, 1978.
- KRICK, EDWARD V., "Introducción a la Ingeniería". 2da Edición. Editorial Limusa. México, 1974.
- MAURICE A., Williams, "Practical short course on feeds extrusion", Anderson International Corp., 6200 Harvard Avenue, Cleveland, Ohio, 1995.
- MECHANICAL DESKTOP, Tutorial and User's, Editorial Autodesk, Inc. Estados Unidos de América, 1998.
- MILANI MISTIERI. "Diseño para nuestra realidad". Caracas, Venezuela, 1985.
- MOTT, ROBERT, "Diseño de Elementos de Máquinas", Edición, Prentice Hall Hispanoamérica S.A., México, 1995.
- REGLAMENTO DE LAS NORMAS DE HIGIENE Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO Y OTRAS NORMAS LABORALES. 1992.
- ROCA VILA, R., "Introducción a la mecánica de fluidos". 2da Edición. Editorial Limusa, México, 1978.
- ROSSEN, J. L. "Food extrusión". Food Technol. 1973.
- SHIGLEY, J. y Mischke C., "Diseño en ingeniería Mecánica", 2da Edición, McGraw Hill, México, 1997.
- TARGHETTA A., "Transporte y Almacenamiento de Materias Primas en la industria Básica", Editorial Blume, España, 1970.
- Thomson, Williams T., "Teoría de vibraciones", Editorial Limusa, México, 1985

ANEXOS

ANEXO 1 PROPIEDADES DE LOS ACEROS INOXIDABLES

Designación del material		Condición	Resistencia a la tracción		Resistencia a punto cedente		Ductibilidad (elongación porcentual en 2 pulg.)
			Ksi	MPa	Ksi	MPa	
Aceros austeníticos							
201	S20100	Recocido	115	793	55	379	55
		1/4 duro	125	862	75	517	20
		1/2 duro	150	1030	110	758	10
		3/4 duro	175	1210	135	931	5
		Totalmente duro	185	1280	140	966	4
301	S30100	Recocido	110	758	40	276	60
		1/4 duro	125	862	75	517	25
		1/2 duro	150	1030	110	758	15
		3/4 duro	175	1210	135	931	12
		Totalmente duro	185	1280	140	966	8
304	S30400	Recocido	85	586	35	241	60
310	S31000	Recocido	95	655	45	310	45
316	S31600	Recocido	80	552	30	207	60
Aceros ferríticos							
405	S40500	Recocido	70	483	40	276	30
430	S43000	Recocido	75	517	40	276	30
446	S44600	Recocido	80	552	50	345	25
Aceros martensíticos							
410	S41000	Recocido	75	517	40	276	30
416	S41600	Q&T 600	180	1240	140	966	15
		Q&T 1000	145	1000	115	793	20
		Q&T 1400	90	621	60	414	30
431	S43100	Q&T 600	195	1344	150	1034	15
440A	S44002	Q&T 600	280	1930	270	1860	3
Aceros endurecidos por precipitación							
17-4PH	S17400	H 900	200	1380	185	1280	14
		H 1150	145	1000	125	862	19
17-7PH	S17700	RH 950	200	1380	175	1210	10
		TH 1050	175	1210	155	1070	12

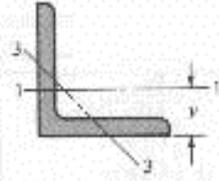
ANEXO 2

CONSTANTES ELÁSTICAS Y FÍSICAS DE MATERIALES.

MATERIAL	MÓDULO DE ELASTICIDAD E		MÓDULO DE RIGIDEZ G		RELACION DE POISSON ν	PESO UNITARIO ρ		
	Mpsi	GPa	Mpa	GPa		lb/in ³	lb/ft ³	kN/m ³
Aluminio (todas las aleaciones)	10.3	71.0	3.80	26.2	0.334	0.098	169	26.6
Cobre al berilio	18.0	124.0	7.0	48.3	0.285	0.297	513	80.6
Latón	15.4	106.0	5.82	40.1	0.321	0.309	534	83.8
Acero común	30.0	207.0	11.5	79.3	0.292	0.282	487	76.5
Hierro colado (gris)	14.5	100.0	6.0	41.4	0.211	0.260	450	70.6
Cobre	17.2	119.0	6.49	44.7	0.326	0.322	556	87.3
Madera (abeto Douglas)	1.6	11.0	0.6	4.1	0.33	0.016	28	4.3
Vidrio	6.7	46.2	2.7	18.6	0.245	0.094	162	25.4
Inconel	31.0	214.0	11.0	75.8	0.290	0.307	530	83.3
Plomo	5.3	36.5	1.9	13.1	0.425	0.411	710	111.5
Magnesio	6.5	44.8	2.4	16.5	0.350	0.065	112	17.6
Molibdeno	48.0	331.0	17.0	117.0	0.307	0.368	636	100.0
Monel	26.0	179.0	9.5	65.5	0.320	0.319	551	86.6
Níquel puro	18.5	127.0	7.0	48.5	0.322	0.316	546	85.8
Acero al níquel	30.0	207.0	11.5	79.3	0.291	0.280	484	76.0
Bronce fosforado	16.1	111.0	6.0	41.4	0.349	0.295	510	80.1
Acero inoxidable	27.6	190.0	10.6	73.1	0.305	0.280	484	76.0

ANEXO 3. PROPIEDADES DE PERFILES ANGULARES DE ACERO ESTRUCTURAL

w = peso por pie, lb/ft
 m = masa por metro, kg/m
 A = área transversal, in² (cm²)
 I = segundo momento de área, in⁴ (cm⁴)
 k = radio de giro, in (cm)
 y = distancia centroidal, in (cm)
 Z = módulo de sección, in³ (cm³)



TAMAÑO, in	w	A	I_{y-y}	k_{y-y}	Z_{y-y}	y	k_{z-z}
1 × 1 × 1/8	0.80	0.234	0.021	0.298	0.029	0.290	0.191
× 1/4	1.49	0.437	0.036	0.287	0.054	0.336	0.193
1 1/2 × 1 1/2 × 1/8	1.23	0.36	0.074	0.45	0.068	0.41	0.29
× 1/4	2.34	0.69	0.135	0.44	0.130	0.46	0.29
2 × 2 × 1/8	1.65	0.484	0.190	0.626	0.131	0.546	0.398
× 1/4	3.19	0.938	0.348	0.609	0.247	0.592	0.391
× 3/8	4.7	1.36	0.479	0.594	0.351	0.636	0.389
2 1/2 × 2 1/2 × 1/8	4.1	1.19	0.703	0.769	0.394	0.717	0.491
× 3/8	5.9	1.73	0.984	0.753	0.566	0.762	0.487
3 × 3 × 1/8	4.9	1.44	1.24	0.930	0.577	0.842	0.592
× 3/8	7.2	2.11	1.76	0.913	0.833	0.888	0.587
× 1/2	9.4	2.75	2.22	0.898	1.07	0.932	0.584
3 1/2 × 3 1/2 × 1/8	5.8	1.69	2.01	1.09	0.794	0.968	0.694
× 3/8	8.5	2.48	2.87	1.07	1.15	1.01	0.687
× 1/2	11.1	3.25	3.64	1.06	1.49	1.06	0.683
4 × 4 × 1/8	6.6	1.94	3.04	1.25	1.05	1.09	0.795
× 3/8	9.8	2.86	4.36	1.23	1.52	1.14	0.788
× 1/2	12.8	3.75	5.56	1.22	1.97	1.18	0.782
× 3/4	15.7	4.61	6.66	1.20	2.40	1.23	0.779
6 × 6 × 1/8	14.9	4.36	15.4	1.88	3.53	1.64	1.19
× 3/8	19.6	5.75	19.9	1.86	4.61	1.68	1.18
× 1/2	24.2	7.11	24.2	1.84	5.66	1.73	1.18
× 3/4	28.7	8.44	28.2	1.83	6.66	1.78	1.17

ANEXO 4
POTENCIAS NOMINALES EN HP DE BANDAS TRAPECIALES (BANDA EN V)
ESTÁNDARES

SECCIÓN DE BANDA	DIÁMETRO DE PASO DE POLLA, in	VELOCIDAD DE LA BANDA, ft/min				
		1000	2000	3000	4000	5000
A	2.6	0.47	0.62	0.53	0.15	
	3.0	0.66	1.01	1.12	0.93	0.38
	3.4	0.81	1.31	1.57	1.53	1.12
	3.8	0.93	1.55	1.92	2.00	1.71
	4.2	1.03	1.74	2.20	2.38	2.19
	4.6	1.11	1.89	2.44	2.69	2.58
	5.0 o más	1.17	2.03	2.64	2.96	2.89
B	4.2	1.07	1.58	1.68	1.26	0.22
	4.6	1.27	1.99	2.29	2.08	1.24
	5.0	1.44	2.33	2.80	2.76	2.10
	5.4	1.59	2.62	3.24	3.34	2.82
	5.8	1.72	2.87	3.61	3.85	3.45
	6.2	1.82	3.09	3.94	4.28	4.00
	6.6	1.92	3.29	4.23	4.67	4.48
7.0 o más	2.01	3.46	4.49	5.01	4.90	
C	6.0	1.84	2.66	2.72	1.87	
	7.0	2.48	3.94	4.64	4.44	3.12
	8.0	2.96	4.90	6.09	6.36	5.52
	9.0	3.34	5.65	7.21	7.86	7.29
	10.0	3.64	6.25	8.11	9.06	8.89
	11.0	3.88	6.74	8.84	10.0	10.1
	12.0 o más	4.09	7.15	9.46	10.9	11.1
D	10.0	4.14	6.13	6.55	5.09	1.35
	11.0	5.00	7.83	9.11	8.50	5.62
	12.0	5.71	9.26	11.2	11.4	9.18
	13.0	6.31	10.5	13.0	13.8	12.2
	14.0	6.82	11.5	14.6	15.8	14.8
	15.0	7.27	12.4	15.9	17.6	17.0
	16.0	7.66	13.2	17.1	19.2	19.0
17.0 o más	8.01	13.9	18.1	20.6	20.7	
E	16.0	8.68	14.0	17.5	18.1	15.3
	18.0	9.92	16.7	21.2	23.0	21.5
	20.0	10.9	18.7	24.2	26.9	26.4
	22.0	11.7	20.3	26.6	30.2	30.5
	24.0	12.4	21.6	28.6	32.9	33.8
	26.0	13.0	22.8	30.3	35.1	36.7
	28.0 o más	13.4	23.7	31.8	37.1	39.1

ANEXO 5.

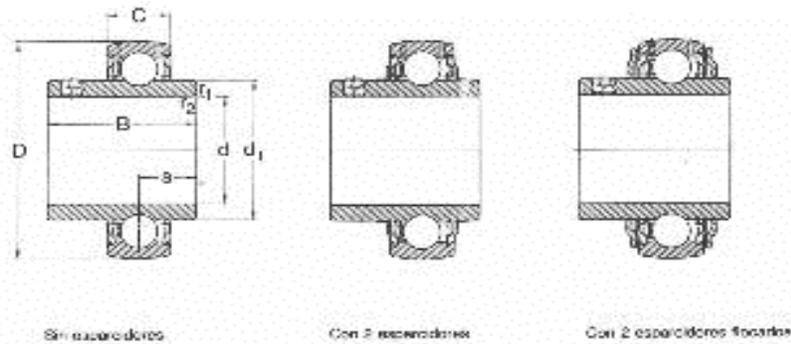
FACTOR DE CORRECCIÓN DE LONGITUD DE CORREA K₂

FACTOR DE LONGITUD	LONGITUD DE BANDA NOMINAL, in				
	BANDAS A	BANDAS B	BANDAS C	BANDAS D	BANDAS E
0.85	Hasta 35	Hasta 46	Hasta 75	Hasta 128	
0.90	38-46	48-60	81-96	144-162	Hasta 195
0.95	48-55	62-75	105-120	173-210	210-240
1.00	60-75	78-97	128-158	240	270-300
1.05	78-90	105-120	162-195	270-330	330-390
1.10	96-112	128-144	210-240	360-420	420-480
1.15	120 o más	153-180	270-300	480	540-600
1.20		195 o más	330 o más	540 o más	660

ANEXO 6. RODAMIENTOS RÍGIDOS DE UNA HILERA DE BOLAS. CATÁLOGO S.K.F.

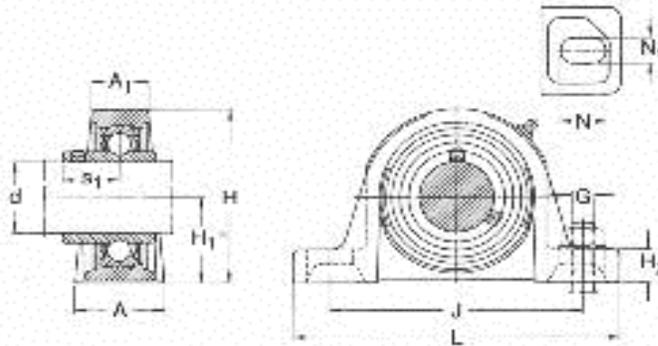
Dimensiones principales:			Capacidad de carga estát.		Carga límite de fatiga	Velocidad nominal		Masa:	Designación
d	D	B	C	C ₀	F _L	grasa	aceite	g	-
mm			N		N		r/min		
2,5	5	2,5	312	100	4	87 000	89 000	0,0007	60/2,5
3	10	4	415	146	6	80 000	79 000	0,0015	623
4	9	2,5	540	180	7	83 000	75 000	0,0007	618/4
	12	4	605	210	12	53 000	43 000	0,0022	604
	13	5	675	205	14	48 000	55 000	0,0031	624
	16	5	1 110	380	18	43 000	50 000	0,0054	624
5	11	2	697	250	11	63 000	63 000	0,0012	618/5
	16	5	1 110	380	18	43 000	50 000	0,0050	626
	19	6	1 720	620	25	36 000	43 000	0,0090	635
6	11	3,5	614	344	15	48 000	56 000	0,0020	618/6
	19	6	1 720	620	25	36 000	43 000	0,0084	628
7	14	3,5	665	400	17	45 000	63 000	0,0022	618/7
	19	6	1 720	620	25	33 000	45 000	0,0075	607
	22	7	3 250	1 370	37	32 000	35 000	0,013	627
8	16	4	1 370	570	24	40 000	45 000	0,0090	618/8
	22	7	3 250	1 370	37	36 000	43 300	0,012	628
9	17	4	1 430	600	27	33 000	45 000	0,0094	618/9
	24	7	3 710	1 850	71	32 000	35 000	0,014	628
	26	8	4 620	1 950	83	28 000	34 600	0,020	629
10	17	5	1 380	580	25	36 000	43 000	0,0095	618/10
	22	6	1 970	750	32	34 000	40 000	0,016	619/10
	28	6	4 620	1 950	83	30 000	35 000	0,018	620
	30	7	4 670	1 950	83	28 000	34 000	0,022	619/10
	30	6	5 070	2 350	100	24 000	30 000	0,032	620
	35	11	8 080	3 400	148	20 000	25 000	0,050	630
12	21	5	1 430	670	25	32 000	37 000	0,0090	618/11
	24	6	2 250	890	43	30 000	35 000	0,011	619/11
	32	6	5 070	2 350	100	26 000	37 000	0,022	620
	36	6	5 070	2 350	100	26 000	32 000	0,023	618/11
	32	10	6 880	3 100	132	22 000	25 000	0,037	620
	37	12	9 750	4 150	176	19 000	24 000	0,060	630

**ANEXO 7.
RODAMIENTOS "Y" CON PRISIONEROS DE FIJACIÓN PARA EJES EN
PULGADAS. CATÁLOGO S.K.F.**



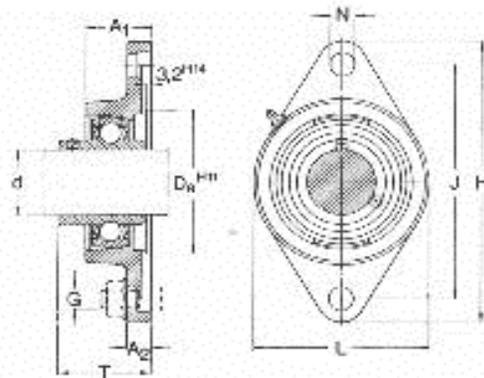
Dimensiones		Capacidad de carga dinám. C_{10}	Capacidad de carga estática C_0	Carga límite de fatiga P_u	Masa Rod. m_{rod}	Designaciones Rodamientos							
d	d_1					B	C	s	$f_{1,2}$ mm	sin espaldadores	con 2 espaldadores	con 2 espaldadores fijados	
milg	mm	N	N	N	kg	-	-	-	-				
1/8	24,2	40	27,8	12	11,5	0,2	7 350	4 700	140	0,084	YAR 203-010	YAR 203-010-2F	YAR 203-010-2FF
1/4	24,2	40	27,8	12	11,5	0,2	7 350	4 700	140	0,103	YAR 203-011	YAR 203-011-2F	YAR 203-011-2FF
3/8	28,2	47	31	14	12,7	0,5	8 500	5 000	140	0,14	YAR 204-012	YAR 204-012-2F	YAR 204-012-2FF
1/2	32,7	52	34,1	15	14,8	0,5	10 000	7 000	212	0,21	YAR 205-018	YAR 205-018-2F	YAR 205-018-2FF
5/8	32,7	52	34,1	15	14,8	0,5	10 000	7 000	212	0,20	YAR 205-014	YAR 205-014-2F	YAR 205-014-2FF
1	37,7	57	34,1	15	14,8	0,5	10 000	7 000	212	0,10	YAR 205-015	YAR 205-015-2F	YAR 205-015-2FF
1 1/8	37,7	57	34,1	15	14,8	0,5	10 000	7 000	212	0,17	YAR 205-100	YAR 205-100-2F	YAR 205-100-2FF
1 1/4	35,7	62	35,1	18	15,8	0,5	15 000	11 000	315	0,30	YAR 206-102	YAR 206-102-2F	YAR 206-102-2FF
1 3/8	35,7	62	35,1	18	15,8	0,5	15 000	11 000	315	0,27	YAR 206-103	YAR 206-103-2F	YAR 206-103-2FF
1 1/2	39,7	62	35,1	18	15,8	0,5	15 000	11 000	315	0,25	YAR 206-104	YAR 206-104-2F	YAR 206-104-2FF
1 5/8	45,7	72	42,9	19	17,5	1	19 000	15 000	455	0,46	YAR 207-104	YAR 207-104-2F	YAR 207-104-2FF
1 3/4	45,7	72	42,9	19	17,5	1	19 000	15 000	455	0,41	YAR 207-105	YAR 207-105-2F	YAR 207-105-2FF
1 7/8	45,7	72	42,9	19	17,5	1	19 000	15 000	455	0,41	YAR 207-106	YAR 207-106-2F	YAR 207-106-2FF
2	46,1	72	42,9	19	17,5	1	19 000	15 000	455	0,33	YAR 207-107	YAR 207-107-2F	YAR 207-107-2FF
2 1/8	51,8	80	49,2	21	19	1	28 000	19 000	500	0,74	YAR 208-108	YAR 208-108-2F	YAR 208-108-2FF
2 1/4	51,8	80	49,2	21	19	1	28 000	19 000	500	0,59	YAR 208-109	YAR 208-109-2F	YAR 208-109-2FF
2 3/8	56,8	85	49,2	22	19	1	25 500	21 000	540	0,70	YAR 209-110	YAR 209-110-2F	YAR 209-110-2FF
2 1/2	56,8	85	49,2	22	19	1	25 500	21 000	540	0,67	YAR 209-111	YAR 209-111-2F	YAR 209-111-2FF
2 5/8	56,8	85	49,2	22	19	1	25 500	21 000	540	0,62	YAR 209-112	YAR 209-112-2F	YAR 209-112-2FF
3	62,5	10	51,8	22	19	1	27 000	21 000	525	0,75	YAR 210-114	YAR 210-114-2F	YAR 210-114-2FF

**ANEXO 8.
SOPORTES DE PIÉ CON RODAMIENTOS “Y”, FUNDICIÓN, PARA EJES EN PULGADAS. CATÁLOGO S.K.F.**



Dimensiones													Máx.	Designaciones Unidos ^{II} completos	Soporte	Rodamiento Y
d	A	A ₁	H	H ₁	H ₂	J	J	L	N	N ₁	G	S ₁				
mm													kg	-		
1/2	32	18	38	30,2	14	88	105	127	20,5	11,5	10	22,1	0,58	SY 5/8 FM	SY 503 M	YET 203-010
												29,4	0,54	SY 5/8 WM	SY 503 M	VEL 203-010
												15,9	0,20	SY 5/8 TF	SY 503 M	YAR 203-010-2F
1 1/4	32	18	38	30,2	14	88	108	127	20,5	11,5	10	22,1	0,52	SY 1 1/8 FM	SY 503 M	YET 203-011
												21,4	0,53	SY 1 1/8 WM	SY 503 M	VEL 203-011
												16,0	0,20	SY 1 1/8 TF	SY 503 M	YAR 203-011-2F
3/4	32	20	64	33,3	14	88	106	127	20,5	11,5	10	23,5	0,60	SY 3/4 FM	SY 504 M	YET 204-012
												26,6	0,63	SY 3/4 WM	SY 504 M	VEL 204-012
												18,3	0,27	SY 3/4 TF	SY 504 M	YAR 204-012-2F
1 1/8	38	21	70	38,5	18	94	110	130	19,5	11,5	10	23,5	0,77	SY 1 1/8 FM	SY 505 M	YET 205-013
												28,9	0,83	SY 1 1/8 WM	SY 505 M	VEL 205-013
												19,6	0,75	SY 1 1/8 TF	SY 505 M	YAR 205-013-2F
1 1/2	38	21	70	38,5	18	94	110	130	19,5	11,5	10	23,5	0,78	SY 1 1/2 FM	SY 505 M	YET 205-014
												26,9	0,81	SY 1 1/2 WM	SY 505 M	VEL 205-014
												19,6	0,75	SY 1 1/2 TF	SY 505 M	YAR 205-014-2F
1 3/4	38	21	70	38,5	18	94	110	130	19,5	11,5	10	23,5	0,75	SY 1 3/4 FM	SY 505 M	YET 205-015
												25,9	0,77	SY 1 3/4 WM	SY 505 M	VEL 205-015
												19,6	0,77	SY 1 3/4 TF	SY 505 M	YAR 205-015-2F
1	35	21	70	35,5	18	94	110	130	19,5	11,5	10	23,5	0,73	SY 1 FM	SY 505 M	YET 205-100
												25,9	0,77	SY 1 WM	SY 505 M	VEL 205-100
												19,6	0,72	SY 1 TF	SY 505 M	YAR 205-100-2F
1 1/2	40	25	62	42,9	17	105	127	152	23,5	14	12	25,7	1,15	SY 1 1/2 FM	SY 505 M	YET 205-102
												30,1	1,20	SY 1 1/2 WM	SY 505 M	VEL 205-102
												22,2	1,10	SY 1 1/2 TF	SY 505 M	YAR 205-102-2F
1 3/4	40	25	62	42,9	17	105	127	152	23,5	14	12	25,7	1,10	SY 1 3/4 FM	SY 505 M	YET 205-103
												30,1	1,20	SY 1 3/4 WM	SY 505 M	VEL 205-103
												22,2	1,10	SY 1 3/4 TF	SY 505 M	YAR 205-103-2F

**ANEXO 9.
SOPORTES DE BRIDAS CON RODAMIENTOS "Y", FUNDICIÓN, PARA EJES
EN PULGADAS. CATÁLOGO S.K.F.**



Dimensiones										Masa		Designaciones unidades ¹⁾ completa	Soporo	Reformado Y
d	A ₁	A ₂	D ₂	H	J	L	N	G	T	kg	-			
5/8	25	11	50,0	30,5	75,5	37	11,5	10	39,1 40,4 32,9	0,42 0,43 0,38	FYTB 5/8 FM FYTB 5/8 WM FYTB 5/8 TF	FYTB 503 M FYTB 503 M FYTB 503 M	YEL 203-010 YEL 203-010 YAR 203-010-2F	
1 1/8	26	11	50,8	28,5	75,5	37	11,5	10	38,1 40,4 32,9	0,41 0,43 0,38	FYTB 1 1/8 FM FYTB 1 1/8 WM FYTB 1 1/8 TF	FYTB 503 M FYTB 503 M FYTB 503 M	YET 203-011 YEL 203-011 YAR 203-011-2F	
3/4	25,2	11	50,0	11,7	30	35,5	11,5	10	42,5 45,8 37,3	0,58 0,58 0,50	FYTB 3/4 FM FYTB 3/4 WM FYTB 3/4 TF	FYTB 504 M FYTB 504 M FYTB 504 M	YEL 204-012 YEL 204-012 YAR 204-012-2F	
1 1/4	30	12	59,5	124	89	70	11,5	10	42,5 45,8 38,2	0,58 0,74 0,67	FYTB 1 1/4 FM FYTB 1 1/4 WM FYTB 1 1/4 TF	FYTB 505 M FYTB 505 M FYTB 505 M	YEL 205-013 YEL 205-013 YAR 205-013-2F	
7/8	30	12	63,5	124	93	70	11,5	10	42,5 45,8 38,2	0,67 0,72 0,69	FYTB 7/8 FM FYTB 7/8 WM FYTB 7/8 TF	FYTB 505 M FYTB 505 M FYTB 505 M	YET 205-014 YEL 205-014 YAR 205-014-2F	
1 1/2	30	12	60,0	124	89	70	11,5	10	42,5 45,8 38,2	0,66 0,71 0,64	FYTB 1 1/2 FM FYTB 1 1/2 WM FYTB 1 1/2 TF	FYTB 505 M FYTB 505 M FYTB 505 M	YEL 205-015 YEL 205-015 YAR 205-015-2F	
1	30	12	63,5	124	89	70	11,5	10	42,5 45,8 38,2	0,64 0,68 0,63	FYTB 1 FM FYTB 1 WM FYTB 1 TF	FYTB 505 M FYTB 505 M FYTB 505 M	YET 205-100 YEL 205-100 YAR 205-100-2F	
1 1/8	32,5	13	76,2	141,5	118,5	83	11,5	10	45,7 50,1 42,2	0,67 1,00 0,63	FYTB 1 1/8 FM FYTB 1 1/8 WM FYTB 1 1/8 TF	FYTB 506 M FYTB 506 M FYTB 506 M	YET 206-102 YEL 206-102 YAR 206-102-2F	
1 3/8	32,5	13	76,2	141,5	116,0	83	11,5	10	45,7 50,1 42,2	0,95 1,00 0,62	FYTB 1 3/8 FM FYTB 1 3/8 WM FYTB 1 3/8 TF	FYTB 506 M FYTB 506 M FYTB 506 M	YEL 206-103 YEL 206-103 YAR 206-103-2F	

**ANEXO 10.
VIDA ÚTIL DE DISEÑO RECOMENDADA PARA RODAMIENTOS**

Uso	Vida útil de diseño $L_{m, h}$
Aparatos domésticos	1 000–2 000
Motores para aviones	1 000–4 000
Aeromotoriz	1 500–5 000
Equipo agrícola	3 000–6 000
Elevadores, ventiladores industriales, engranes de uso múltiple	8 000–15 000
Motores eléctricos, ventiladores industriales con tolva, máquinas industriales en general	20 000–30 000
Bombos y compresoras	40 000–60 000
Equipo crítico en operación continua las 24 horas	100 000–200 000

ANEXO 11.
CARACTERÍSTICAS DE ROSCAS MÉTRICAS DE PASO FINO Y DE PASO
BASTO (Todas las dimensiones están en milímetros)

DIÁMETRO MAYOR NOMINAL d	SERIE DE PASO BASTO			SERIE DE PASO FINO		
	PASO p	ÁREA DE ESFUERZO DE TENSIÓN A_t	ÁREA AL DIÁMETRO MENOR A_s	PASO p	ÁREA DE ESFUERZO DE TENSIÓN A_t	ÁREA AL DIÁMETRO MENOR A_s
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104 _h	1.5	125	116
16	2	157	144	1.5	167	157
20	2.5	245	225	1.5	272	259
24	3	353	324	2	384	365
30	3.5	561	519	2	621	596
36	4	817	759	2	915	884
42	4.5	1120	1050	2	1260	1230
48	5	1470	1380	2	1670	1630
56	5.5	2030	1910	2	2300	2250
64	6	2680	2520	2	3030	2980
72	6	3460	3280	2	3860	3800
80	6	4340	4140	1.5	4850	4800
90	6	5590	5360	2	6100	6020
100	6	6990	6740	2	7560	7470
110				2	9180	9080

**ANEXO 12.
CARACTERÍSTICAS DE ROSCAS UNIFICADAS UNC**

DESIGNACIÓN DE TAMAÑO	DIÁMETRO MAYOR NOMINAL d	SERIE BASTA-JUNC		
		HILOS POR PULGADA N	ÁREA DE ESFUERZO DE TENSIÓN A_t , in ²	ÁREA AL DIÁMETRO MENOR A_s , in ²
0	0.0600			
1	0.0730	64	0.002 63	0.002 18
2	0.0860	56	0.003 70	0.003 10
3	0.0990	48	0.004 87	0.004 06
4	0.1120	40	0.006 04	0.004 96
5	0.1250	40	0.007 96	0.006 72
6	0.1380	32	0.009 09	0.007 45
8	0.1640	32	0.014 0	0.011 96
10	0.1900	24	0.017 5	0.014 50
12	0.2160	24	0.024 2	0.020 6
$\frac{1}{4}$	0.2500	20	0.031 8	0.026 9
$\frac{5}{16}$	0.3125	18	0.052 4	0.045 4
$\frac{3}{8}$	0.3750	16	0.077 5	0.067 8
$\frac{7}{16}$	0.4375	14	0.106 5	0.093 3
$\frac{1}{2}$	0.5000	13	0.141 9	0.125 7
$\frac{9}{16}$	0.5625	12	0.182	0.162
$\frac{5}{8}$	0.6250	11	0.226	0.202
$\frac{3}{4}$	0.7500	10	0.334	0.302
$\frac{7}{8}$	0.8750	9	0.462	0.419
1	1.0000	8	0.606	0.551
1 1/8	1.2500	7	0.969	0.890
1 1/2	1.5000	6	1.405	1.294

**ANEXO 13.
ESPECIFICACIONES SAE PARA PERNOS DE ACERO.**

GRADO SAE Núm.	INTERVALO DE TAMAÑOS, INCLUSIVE in	RESISTENCIA LÍMITE MÍNIMA A LA TENSIÓN kpsi	RESISTENCIA ÚLTIMA MÍNIMA A LA TENSIÓN kpsi	RESISTENCIA DE FLUENCIA MÍNIMA A LA TENSIÓN kpsi	MATERIAL	MARCA DE CABEZA
1	1-1½	33	60	36	Acero de mediano o bajo carbono	
2	1-1½	55 33	74 60	57 36	Acero de mediano o bajo carbono	
4	1-1½	65	115	100	Acero de mediano carbono, estrado en frío	
5	1-1½	85 74	120 105	92 81	Acero de mediano carbono, templado y revenido (T y R)	
5.2	1-1½	85	120	92	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
7	1-1½	105	133	115	Acero de aleación de mediano carbono, T y R	
8	1-1½	120	150	130	Acero de aleación de mediano carbono, T y R	
8.2	1-1½	120	150	130	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	

**ANEXO 14.
GENERALIDADES DE LA RESISTENCIAS DE BANDA**

Resistencias tipo banda

- Resistencias para cualquier necesidad de generación de calor para muy diversas aplicaciones.
- Fabricación en acero al carbón para temperatura máxima de 350 G.C y forro de acero inoxidable para altas temperaturas (hasta 540 G.C.) y fabricación en latón.
- Construcción con núcleo de mica o núcleo de cerámica.
- Diseños a medida o bajo especificaciones del cliente.
- Diseños especiales.
- Construcción estándar o media luna (opcional).
- Caja de conexiones (opcional).
- Tipo de cierre, tipo tornillo, tipo allen, tipo cincho, tipo cinturón.
- Terminales de tornillo, tipo plancha, con cable de alta temperatura.
- Alambre de aleación cromo.niquel (80% Ni 20% Cr.) de alta graduación.
- Cerámica (esteatita) alto nivel dieléctrico.



APLICACIONES MAS COMUNES:

- ▶ Inyección, extrusión y moldeado de plásticos.
- ▶ Calentamiento de tanques.
- ▶ Calentamiento de tuberías.
- ▶ Autoclaves.
- ▶ Industria en general.

ANEXO 15. CONTROLADOR DE TEMPERATURA



Una valiosa herramienta para todas las aplicaciones básicas de control de temperatura

El controlador de temperatura Serie 93 es un dispositivo basado en un microprocesador, de tamaño compacto (48 mm x 48 mm, 1/4 DIN) y diseñado con una entrada individual y dos salidas. Ofrece características de sintonización automática de calentamiento/enfriamiento, rampa al punto establecido, alarmas variadas y límite de potencia en porcentaje. Como opciones, ofrece pantallas de color rojo y verde, fuente de alimentación universal de bajo y alto voltaje, cumplimiento con la norma CE y un cierre de categoría IP65 (NEMA 4X).

Los equipos de la Serie 93 de Watlow son sometidos a pruebas para comprobar su cumplimiento con las normas IP65 (NEMA 4X) referentes a sus características de hermeticidad y resistencia a la corrosión (opcional). Estas características lo convierten en un equipo ideal para la industria de procesamiento de alimentos, empaque, instrumentos médicos y otras aplicaciones que requieren limpiezas frecuentes del equipo. Es posible limpiar el panel delantero con una manguera o con un trapo sin dañar el controlador.

El tamaño compacto del controlador facilita su adaptación en ambientes caracterizados por falta de espacio tales como los de equipos montados en bancos.

Asimismo, los modelos de la Serie 93 ofrecen muchas de las características ofrecidas normalmente por los equipos Watlow, tales como doble pantalla digital, exactitud del ± 0.1 por ciento del rango, una amplia gama de condiciones ambientales de funcionamiento (de 0°C a 65°C a 115V~ [CA de potencia de voltaje de línea], y facilidad de configuración gracias a sus indicaciones sencillas.

Los modelos de la Serie 93 están fabricados por Watlow Controls, una división de Watlow que cuenta con la aprobación de la norma ISO 9001 y están respaldados por una garantía de tres años.

Características y ventajas

Pantalla doble

- Exhibe el punto establecido y la temperatura real del proceso.

Salida doble

- Con capacidad de calentamiento y enfriamiento.

Certificación IP65 (NEMA 4X) (BSEN)

- Resistencia al polvo y a la humedad.

Entradas universales

- Para una amplia variedad de entradas de sensor.

Rampa al punto establecido

- Controla el aumento de la temperatura.

Limitación de potencia en porcentaje

- Evita la imposición de esfuerzos en los componentes.

Característica de bloqueo

- Ofrece alta seguridad.

Exactitud de ± 0.1 por ciento

- Ofrece una excelente precisión de rango.

WATLOW

MEX-93-99 (1726)

Watlow de México S.A. de C.V.

Av. Fundación 5
Col. Parques Industriales,
Querétaro, Qro. México CP 76130
Teléfono: +52 (42) 17-6235; FAX: +52 (42) 17-6403

Watlow Controls

1241 Bundy Boulevard
Winona, Minnesota 55997-4873 EE. UU.
Teléfono: +1 (507) 454-5900
FAX: +1 (507) 452-4507

Internet: www.watlow.com



ISO 9001



ANEXO 16.

ESPECIFICACIONES DEL CONTROLADOR DE TEMPERATURA.

Especificaciones (1727)**Modo de control e interfaz del usuario**

- Modos de control por microprocesador, a elección del usuario
- Entrada individual, salida doble
- Rampa al punto establecido: 0 a 9999 grados o unidades por hora
- Sintonización automática de calentamiento / enfriamiento

Exactitud

- Exactitud de calibración y conformidad del sensor: $\pm 0.1\%$ del rango, $\pm 1^\circ\text{C}$ a $25^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ temperatura ambiente y voltaje de línea nominal
- Rango de exactitud: 540°C (mínimo)
- Estabilidad térmica: máxima ± 0.1 grados por grado de cambio a la temperatura ambiente

Sensores/Entradas

- Termopar, sensores con o sin conexión a tierra
- RTD 2 ó 3 cables, platino, 100Ω a 0°C , calibración a curva DIN ($0.00385\Omega/\Omega^\circ\text{C}$) o curva JIS ($0.003916\Omega/\Omega^\circ\text{C}$); a elección del usuario
- Proceso, 4-20 mA a 5Ω , o 0-5V= (CC) a $10\text{ k}\Omega$ de impedancia de entrada
- Diseñado con protección contra corte del sensor (desactiva la salida del control para proteger el sistema), o selección de transferencia sin sobresaltos a funcionamiento manual
- Presentación en $^\circ\text{C}$, $^\circ\text{F}$, o unidades de proceso (a elección del usuario)

Rangos de entrada**Termopar**

Tipo J	0 a 750°C
Tipo K	-200 a 250°C
Tipo N	0 a 1250°C
Tipo S	0 a 1450°C
Tipo T	-200 a 350°C

Resolución RTD (DIN o JIS)

1"	-200 a 700°C
0.1"	-128.8 a 537.7°C

Proceso

- 4-20 mA a 5Ω , o -999 a 9999 unidades
- 0-5V= (CD) a $10\text{ k}\Omega$, o -999 a 9999 unidades

Especificaciones de salida

- Relé electromecánico¹, forma C, 5 Amp. a $120/240\text{V}\sim$ (CA) máxima, sin supresión de contacto, carga resistiva nominal, 5 Amp. a $30\text{V}\sim$ (CD)3. Mínima corriente de contacto, 100 mA a $5\text{V}\sim$ (CD)
- Señal de CC conmutada, que proporciona un mínimo giro no aislado en voltaje de $3\text{V}\sim$ (CD) en una carga mínima de 500Ω ; máximo en voltajes no mayores que $12\text{V}\sim$ (CD) en una carga infinita
- Carga de 4-20 mA inversa o directa, no aislada de 0 a 800Ω
- Relé de estado sólido², forma A, 0.5 Amp. a $24\text{V}\sim$ (CA) mín., $265\text{V}\sim$ (CA) máx., conmutación de disparo rápido con aislamiento óptico, sin supresión de contacto. La impedancia de salida de desconexión es $31\text{ M}\Omega$

Configuraciones de salida

- Salida 1
Encendido/apagado: P, PI, PD, PID, acción de calentamiento (inversa) o enfriamiento (directa)
- Salida 2
Control con acción opuesta a la de la salida 1 (calentamiento o enfriamiento)

Voltaje/Potencia de línea

- $100\text{-}240\text{V}\sim$ (CA), -15%, +10%4; (85-264V~ [CA]) 50/60 Hz, $\pm 5\%$
- $12\text{-}24\text{ V}\sim$ (CA/CD), +10%, -15%; (10-26 V~ [CA/CC]) 50/60 Hz, $\pm 5\%$
- Máximo consumo de potencia: 12 VA (100 a $240\text{V}\sim$), 7 VA (12 a $24\text{ V}\sim$)
- Retención de datos mediante memoria no volátil en caso de interrupción del servicio eléctrico

Condiciones de funcionamiento⁹

- 0 a 65°C
- 0 a 90% de humedad relativa (sin condensación)

Terminales

- Terminales de tornillo, cabeza universal, compresión, tamaño 6, acepta calibres 20-14 AWG (American Wire Gauge)

Dimensiones**Totales:**

- Alto: 53 mm (48 mm de recorte del panel)
- Ancho: 53 mm (48 mm de recorte del panel)
- Profundidad: 119 mm (profundidad detrás de la superficie del panel: 104 mm)

Peso: 0.2 kg**Certificaciones de organismos y Normas**

- CE: 89/336/EEC (EN 50082-2, IEN 50081-2), 73/23/EEC (EN61010-1)
- UL508⁸, C-UL, CE, NEMA 4X (IP 65), número de archivo E102269

Información de pedido (1728)**Opción IP65³ (NEMA 4X)**

- A = Sin categoría IP65 (NEMA 4X)
- B = Con categoría IP65 (NEMA 4X)

Opción CE

- A = Sin certificación de CE
- B = Con certificación de CE

Salida 1

- C = Salida de CD conmutada, no aislada
- D = Relé electromecánico, forma C, 5 Amp., sin supresión de contacto¹⁰
- F = Proceso, 4-20 mA (CD), no aislada
- K = Relé de estado sólido, forma A, 0.5 Amp., sin supresión de contacto¹¹

Salida 2

- A = ninguna.
- C = Salida de CD conmutada, no aislada
- D = Relé electromecánico, forma C, 5 Amp., sin supresión de contacto¹⁰
- K = Relé de estado sólido, forma A, 0.5 Amp., sin supresión de contacto¹¹

Voltaje/Potencia de línea

- 0 = 100 a $240\text{V}\sim$ (CA) nominal (alto voltaje)
- 1 = 12 a $24\text{ V}\sim$ (CA/CD) (bajo voltaje)

Software

- 0G = Los parámetros predeterminados son en unidades del Sistema Internacional (SI). ($^\circ\text{C}$, integral, derivativa, banda proporcional en porcentaje del rango).

Pantalla

- Superior/Inferior
- RR = Rojo/Rojo
- RG = Rojo/Verde
- GR = Verde/Rojo
- GG = Verde/Verde

¹⁰ Los relés electromecánicos están garantizados únicamente para 100,000 cierres. Se recomienda el uso de dispositivos de conmutación de estado sólido para aplicaciones que requieran tiempos de ciclo rápidos o una larga vida en servicio.

¹¹ La categoría IP65 (NEMA 4X) requiere un espesor de montaje mínimo de 1.5 mm y un acabado superficial con una rugosidad no mayor que 0.000812 mm.

⁸ Para la conmutación de cargas inductivas (bobinas de relé, etc.), se requiere el empleo de un supresor de resistencia y capacitancia.

⁹ Se requiere una condiciones de funcionamiento de 0 a 60°C para voltajes superiores a 240 V.