

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS

FACULTAD TÉCNICA

CARRERA MECÁNICA INDUSTRIAL



PROTOTIPO DE EXTRUSOR PARA QUINUA

Proyecto de Grado presentado para la obtención del Grado de Licenciatura

POR: EDDY QUIROZ SILLO

TUTOR: HUMBERTO COJINTO ALBA

CO – TUTOR: ARTURO EDGAR REYNAGA NAVA

LA PAZ – BOLIVIA

2012

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD TÉCNICA
CARRERA MECÁNICA INDUSTRIAL

Proyecto de Grado:

PROTOTIPO DE EXTRUSOR PARA QUINUA

Presentado por: **Univ. Eddy Quiroz Sillo**

Para optar el grado académico de Licenciado en Mecánica Industrial

Nota numeral:

Nota literal:

Ha sido

Director de la carrera Mecánica Industrial: Lic. Gonzalo Alejandro Gerl Pardo

Tutor: Ing. Humberto Cojinto Alba

Co – Tutor : Lic. Arturo Edgar Reynaga Nava

Tribunal: Lic. Max Ponce Flores

Tribunal: Ing. Edgar Quintanilla Quiroga

Tribunal: Ing. Marco Velasco Olivarez

DEDICATORIA

**A mi madre Concepción y hermano
David, por su paciencia y confianza
depositada en mí.**

AGRADECIMIENTOS

“Si he hecho descubrimientos invaluable ha sido más por tener paciencia que a cualquier otro talento” Isaac Newton.

“Donde hay una empresa de éxito, alguien tomó alguna vez una decisión valiente”

A Dios todopoderoso por darme salud y virtud.

A Jesucristo cuya vida es un ejemplo a seguir.

A mi padre Clovis quien estuvo viendo por mí desde el cielo.

A mi madre Concepción por ser tan paciente y comprensiva.

A mi hermano David por haberme ayudado.

A mi Familia por todo su apoyo.

Al Director de la Carrera de Mecánica Industrial

Lic. Gonzalo Alejandro Gerl Pardo.

Al Tutor Ing. Humberto Cojinto Alba.

Al Co-Tutor Lic. Arturo Edgar Reynaga Nava.

Al Tribunal

Lic. Max Ponce Flores

Ing. Edgar Quintanilla Quiroga

Ing. Marco Velasco Olivarez

A los catedráticos de la Facultad Técnica – Mecánica Industrial.

A los compañeros de aula.

A todas las personas que me colaboraron en el presente Proyecto de Grado.

ÍNDICE DE CONTENIDO	Pag.
CALIFICACIONES	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE ECUACIONES	XIII
ÍNDICE DE PLANOS	XV
SÍMBOLOS.....	XVI
ABREVIATURAS	XIX
RESUMEN.....	XX
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1.....	3
MARCO REFERENCIAL	3
1.1 ANTECEDENTES	3
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	4
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.4 OBJETIVOS.....	6
1.4.1 Objetivo general	6
1.4.2 Objetivos específicos	6
1.5 METODOLOGÍA	6
CAPÍTULO 2.....	8
MARCO TEÓRICO	8
2.1 EXTRUSOR DE TORNILLO SIMPLE.....	8
2.1.1 Clasificación basada en la amplitud de cizallamiento.....	9
2.1.1.1 Extrusores de moldeo frío	9
2.1.1.2 Extrusores de moldeo de alta presión.....	9
2.1.1.3 Extrusores de cocción de bajo cizallamiento	9

2.1.1.4	Extrusores de collares	10
2.1.1.5	Extrusores de cocción de alto cizallamiento	10
2.1.2	Clasificación basada en la generación de calor.....	11
2.1.2.1	Los extrusores adiabáticos (autógenos)	11
2.1.2.2	Los extrusores politrónicos	11
2.1.3	Clasificación basada en su diseño	12
2.1.3.1	Extrusores sólidos de tornillo simple	12
2.1.3.2	Expandidor – extrusor de rosca interrumpida	13
2.1.3.3	Extrusores segmentados de tornillo único	14
2.2	EXTRUSORES DE TORNILLO DOBLE	16
2.3	EXTRUSIÓN SECA	17
2.4	LA QUINUA REAL (CHENOPODIUM QUINOA WILLD).....	18
2.4.1	Propiedades del grano de quinua real.....	19
2.5	PROCESO DE EXTRUSIÓN DE CEREALES	20
2.6	CEREALES PARA DESAYUNO.....	21
2.6.1	Cereales para desayuno expandidos y cocidos por extrusión	23
2.6.2	Cereales para desayuno aglomerados en copos cocidos por extrusión	23
2.7	LA GAMA DE PRODUCTOS	24
CAPÍTULO 3.....		26
ADAPTACIÓN TECNOLÓGICA Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS.....		26
3.1	ARGUMENTOS	26
3.2	ESQUEMA DE LA MÁQUINA EXTRUSORA PARA QUINUA.....	27
3.2.1	Descripción de la máquina	27
3.3	ELECCIÓN DE MATERIALES	30
3.3.1	Acero AISI – SAE 1045.....	30
3.3.2	Acero inoxidable	31
3.3.3	Conclusión	32
3.4	DISEÑO Y CÁLCULO DE RESISTENCIA DE MATERIALES	32
3.4.1	Parámetros fundamentales de entrada.....	32
3.4.2	Datos de entrada según bibliografía.....	34

3.4.3	Cálculos del diseño	35
3.4.3.1	Tornillo simple de extrusión	35
3.4.3.2	Potencia del motor.....	46
3.4.3.3	Camisas del tornillo de extrusión.....	48
3.4.3.4	Sistema de transmisión.....	51
3.4.3.5	Pernos y tuercas.....	52
3.4.3.6	Chavetas	57
3.4.3.7	Dilatación térmica	58
3.4.3.8	Rodamientos.....	60
3.4.3.8.1	Rodamiento rígido de bolas.....	60
3.4.3.8.2	Rodamiento de rodillos cónicos	62
3.4.3.9	Troquel	64
3.4.3.10	Estructura metálica del extrusor para quinua	66
3.4.3.11	Tolva de alimentación.....	69
3.4.3.12	Sistema eléctrico	70
CAPÍTULO 4	.....	72
CONSTRUCCIÓN DEL EXTRUSOR PARA QUINUA	.....	72
CAPÍTULO 5	.....	75
COSTO DE CONSTRUCCIÓN DEL EXTRUSOR PARA QUINUA	.....	75
CAPÍTULO 6	.....	79
FUNCIONAMIENTO DEL EXTRUSOR PARA QUINUA	.....	79
6.1	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	79
6.1.1	Prueba en vacío	79
6.1.2	Pruebas con maíz.....	82
6.1.2.1	Prueba con previo calentamiento, el par de tornillos de 2 entradas, paso ficticio de 15 mm y 12,7 mm	82
6.1.2.2	Prueba con previo calentamiento, el par de tornillos de una entrada, paso 15 mm y 12,7 mm	83
6.1.3	Pruebas con quinua.	84

6.1.3.1 Prueba sin previo calentamiento, el par de tornillos de una entrada, paso 15 mm y 12,7 mm	84
6.1.3.2 Prueba con previo calentamiento, el par de tornillos de una entrada, paso 15 mm y 12,7 mm	86
6.2 GUÍA DE FUNCIONAMIENTO DEL EXTRUSOR PARA QUINUA	87
6.3 OBSERVACIONES	90
CAPÍTULO 7.....	91
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	91
7.1 CONCLUSIONES	91
7.2 RECOMENDACIONES.....	92
REFERENCIAS	93
GLOSARIO.....	97
ANEXOS.....	101
Anexo I	101
Ficha técnica del acero AISI-SAE 1045	101
Anexo II.....	102
Ficha técnica de rosca métrica ISO.....	102
Anexo III.....	103
Rodamiento rígido de bolas	103
Anexo IV.....	104
Rodamiento de rodillos cónicos.....	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Pag.

FIGURA 1. Componentes básicos del extrusor de tornillo único sólido.....	12
FIGURA 2. Sección transversal de un expandidor de rosca interrumpida.	14
FIGURA 3. Sección transversal de un extrusor segmentado de tornillo único.	15
FIGURA 4. Cereales para desayuno.	25
FIGURA 5. Esquema del extrusor para quinua.	27
FIGURA 6. Apoyo principal del husillo.....	29
FIGURA 7. Tornillo de extrusión.	35
FIGURA 8. Zona de alimentación.	41
FIGURA 9. Fuerza aplicando el coeficiente de fricción.	42
FIGURA 10. Diagrama de cuerpo libre del husillo principal.	43
FIGURA 11. Esquema del husillo principal.	43
FIGURA 12. Dimensiones para determinar la fórmula del caudal másico.....	46
FIGURA 13. Sección del conjunto de tornillo y camisa de extrusión.	47
FIGURA 14. Camisas del tornillo de extrusión y sección de las camisas.	48
FIGURA 15. Diagrama esfuerzo-deformación.	49
FIGURA 16. Sea una barra de acero al bajo carbono (A-36) sujeta a tensión con sección circular.....	50
FIGURA 17. Poleas y correas del extrusor para quinua.	51
FIGURA 18. Sección de las correas trapeciales. (Casillas, 1988).....	52
FIGURA 19. Perno, volanda plana, volanda de presión y tuerca.	56
FIGURA 20. Sección del chavetero y la chaveta plana.	57
FIGURA 21. Rodamiento rígido de bolas.....	61
FIGURA 22. Rodamiento de rodillos cónicos y sección de la camisa con rodamientos.	64
FIGURA 23. Troquel del extrusor para quinua.	65
FIGURA 24. Fuerzas que soportará la estructura.	66
FIGURA 25. Perfiles calculados por el SAP2000 v14.	66
FIGURA 26. Perfiles de la estructuras en 3D.	67
FIGURA 27. Tolva cónica en 3D.	69
FIGURA 28. Sección de la garganta de alimentación.	70

FIGURA 29. Diseño final del prototipo de extrusor en 3D.	72
FIGURA 30. Cortando cilindro con amoladora y cilindros para camisas.	73
FIGURA 31. Piso y mesa del tornillo soldados y los elementos del extrusor.	73
FIGURA 32. Elementos ensamblados del extrusor casi terminado.	74
FIGURA 33. Partes del extrusor pintadas y el extrusor terminado.	74
FIGURA 34. Tornillo simple de extrusión con sus tornillos intercambiables.	79
FIGURA 35. Tornillo simple y la camisa de alimentación.	80
FIGURA 36. Tornillo simple de extrusión con su camisa de alimentación y camisa de amasado.	81
FIGURA 37. Extrusor para quinua completamente ensamblado.	82
FIGURA 38. Producto extruido sin troquel.	83
FIGURA 39. Maíz preacondicionado y extruido.	84
FIGURA 40. Quinua extruida sin previo calentamiento.	86
FIGURA 41. Quinua preacondicionada y extruida.	87
FIGURA 42. Extrusor para quinua terminado con el sistema eléctrico instalado.	87
FIGURA 43. Maíz , quinua preacondicionados y extruidos.	89

ÍNDICE DE TABLAS

Pag.

TABLA 1. Clasificación de extrusores de tornillo único (Riaz Mian, 2000).	34
TABLA 2. Condiciones típicas de procesado para productos de esfuerzo cortante alto (Riaz Mian, 2000).	35
TABLA 3. Resistencia del husillo principal a la torsión.	37
TABLA 4. Dimensiones del tornillo simple de extrusión.	45
TABLA 5. Dimensiones de los pasos.	46
TABLA 6. Potencia que requiere el extrusor para quinua.	47
TABLA 7. Espesor de la camisa del tornillo de extrusión.....	49
TABLA 8. Sistema de transmisión por correas trapeciales D 120. (Casillas, 1988)	51
TABLA 9. Cálculo del número de pernos hexagonal M12 x 1,75 grado 8,8 para las camisas. (Deutsche, 1985).....	53
TABLA 10. Cálculo del número de pernos Allen M 6 x 1 grado 8,8.....	53
TABLA 11. Cálculo del número de pernos Allen M 8 x 1,25 grado 8,8.....	54
TABLA 12. Cálculo del número de pernos hexagonal M 12 x 1,75 grado 8,8 para sujetar el motor y la base del extrusor.....	55
TABLA 13. Cantidad calculada de pernos, tuercas y volandas.	55
TABLA 14. Cantidad de pernos, tuercas y volandas de los demás elementos.	56
TABLA 15. Longitud de la chaveta plana.	58
TABLA 16. Dilatación térmica del tornillo de extrusión.	59
TABLA 17. Dilatación térmica de la camisa de extrusión.	59
TABLA 18. Holgura entre el tornillo y la camisa de extrusión. En frío y en caliente.....	60
TABLA 19. Vida nominal útil del rodamiento rígido de una sola hilera NTN 6008 ZZ. (Catálogo de rodamientos, 2011) anexo II.....	61
TABLA 20. Vida nominal útil del rodamiento cónico NTN 4T-32008X. (Catálogo de rodamientos, 2011) anexo III	63
TABLA 21. Diseño de la boquilla del troquel.	65
TABLA 22. Diseño de la estructura metálica.	67
TABLA 23. Material requerido para la estructura y accesorios.	68
TABLA 24. Diseño de la tolva de alimentación.	69

TABLA 25. Datos nominales del motor ABB marca SIEMENS que se está utilizando.	70
TABLA 26. Datos nominales del breaker.	71
TABLA 27. Datos nominales del cable.	71
TABLA 28. Datos nominales del variador de frecuencia SIEMENS MM 420.	71
TABLA 29. Resistencia eléctrica. (opcional)	71
TABLA 30. Costo invertido en la construcción del prototipo.	75
TABLA 31. Costo mínimo aproximado en la construcción del prototipo.	77

ÍNDICE DE ECUACIONES

Pag.

ECUACIÓN 1. Inercia polar.....	36
ECUACIÓN 2. Momento de torsión.....	36
ECUACIÓN 3. Potencia del motor en Hp.	37
ECUACIÓN 4. Ángulo de torsión en grados.....	37
ECUACIÓN 5. Presión necesaria para extruir granos de quinua.	38
ECUACIÓN 6. Volumen de un cilindro.	39
ECUACIÓN 7. Volumen de un cono.....	39
ECUACIÓN 8. Masa del acero AISI-SAE 1045	39
ECUACIÓN 9. Momento de inercia polar.....	39
ECUACIÓN 10. Flecha máxima de deflexión.....	39
ECUACIÓN 11. Carga uniformemente repartida.	40
ECUACIÓN 12. Longitud efectiva es igual a la longitud real.	44
ECUACIÓN 13. Radio de giro para una sección redonda sólida.	44
ECUACIÓN 14. Relación de esbeltez.	44
ECUACIÓN 15. Constante de transición de delgadez C_C	44
ECUACIÓN 16. Fórmula de la carga crítica.	44
ECUACIÓN 17. Carga permisible P_a	45
ECUACIÓN 18. Caudal saliente (Ecuación adaptada de un extrusor para material plástico). (De Antonio Gómez).....	46
ECUACIÓN 19. Potencia necesaria del motor.	47
ECUACIÓN 20. Esfuerzo admisible.	49
ECUACIÓN 21. Espesor de la camisa del tornillo de extrusión.	49
ECUACIÓN 22. Área transversal de la camisa.	52
ECUACIÓN 23. Cálculo de la fuerza.	52
ECUACIÓN 24. El número de pernos.....	52
ECUACIÓN 25. Velocidad tangencial.	54
ECUACIÓN 26. La fuerza tangencial.	54
ECUACIÓN 27. La fuerza de cizallamiento.....	54
ECUACIÓN 28. Fuerza tangencial obtenida.....	57

ECUACIÓN 29. Área de contacto.....	57
ECUACIÓN 30. Longitud de la chaveta.....	58
ECUACIÓN 31. Dilatación térmica lineal del tornillo.....	58
ECUACIÓN 32. Diferencia del diámetro exterior del tornillo.	58
ECUACIÓN 33. Dilatación térmica lineal de la camisa.....	59
ECUACIÓN 34. Diferencia del diámetro interior de la camisa.....	59
ECUACIÓN 35. La holgura a temperatura ambiente.	60
ECUACIÓN 36. La holgura a una temperatura de 150 °C.....	60
ECUACIÓN 37. Factor de vida nominal del rodamiento rígido con carga dinámica.	60
ECUACIÓN 38. Factor de vida nominal del rodamiento rígido con carga estática.	61
ECUACIÓN 39. Relación de cargas.....	62
ECUACIÓN 40. Carga radial y axial dinámica.....	62
ECUACIÓN 41. Factor de vida con carga dinámica.....	62
ECUACIÓN 42. Carga radial y axial estática.....	62
ECUACIÓN 43. Factor de vida con carga estática.....	62
ECUACIÓN 44. Caudal volumétrico:	64
ECUACIÓN 45. Radio de abertura de la boquilla.....	64
ECUACIÓN 46. Diámetro de la boquilla.....	64
ECUACIÓN 47. Volumen de la tolva.....	69
ECUACIÓN 48. La masa.....	69

ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO Nro 1.** Tapa de rodamientos.
- PLANO Nro 2.** Camisa de rodamientos.
- PLANO Nro 3.** Sujetador de camisas.
- PLANO Nro 4.** Camisa de alimentación.
- PLANO Nro 5.** Camisa de amasado.
- PLANO Nro 6.** Troquel.
- PLANO Nro 7.** Base de apoyo.
- PLANO Nro 8.** Tolva.
- PLANO Nro 9.** Garganta de alimentación.
- PLANO Nro 10.** Dosificador.
- PLANO Nro 11.** Polea conducida.
- PLANO Nro 12.** Polea motriz.
- PLANO Nro 13.** Buje con pestaña.
- PLANO Nro 14.** Cubierta de las poleas.
- PLANO Nro 15.** Eje principal con tornillo fijo.
- PLANO Nro 16.** Tornillo de extrusión con diferentes pasos.
- PLANO Nro 17.** Tornillo postizo 1 entrada.
- PLANO Nro 18.** Tornillo postizo cónico 1 entrada.
- PLANO Nro 19.** Buje roscado.
- PLANO Nro 20.** Mesa.
- PLANO Nro 21.** Piso del extrusor.
- PLANO Nro 22.** Portavariador.
- PLANO Nro 23.** Tapa del variador.
- PLANO Nro 24.** Base del motor.
- PLANO Nro 25.** Tornillo completo.
- PLANO Nro 26.** Máquina extrusora.
- PLANO Nro 27.** Tornillo postizo 2 entradas.
- PLANO Nro 28.** Tornillo postizo cónico 2 entradas.
- PLANO Nro 29.** Máquina extrusora Isométrico.

SÍMBOLOS

Δd	Diferencia del diámetro exterior del tornillo
ΔD	Diferencia del diámetro interior de la camisa
ΔP	Presión máxima que se generará
μ	Viscosidad de cizalla de la quinua
A	Área transversal del interior de la camisa
A_c	Área de contacto de la chaveta
A_s	Área transversal de cada tornillo
b	Ancho de la chaveta
cor	Carga estática
cr	Carga dinámica
d	Diámetro del eje
D_b	Diámetro de la boquilla
d_e	Diámetro de eje
d_f	Diámetro exterior final del tornillo
D_f	Diámetro interior final de la camisa
d_i	Diámetro exterior rectificado del tornillo
D_i	Diámetro interior de la camisa final
d_{ic}	Diámetro interno de la camisa
dp	Diámetro de la polea conducida
D_r	Diámetro exterior del rodamiento
d_r	Diámetro interior del rodamiento
D_t	Diámetro mayor de la tolva
d_t	Diámetro menor de la tolva
e	Espesor de la camisa del tornillo de extrusión
e_{final}	Espesor final probado
F	Fuerza
F_1	Fuerza tangencial obtenida
fa	Carga axial que soportará el rodamiento
fhd	Factor de vida con carga dinámica
fhe	Factor de vida con carga estática
fn	Factor de velocidad
fr	Carga radial que soportara el rodamiento
fs	Carga radial estática
F_t	Fuerza tangencial
G	Módulo de rigidez

h	Altura de la chaveta
h	Altura del canal
H_f	Holgura final entre el tornillo y la camisa
H_i	Holgura inicial entre el tornillo y la camisa
H_p	Potencia del motor en Hp
H_{p_n}	Potencia necesaria del motor
H_t	Altura de la tolva
I_p	Inercia polar
l	Longitud de la chaveta
L_{10h}	Vida nominal en horas de operación
La	Largo de la abertura de la boquilla
l_e	Longitud del eje
m	Masa
M_A	Momento flector en A
M_B	Momento flector en B
M_C	Momento flector en C
M_D	Momento flector en D
M_f	Momento flector máximo
M_t	Momento de torsión
n	Velocidad de giro del husillo
n_{ro}	Número de pernos
P	Presión máxima
P_{motor}	Potencia del motor que se compró
por	Carga radial y axial estática obtenida
pr	Carga radial y axial dinámica obtenida
P_{ul}	Presión de contacto admisible
Q_A	Esfuerzo cortante en A
Q_B	Esfuerzo cortante en B
$Q_{B'}$	Esfuerzo cortante en B'
Q_C	Esfuerzo cortante en C
$Q_{C'}$	Esfuerzo cortante en C'
Q_D	Esfuerzo cortante en D
Q_E	Esfuerzo cortante en E
Q_m	Caudal másico
Q_m	Caudal másico
Q_v	Caudal volumétrico
R	Radio exterior de la polea conducida

R_a	Radio de abertura de la boquilla
R_B	Reacción en B
R_C	Reacción en C
r_e	Radio del eje de la polea conducida
r_{ic}	Radio interno de la camisa
R_{ut}	Resistencia última a la tracción del acero
S	Coefficiente de seguridad
T	Tensión cortante máxima
T_1	Fuerza de cizallamiento obtenida
t_f	Temperatura final
t_i	Temperatura ambiente
t_{permc}	Esfuerzo permisible de corte
v	Velocidad tangencial
V	Volumen
w	Ancho del canal
α	Coefficiente de dilatación térmica del acero
θ	Ángulo de torsión en grados
θ_{ul}	Resistencia última a la tracción de los pernos
ρ	Densidad de la quinua Pandela
σ_{adm}	Esfuerzo admisible
$\sigma_{fluencia}$	Límite de fluencia del acero

ABREVIATURAS

A	Amperios
cm	Centímetro
Bar	Bares
HB	Dureza Brinnell
°C	Grado centígrado
g	Gramos
Hz	Hertz
h	Hora
Hp	Horse power
K	Kelvin
Kg	Kilogramo
Kw	Kilowat
L	Litros
m	Metro
mm	Milímetro
N	Newton
Pa	Pascal
rph	Revoluciones por hora
rpm	Revoluciones por minuto
s	Segundo
V	Voltios

RESUMEN

El presente Proyecto de Grado tiene por objetivo el diseño y construcción de un prototipo de extrusor para quinua. La importancia de este se justifica ya que en Bolivia no se cuenta con equipos diseñados, mucho menos construidos para elaborar alimentos procesados a base del grano real.

En Bolivia los micro, medianos y pequeños productores de quinua se dedican a vender y exportar la quinua como materia prima debido a que no cuentan con maquinaria propia que podría ser utilizada para la elaboración de alimentos extruidos a base de quinua como por ejemplo: cereales para desayuno, aperitivos, cereales en copos, etc.

Después de visitar entre 50 talleres de tornería, fábricas de partes y equipos, 5 de ellos realizan la construcción de extrusores para maíz y no así equipos que sean específicamente para granos de quinua. De la misma forma, durante la revisión bibliográfica realizada no se encontró información de diseños adecuados para granos de quinua.

Con los conocimientos adquiridos en los años de estudio en la Universidad Mayor de San Andrés carrera de Mecánica Industrial de la Facultad Técnica sobre diseño, resistencia de materiales y construcción de maquinaria, se diseñará y construirá un prototipo de extrusor para granos de quinua.

Toda la información será documentada y explicada a detalle en los siguientes capítulos: marco referencial, marco teórico, adaptación tecnológica y selección de elementos, construcción del extrusor para quinua, costo de construcción del extrusor para quinua, funcionamiento del extrusor para quinua. Finalmente se expondrán las conclusiones y recomendaciones a las que se llegaron.

SUMMARY

The present Project of Grade has for objective the design and construction of an extruder prototype for quinoa. The importance of this is justified, because in Bolivia does not have machinery designed, much less built to produce processed foods on the basis of real grain.

In Bolivia, the micro, small and medium producers of quinoa are involved in selling and exporting quinoa as commodity due to that they do not have with own machinery that could be used for processing of extrusion food on the basis of quinoa such as: cereals breakfast, snacks, cereal flakes, etc.

After visiting between 50 turning workshops, manufacture parts and equipment, 5 of them made the construction of extruders for corn, but they do not fabricate equipment specifically for quinoa grain. Likewise, during the literature review there is not found appropriate design for grain quinoa.

With the knowledge gained in years of study at the University called “Mayor de San Andrés” career of Mechanical Industrial on the design, strength of materials, and construction machinery, as result, I am going to design and build a prototype extruder for quinoa grain.

All information will be documented and explained in detail in the following chapters: frame of reference, framework, technological adaptation, and selection of elements, construction of the extruder to quinoa, construction cost extruder for quinoa, operation of the extruder for quinoa. Finally, it will present the findings and recommendations to which they arrived.

INTRODUCCIÓN

Bolivia es un país subdesarrollado exportador de materia prima y no así de productos terminados con valor agregado, un claro ejemplo es el grano de quinua. Además cuenta con más de 3000 accesiones de quinua, (Reynaga A., 2011) ésto nos da una pauta de la riqueza natural de nuestro país, pero debido a la falta de tecnología no somos capaces de producir productos a base de quinua.

En otros países se fabrican extrusores para todo tipo de grano, el costo de importación de estos equipos a nuestro país es muy elevado, incluso el tiempo que implica esta importación es desfavorable. En consecuencia estos factores inciden de forma negativa en el desarrollo económico, peor aún si no somos capaces de desarrollar y construir equipos que requiere la industria nacional.

El presente Proyecto de Grado tiene como objetivo principal el de diseñar y construir un Prototipo de extrusor para quinua. Es importante mencionar que la base que sustentará la creación y desarrollo del mencionado Proyecto de Grado serán los conocimientos adquiridos en los años de estudio en la UMSA – Mecánica Industrial, prácticas en la industria, experiencia laboral, libros, catálogos, manuales, internet, etc.

A continuación se presenta un breve resumen del contenido:

Primer capítulo: Se plantea el problema que motivó está investigación, así también se analiza la justificación, los objetivos planteados y la metodología desarrollada.

Segundo capítulo: Se estructura el marco teórico que explica en forma detallada todo lo referente a la extrusión de granos, máquinas de extrusión y la amplia gama de productos que se pueden obtener. Cada concepto tiene su cita donde se hace referencia al autor que dio lugar a su creación.

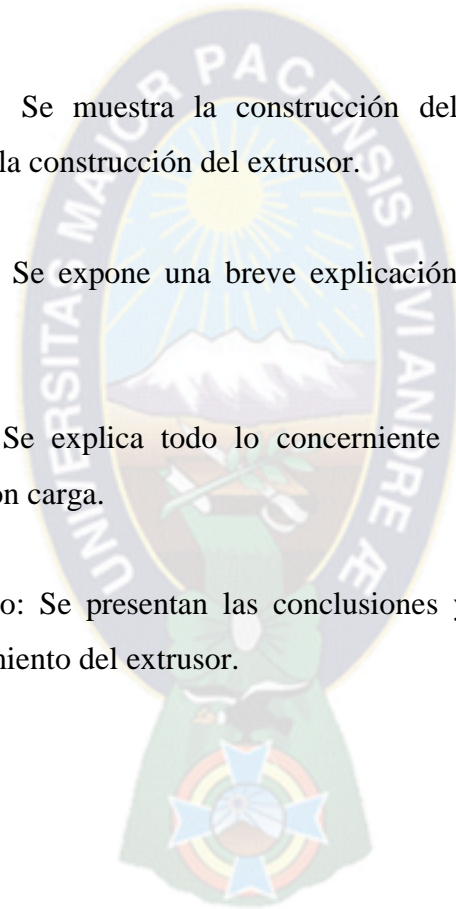
Tercer capítulo: Lleva por título Adaptación tecnológica y selección de elementos, aquí se argumenta más en detalle la elección del tipo de extrusor que se diseñó y construyó. También se encontró una explicación bibliográfica de los parámetros acerca de máquinas extrusoras dando lugar a un: Diseño esquemático inicial, diseño y cálculo de todos los elementos que formarán parte del prototipo y elección del material para la construcción.

Cuarto capítulo: Se muestra la construcción del prototipo con imágenes que explican paso a paso la construcción del extrusor.

Quinto capítulo: Se expone una breve explicación del costo de construcción del extrusor.

Sexto capítulo: Se explica todo lo concerniente al funcionamiento del equipo, pruebas en vacío y con carga.

Séptimo capítulo: Se presentan las conclusiones y recomendaciones con lo que respecta al funcionamiento del extrusor.



CAPÍTULO 1

MARCO REFERENCIAL

1.1 ANTECEDENTES

La extrusión es un proceso que combina diversas operaciones unitarias como el mezclado, la cocción, el amasado y el moldeado, viene del verbo extruir y se define como: el moldeado de un material por forzamiento, a través de una o muchas aberturas de diseño especial, después de haberlo sometido a un previo calentamiento. Por esto, la extrusión en primer término se orientó hacia el moldeado de materiales plásticos blandos que pasan a través de un molde o dado de salida (Riaz Mian, 2000).

El extrusor de alimentos es un aparato que facilita el proceso de moldeado y reestructuración para los ingredientes alimentarios. La extrusión es una operación unitaria altamente versátil que se puede aplicar a una variedad de procesos alimentarios. Los extrusores se pueden utilizar para cocer, moldear, mezclar, texturizar y formatear productos alimentarios bajo condiciones que favorecen la retención de la calidad, una alta productividad y un bajo coste. (Riaz Mian, 2000)

Hoy en día, sus funciones de procesado pueden incluir transporte, mezcla, cizallado, separación, calentamiento o enfriamiento, formateado, co-extrusión, aireado de volátiles a humedad, generación de aroma, encapsulación y esterilización.

La tecnología de cocción por extrusión se utiliza en el procesado de cereales y proteínas en los sectores de alimentación y sectores relacionados estrechamente con alimentos extruidos, que incluyen el arrollamiento de fideos y las pastas de corteza de pastel, rollitos de carne picada dentro de envolturas naturales, trituradoras de carne accionadas manualmente, alimentación para animales domésticos y piensos para peces.

La elección de la adecuada configuración del extrusor es crítica para el éxito de la extrusión. El fabricante del equipo de extrusión deberá ser capaz de atender las configuraciones del extrusor para el procesado de un producto específico. Existen muchos tipos de extrusores, y cada uno tiene una gama específica de aplicaciones. Una elección inadecuada del extrusor para la aplicación específica muy raramente da como resultado un proceso operando de forma uniforme. (Robin, 2002)

Debido a los altos costos de esta tecnología y la baja disponibilidad de estos equipos en el medio, no se tiene productos elaborados a base de quinua con la tecnología de extrusión en el mercado local ni nacional.

También, se debe tomar en cuenta que no todos los talleres y empresas de metal mecánica construyen equipos de extrusión, peor aún equipos específicos para granos de quinua. De la investigación de campo realizada en La Paz y El Alto, de 50 talleres y empresas de metal mecánica menos del 10% construyen equipos de extrusión para maíz los cuales son adaptados para procesar otros cereales.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Se realiza este Proyecto de Grado, al ver la importancia de los granos andinos como la quinua, que son una alternativa promisoría para cubrir las deficiencias de mal nutrición, especialmente para: la población infantil, ancianos, madres gestantes y lactantes. Por cuya razón el uso de la quinua, en extruidos, es una opción para mejorar la dieta alimentaria. Los extruidos mejoran significativamente la digestibilidad de los nutrientes y la vida útil del elaborado. El proceso posee ventajas de funcionalidad versátil, alta productividad, bajo costo, productos de alta calidad, ahorro de energía, producción de nuevos alimentos y menor superficie para la instalación de infraestructura industrial.

En un artículo publicado en el internet dice: “La quinua boliviana se consume actualmente en 22 países de tres continentes, la demanda sigue en aumento a tal punto que en breve plazo podría superar las exportaciones de soya en ventas e ingresos”. (bolivia.nutrinet.org, 2008)

Pasando a lo que es la bibliografía indica: “La tecnología de extrusión por las características del proceso de alta temperatura y corto tiempo, la pérdida de nutrientes es mínima” (Robin, 2002). El uso de esta tecnología mejoraría la calidad del producto conservando sus cualidades nutricionales, más aún se incrementaría las posibilidades de innovar nuevos productos de quinua o a base de éste, para así ingresar a mercados de consumo masivo como son los alimentos instantáneos.

Además, el conocimiento de esta tecnología, así como su acceso es limitado, más aún a equipos para granos de quinua. Por todo lo mencionado se hace necesario desarrollar el diseño de un prototipo de extrusor para quinua y que se pueda fabricar con el material disponible en nuestro medio.

El diseño y construcción se realizará con fondos del Proyecto “Prototipo de extrusor de quinua Real para micro, pequeño y medianos productores” ejecutado con fondos IDH 2009-2010 resolución HCU 580/09.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La falta de equipos de extrusión diseñados y construidos específicamente para granos de quinua en Bolivia.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

- Diseñar y construir un prototipo de extrusor para quinua.

1.4.2 Objetivos específicos

- Diseñar el prototipo.
- Calcular la resistencia de los materiales.
- Construir el prototipo.
- Analizar, exponer el costo de construcción del extrusor para quinua.
- Probar el funcionamiento del equipo.

1.5 METODOLOGÍA

Se considera que en el presente Proyecto de Grado es importante que los hechos y relaciones que establecen los resultados obtenidos o nuevos conocimientos tengan el grado máximo de exactitud y confiabilidad. Para ello se plantea una metodología ordenada que se sigue para establecer lo significativo de los hechos y fenómenos hacia los cuales está encaminado el interés de dicho Proyecto de Grado.

La metodología utilizada busca llevar a cabo el diseño y posterior construcción de un prototipo de extrusor para quinua. Los criterios a seguir son los siguientes:

- Realizar cálculos de resistencia de materiales de los cilindros macizos y cilindros huecos aplicando formulas y el programa EXCEL.
- Realizar cálculos de presiones y la potencia requerida.

- Uso de herramientas como el AUTOCAD y el SAP2000 v10 para el diseño de los elementos del equipo.
- Uso de torno, fresadora, amoladora, esmeriladora, taladro, etcétera.
- Utilizar pernos, tuercas, volandas, correas, etc. estandarizadas y normalizadas.
- Estudio de funcionamiento del equipo empleando diseños experimentales.



CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 EXTRUSOR DE TORNILLO SIMPLE

En la industria de hoy en día el término “extrusor” típicamente significa una máquina con unas características de tornillo de Arquímedes (es decir, un tornillo roscado girando que se ajusta suficientemente apretado en un cilindro para transportar el fluido) que procesa de modo continuo al producto. Los extrusores se pueden diseñar para incluir las operaciones de trituración, mezclado, homogeneización, cocción, enfriamiento, producción de vacío, moldeado, cortado y llenado. No todos los extrusores secos son del tipo cocción–texturización. Existen varios tipos de extrusores secos, extrusores de tornillo de rosca interrumpida, extrusores de tornillo simple y extrusores de doble tornillo. (Riaz Mian, 2000)

Los extrusores de tornillo simple están disponibles en un cierto número de tamaños y formas. Sus configuraciones de tornillo, cilindro y troquel usualmente pueden variar para dar unas especificaciones particulares del producto (Harper, 1981).

Un tornillo simple se puede clasificar basándose en características diferentes, es decir, húmedo frente a seco, segmentado frente a tornillo sólido. La amplitud del cizallamiento generado por estos extrusores y la fuente de generación de calor. Desde un punto de vista práctico, es importante clasificar los extrusores basándose en el cizallamiento y el calor. (Riaz Mian, 2000)

2.1.1 Clasificación basada en la amplitud de cizallamiento

Las clasificaciones basadas en la amplitud del cizallamiento descrito por (Farrell, 1971) y (Harper, 1981), con modificaciones, incluyen las siguientes:

2.1.1.1 Extrusores de moldeado frío

Las máquinas de bajo cizallamiento con cilindros lisos, roscas profundas y velocidades bajas del tornillo, utilizados originariamente para trabajar con harina de sémola humedecida, se la prensa a través de un troquel con poca cocción (extrusores similares se han utilizado como moldeadores mezcladores continuos para la elaboración de pastas de pastelería, galletas, carnes procesadas y ciertos dulces). (Riaz Mian, 2000)

2.1.1.2 Extrusores de moldeado de alta presión

Las máquinas de bajo cizallamiento con cilindros, estrías y tornillos de compresión son utilizados típicamente para extruir cereales pre-gelatinizados y otras pastas a través de troqueles para hacer aglomerados con el subsiguiente secado e inflado o fritura (la temperatura del producto se mantienen baja para evitar el inflado no deseado en el troquel. Varios cereales y aperitivos alimentarios fritos se elaboran con éstas máquinas). (Riaz Mian, 2000)

2.1.1.3 Extrusores de cocción de bajo cizallamiento

Las máquinas de cizallamiento moderado con tornillos de alta compresión y cilindros estriados para incrementar el mezclado. Se puede aplicar calor al cilindro o al tornillo para "cocer" el producto (pasteuriza las bacterias, inactiva enzimas, desnaturaliza proteínas, gelatiniza almidón), pero se evita el inflado en el troquel. Los alimentos blandos húmedos y los aperitivos parecidos a carne tales como cecina y

simulada se pueden elaborar con estas máquinas. A menudo los ingredientes se premezclan hasta obtener una consistencia como de pasta utilizando otro equipo. (Riaz Mian, 2000)

2.1.1.4 Extrusores de collares

Las máquinas de alto cizallamiento con cilindros estriados y tornillos con múltiples roscas poco profundas se han utilizado para la elaboración de aperitivos inflados a partir de sémolas sin grasa. La temperatura de los ingredientes relativamente secos (12 % de humedad) se eleva rápidamente por encima de 175 °C y el almidón se dextriniza y gelatiniza parcialmente. La masa resultante pierde humedad y se infla inmediatamente cuando sale a través del troquel para formar un rizo expandido crujiente o collar. Inicialmente, este tipo de máquina se caracterizó por un tornillo extremadamente corto (longitud: diámetro = 3:1), pero se han desarrollado máquinas más largas L/D (10:1) que confieren fuertemente un calor inducido por fricción para producir collares. Un extrusor corto L/D importado del "tipo collar" se ofrece domésticamente para el procesado de piensos para animales. (Riaz Mian, 2000)

2.1.1.5 Extrusores de cocción de alto cizallamiento

Las máquinas con alto cizallamiento, con tornillos para el cambio de la profundidad de la rosca y/o grado de inclinación, que tienen la capacidad de conseguir razones de compresión altas, altas temperaturas y varios grados de inflado. Inicialmente se utilizaron extrusores con cilindros largos (longitud : diámetro = 15-25:1) adaptados de las industrias de plásticos, pero se han introducido muchas modificaciones de diseño para el procesado de alimentos. Existe una gran variedad de diseños de tornillos y cilindros internos y opciones de calentamiento y enfriamiento. Algunas máquinas están equipadas con cámaras de acondicionamiento y para pre-humedecer y precalentar el material de las reservas de la alimentación. (Smith, 1976) y otros (Linko et al., 1981)

han dado nombre a los extrusores de cocción diseñados para minimizar el tiempo que los materiales permanecen a la máxima temperatura como aparatos de "alta temperatura/tiempo corto" (HT/ST-high-temperature/short-time). Puesto que el calor y la presión provocan que los ingredientes fluyan durante el procesado, este tipo de cocción por extrusión también ha sido denominado "extrusión termoplástica" (Last, 1979).

2.1.2 Clasificación basada en la generación de calor

La clasificación también se ha basado en cómo se calienta la reserva de alimentación en un extrusor de tornillo simple durante el procesado (Rossen y Miller, 1973).

2.1.2.1 Los extrusores adiabáticos (autógenos)

Desarrollan esencialmente todo el calor por fricción (disipación viscosa de la entrada de energía mecánica) y poco si cualquier calor se elimina a través del cilindro. Ejemplos de estos últimos incluyen "extrusores de secado", los "extrusores de collares" y los extrusores de "bajo coste". Algunos extrusores necesitan que se calienten inicialmente mediante fuentes suplementarias, pero luego operarán de modo autógeno, los extrusores adiabáticos operan a niveles bajos de humedad (8-14%). (Riaz Mian, 2000)

2.1.2.2 Los extrusores politrópicos

Tienen provisiones para alternativamente añadir o eliminar calor a medida que se requiera para el proceso específico. Ejemplos incluyen la mayoría de extrusores de cocción con secciones externas de calentamiento y enfriamiento, que generan calor por fricción.

2.1.3 Clasificación basada en su diseño

El extrusor de tornillo simple se puede clasificar sobre la base de su diseño. Para el extrusor de tornillo simple existen varios diseños diferentes que están disponibles en el mercado. Existen tres diseños diferentes, que son los más comúnmente utilizados en la industria de alimentación/piensos. Todos estos tipos de extrusores ofrecen ventajas con respecto a su diseño. (Riaz Mian, 2000)

2.1.3.1 Extrusores sólidos de tornillo simple

El clásico dibujo de un extrusor sólido de tornillo se muestra en la figura 1, que se puede utilizar para explicar los principios de cómo trabaja un extrusor. (Riaz Mian, 2000)

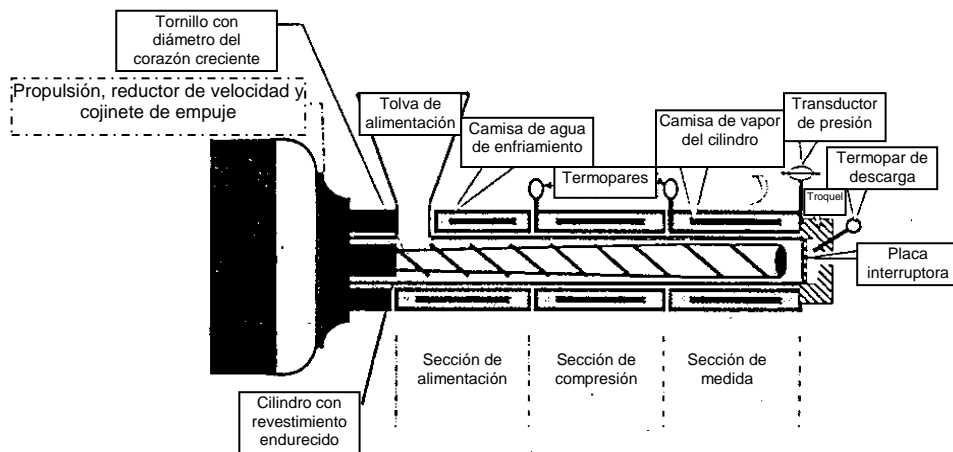


FIGURA 1. Componentes básicos del extrusor de tornillo único sólido.

Se debe hacer notar que el área del volumen del producto disminuye desde la alimentación al final de la descarga del tornillo por el engrosamiento del corazón del tornillo, que da como resultado roscas de grado de inclinación fijado menos profundas.

Si no se pre-acondiciona, los ingredientes secos se humedecen y mezclan inicialmente en la primera sección de alimentación. Luego se comprimen en la sección deseada, y cortados en la longitud deseada mediante un cuchillo giratorio adecuado. La compresión en la zona de transición puede ser tan alta como 5:1. El extrusor de la figura 1, también está equipado con varias camisas que permiten el calentamiento y enfriamiento de cilindro. Por ejemplo, durante la operación, la sección siguiente a la alimentación final se puede enfriar para mantener la viscosidad del producto y evitar el golpe hacia atrás del vapor desde la sección de cocción. (Riaz Mian, 2000)

El cilindro siguiente al final del troquel se puede mantener caliente si se desea un producto expandido, o frío (para reducir la temperatura del producto por debajo del punto de ebullición del agua) si no se desea expansión. A medida que el producto comprimido es secado tiene lugar un cizallamiento frente a la pared del cilindro del extrusor y se alimenta hacia delante, frente a la presión posterior creada por la placa del troquel. (Riaz Mian, 2000)

2.1.3.2 Expandidor – extrusor de rosca interrumpida

La figura 2 muestra un expandidor-extrusor de tornillo con rosca interrumpida. La rosca no es continua, pero se tiene una sección que se pierde dentro en el que se inserta un perno de cizallamiento a través de la pared de la camisa. El calor es inducido por fricción a medida que el producto es transportado por el tornillo a lo largo de los pernos de cizallamiento. Estas máquinas pueden o no estar encamisadas, pero a menudo están equipadas con inyección directa de vapor. También están referidos como extrusores de "rosca cortada" o como "expandidores" después que el prototipo Anderson Grain Expander fue introducido a mitad de los años 1950. La retro presión en la máquina es inducida mediante restricción en el troquel. También se crea un tapón del producto crudo al final de la alimentación para incluir una "celda del reactor". (Riaz Mian, 2000)

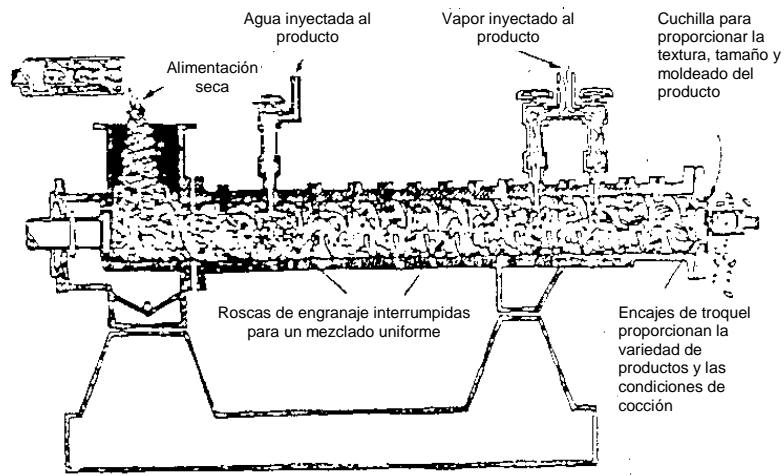


FIGURA 2. Sección transversal de un expandidor de rosca interrumpida.

Aunque el cilindro es una pieza, la rosca se fabrica en secciones pequeñas que se deslizan sobre un cilindro macizo provisto de llaves. Las secciones de rosca gastadas se pueden reemplazar fácilmente o intercambiarlas con la de atrás del tornillo. Además, las roscas cerca de la descarga final de la máquina se pueden pulir con aleaciones resistentes a la abrasión para ampliar su vida útil. El principio de rosca segmentada fue tomado prestado de las prensas de tornillo inventadas por V.D. Anderson en los años 1890. El diseño de la rosca interrumpida permite que el producto gire con el tornillo y es capaz de utilizar un cilindro de pared lisa. (Riaz Mian, 2000)

2.1.3.3 Extrusores segmentados de tornillo único

En la figura 3 se muestra la sección transversal de un extrusor de tornillo único con un tornillo de engrane segmentado. Se puede resaltar que el corazón del tornillo es el diámetro constante, y que la compresión resulta del cambio en el grado de inclinación de las roscas de engranaje con roscas de doble espira de uno y medio grado de inclinación para conseguir la compresión. El grado de cizallamiento se puede modificar de dos formas: mediante la utilización de cierres de diámetros crecientes, requiriendo presiones

en aumento para forzar al producto a la sección de engranaje adyacente y mediante la selección entre un cilindro de pared estriada y pared en espiral. Tienen lugar un mayor mezclado y cizallamiento con el cilindro estriado debido al deslizamiento más grande entre la rosca del tornillo y las paredes de cilindro. En la figura 3 también se muestran paredes rectas y espirales. (Riaz Mian, 2000)

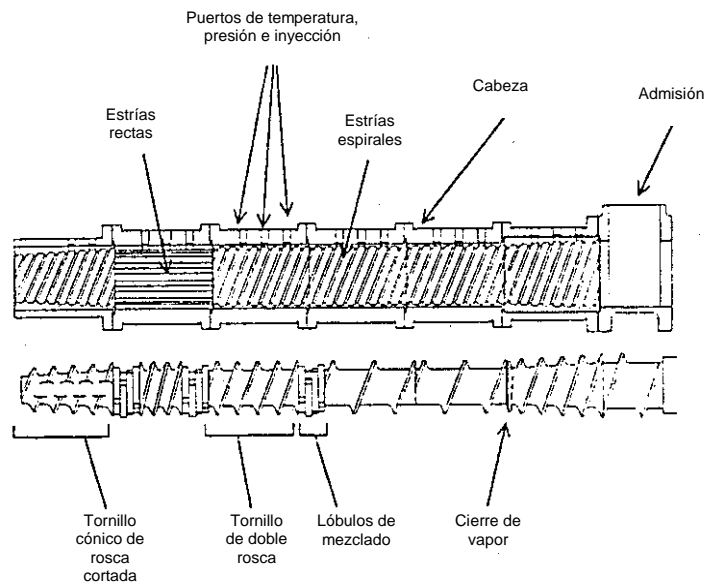


FIGURA 3. Sección transversal de un extrusor segmentado de tornillo único.

Hoy en día los principales extrusores de tornillo único de gran capacidad son ante todo de diseño de tornillo segmentado y cilindro. La importancia del diseño de tornillo segmentado y cilindro es que cada sección entre dos cierres de cizallamiento llega a ser una celda de reacción como los extrusores de tornillo sólido y rosca interrumpida descrito anteriormente. El número de celdas sucesivas que se pueden poner en un tornillo está limitado solamente por su longitud. Son comunes cinco, siete y nueve celdas. En cada celda se puede llevar a cabo una operación diferente, incluyendo la compresión, calentamiento con camisa o inyección de vapor, cizallamiento, aventamiento del vapor y enfriamiento del producto, recompresión, adición de los ingredientes sensibles al calor y enfriamiento a través de camisas. (Riaz Mian, 2000)

Los extrusores de tornillo sólido todavía están fabricados para la cocción especial a baja presión y en aplicaciones de moldeado. Pero, los engranajes segmentados de tornillos y las secciones del cilindro ofrecen una considerable versatilidad en el diseño de tornillo - cilindro construido a medida y el reemplazo de las partes del engranaje que se utilizan en la mayoría de los extrusores del tornillo único y doble que se construyen. (Riaz Mian, 2000)

La mayoría de las condiciones de procesamiento de los extrusores de tornillo simple se pueden controlar para conseguir una variedad de efectos. Por ejemplo, la temperatura de cocción dentro del cilindro del extrusor puede estar en el intervalo de 80 - 200 °C mediante la configuración con tornillos con alto cizallamiento y cierres de cizalla, inyectando directamente vapor, calentamiento del cilindro mediante la circulación de vapor o aceite de calentamiento, aumentando la velocidad del eje o restringiendo el área de apertura del troquel. Análogamente, el tiempo de residencia en el cilindro puede variar desde 15 - 300 segundos mediante el aumento o la disminución de la velocidad del eje. Generalmente, los extrusores de tornillo único tienen una capacidad de mezclado pobre. Por lo tanto, el material se debería premezclar o se debería utilizar un pre-acondicionador para el adecuado mezclado de los ingredientes. Un tipo de extrusor de tornillo simple consiste en tres zonas diferentes: zona de alimentación, zona de amasado y zona de cocción (Hauck, 1985).

2.2 EXTRUSORES DE TORNILLO DOBLE

En años recientes, los requerimientos de nuevos productos y de alta calidad han aumentado por lo que los extrusores de tornillo único no son muy adecuados. Sin embargo, para estos requerimientos de procesamiento de mayor demanda, se debe utilizar la tecnología de tornillo doble. Los extrusores de tornillo doble incluyen una variedad de máquinas con características que van desde las capacidades mecánicas hasta las capacidades de procesamiento ampliamente diferentes. La mayoría de las mejoras que han

revolucionado el desarrollo de los extrusores se han incorporado dentro de los modernos extrusores de doble tornillo. (Riaz Mian, 2000)

Los extrusores de tornillo doble se clasifican en: (Johnston, 1978):

- Co-rotación e inter-engranados.
- Co-rotación sin inter-engranado.
- Contra-rotación e inter-engranado.
- Contra-rotación sin inter-engranado.
- Inter-engranado cónico.

2.3 EXTRUSIÓN SECA

El término de extrusión seca, como opuesto de extrusión húmeda, se refiere al hecho de que este tipo de extrusor no requiere una fuente externa de calor o de vapor. Toda la cocción se consigue mediante fricción sacando provecho de la humedad inherente y/o el aceite para el suministro de la lubricación. El extrusor para granos secos puede procesar materiales que contienen de 8 -22% de humedad sin la necesidad de secado del extruido. Dentro de este intervalo de contenido en humedad, el extruido podrá tener la mitad de humedad original del material de partida. El extrusor seco se puede configurar para cocer completamente el material que contiene hasta el 40 % de humedad, pero solamente perderá el 10% de humedad, requiriendo de este modo el secado del extruido desde el 30% a un contenido menor del 12%. (Riaz Mian, 2000)

El extrusor seco se acondiciona con un dispositivo de inyección de agua que se puede utilizar adicionando agua directamente dentro del cilindro en cualquier momento que sea necesaria. Recientemente, se ha provisto de un pre-acondicionador como una

opción para la adición de una pequeña cantidad de vapor seco para las aplicaciones que requieran productos con una forma y moldeado más uniformes o para el aumento de la capacidad y la reducción del desgaste de las partes. Se reitera que no existe la necesidad de secado puesto que el contenido en humedad del extruido no excede del 12% en la mayoría de circunstancias. (Riaz Mian, 2000)

2.4 LA QUINUA REAL (CHENOPODIUM QUINOA WILLD)

La quinua, quínoa o kinwa es un grano perteneciente a la subfamilia chenopodioideae de las amarantáceas. Es un cultivo que se produce en los Andes de Perú, Argentina, Bolivia, Chile, Colombia y Ecuador además de los Estados Unidos. Se la denomina pseudocereal porque no pertenece a la familia de las gramíneas en que están los cereales “tradicionales”, pero debido a su alto contenido de almidón su uso es el de un cereal. (Wales)

El cultivo de la quinua real se remonta a épocas prehispanicas donde las culturas existentes le daban múltiples usos a los diferentes ecotipos y variedades como: La medicina y forraje para el ganado, pero principalmente en sus diversas formas para su alimentación, en la actualidad sigue siendo el alimento básico de muchos pueblos. La quinua en forma de k'ispiña, hojuelas, tostada, pito, etc. ha sido un alimento común durante cientos de años y todavía es muy popular en varios países andinos. (Tapia 1979).

Actualmente se le está dando gran importancia a la quinua en la alimentación humana por su alto valor nutritivo. Desde el punto de vista nutricional y alimentario, la quinua es la fuente natural de proteína vegetal y de alto valor nutritivo por la combinación de una mayor proporción de aminoácidos esenciales y vitaminas. Además, tiene un elevado contenido de minerales y su potencial es muy grande por sus cualidades nutricionales, que alimentan y curan a la vez. (PROINPA, 2004),

Producción de quinua: Bolivia 21900 TM por año, Perú 20250 TM por año, Ecuador 1200 TM por año, Estados Unidos 3045 TM por año. (CAF, 2001)

Siendo Bolivia el primer productor de quinua en el mundo y exportador de este grano como materia prima, se hace necesaria su transformación para darle un mayor valor agregado y su diversificación como son los alimentos instantáneos, elaborados con la tecnología de extrusión. (bolivia.nutrinet.org, 2008)

2.4.1 Propiedades del grano de quinua real

La quinua extruida debe ser un producto de calidad, por lo tanto, es importante conocer el porcentaje de proteínas de la materia prima puesto que las proteínas también juegan un papel importante en el grado de gelatinización, ya que al competir las proteínas con el almidón por el agua puede hacer que se reduzca el grado de gelatinización. También puede limitar el índice de expansión, pues incrementa la capacidad de retención de agua, reduciendo la vaporización la cual favorece al índice de expansión (Kokini et al.,1992).

El porcentaje de proteína en el germen de quinua real está en función del fenotipo de quinua. Teniéndose el mayor valor de proteína en el germen del ecotipo quinua Negra 29.98% y la variedad Blanquita 30.30%. (Reynaga A., 2011)

El porcentaje de materia grasa en el germen de quinua real es también en función del fenotipo de quinua. Teniéndose el mayor valor de materia grasa en el germen en el ecotipo Toledo 18.87% y la variedad Aynoq'a 13.20%. (Reynaga A., 2011)

El contenido de Almidón está en función al fenotipo de quinua, varía desde 55% para el ecotipo Pisankalla, hasta 65.77% en el ecotipo Real Blanca. (Reynaga A., 2011)

El porcentaje de almidón y la composición del producto a extruir son sumamente importantes, pues el contenido de almidón se relaciona directamente con el índice de expansión. El autor menciona que el porcentaje mínimo para expandir es de 60 – 70 % y que en general el índice de expansión depende del porcentaje de almidón. (Mercier et al., 1998).

Según (Werner B. 1991), las propiedades del almidón varían de lote en lote y dependen de las condiciones de crecimiento, cosecha y almacenamiento.

2.5 PROCESO DE EXTRUSIÓN DE CEREALES

Los principios básicos de la extrusión de alimentos están cercanamente relacionados a aquellos de la extrusión de polímeros sintéticos termoplásticos. No obstante, la naturaleza del material biológico con un comportamiento viscoso no newtoniano, marca una significativa diferencia. En la extrusión de plásticos, excepto en algunas reacciones de polimerización, la viscosidad generalmente disminuye cuando el polímero se funde. Por el contrario, en la mayoría de los materiales biológicos la viscosidad se incrementa cuando se eleva la temperatura. (Riaz Mian, 2000)

La extrusión de alimentos en un sistema de cocción de alta temperatura en corto tiempo (HTS) utilizado como medio de reestructurar material alimenticio con contenido de almidón y/o proteínas, de esta forma se elabora diferentes tipos de alimentos texturizados. (Riaz Mian, 2000)

En este proceso, el alimento se somete a altas temperaturas, elevada compresión e intenso esfuerzo cortante (cizallamiento) en periodos cortos, los cuales producen entre otros, los siguientes fenómenos:

Modificación de las características físicas, químicas y físico-químicas de las macromoléculas. Ocurren fenómenos como la gelatinización y dextrinización del almidón, desnaturalización y/o texturización de las proteínas y la desnaturalización de las partes de las vitaminas presentes. (Riaz Mian, 2000)

2.6 CEREALES PARA DESAYUNO

Cuando hablamos de cereales para desayuno, lo primero que se evoca son los copos de maíz. Éstos son los conocidos cereales instantáneos, es decir, se los puede consumir inmediatamente después de abrir el envase. Además, no necesitan ser cocinados e incluso no requieren que se les adicione agua caliente para que concluya su cocción.

Hoy en día, las cantidades de cereales para desayuno consumidos en el mundo entero son de cerca de 3 millones de toneladas. Existen diferencias entre países y regiones, dependiendo de su cultura alimentaria y grado de desarrollo. Como la cuestión de hecho, el consumo per cápita es alto en Norteamérica y en el Noroeste de Europa, pero el crecimiento del volumen del mercado es más bien bajo (por debajo del 5%). El crecimiento involucra mayoritariamente los cereales para desayuno para adultos, a través de especialidades de dietas saludables. (Robin, 2002)

En Sudamérica y en el Sudeste de Europa, el consumo per cápita es todavía bajo (menos de 1 kg), mientras que el volumen de crecimiento está en el intervalo del 5 al 20%. (Robin, 2002)

Los fabricantes de cereales para desayuno tienen como objetivo suministrar productos para niños y tomando especial atención al sabor (aromatizante dulces), a la textura (crujidez) y a la nutrición (vitaminas y minerales, en particular). En Europa del este, el consumo es muy bajo (por debajo de 0,10 kg per cápita), y los cereales para desayuno se comen como sustitutos del pan. Polonia es el mercado más grande y mejor

establecido, mientras que Eslovaquia y la República Checa son los mercados que están creciendo rápidamente. (Robin, 2002)

En Japón y en Asia del Pacífico, el consumo per cápita es también muy bajo (por debajo de 0,2 kg). Se debe resaltar que el modelo tradicional de cereales para desayuno listos para tomar con leche no se emplea, principalmente por razones fisiológicas; la lactosa no es digerible por los niños asiáticos. El consumo solamente podría ser en forma de aperitivos y los aperitivos dulces no están muy bien desarrollados en estas regiones. También, los problemas económicos en Asia, durante la segunda parte de los años 90, redujeron la actividad de los mercados de consumidores en general y por ende también el consumo de cereales para desayuno. Sin embargo, algunos países en esta región, Corea de Sur, Taiwán y Singapur, ofrecen buenas oportunidades para los fabricantes de cereales para desayuno y el consumo per cápita probablemente aumentará en los próximos años, en particular en las áreas urbanas. (Robin, 2002)

La popularidad de los cereales para desayuno proviene de su contenido nutritivo. Dichos productos pueden proporcionar simultáneamente energía (350 – 400 Kcal/100g), nutrientes, vitaminas, minerales y componentes orientados a la salud (fibra dietética por ejemplo). A lo largo de la historia de los cereales para desayuno, la publicidad siempre ha puesto énfasis en el potencial de salud que ofrecen los productos y los consumidores generalmente reconocen dicho factor benéfico. Hoy en día, el impacto de la nutrición sobre la salud y la enfermedad se está convirtiendo en el objetivo principal de los diseñadores, elaboradores y consumidores de alimentos. De este modo, la tendencia creciente por la comida saludable influencia la elección del alimento y los cereales para desayuno no escapan a este desarrollo. Por supuesto, el tema de la salud conduce a la innovación cuando se están diseñando cereales para desayuno. (Robin, 2002)

En las tres últimas décadas, la tecnología de cocción por extrusión ha tenido un papel muy importante y decisivo en la innovación y desarrollo de productos cereales

para desayuno. El proceso de cocción por extrusión es un nuevo concepto de cocido; cocción termomecánica HTST (“high temperature short time” – alta temperatura tiempo corto), que hace un uso particular del procesado mecánico del material y por lo tanto una original alternativa a la cocción hidrotérmica clásica. Luego, permite una cocción continua de una amplia gama de recetas con varios cereales para producir formas y texturas diferentes a un coste satisfactorio. De este modo, en el mercado se pueden encontrar dos tipos de cereales de desayuno cocidos con extrusión: (Robin, 2002)

- Cereales para desayuno expandidos y cocidos por extrusión.
- Cereales para desayuno aglomerados en copos por extrusión.

2.6.1 Cereales para desayuno expandidos y cocidos por extrusión

Las harinas de cereales y/o las sémolas se cuecen con ingredientes y con un contenido de humedad muy bajo (usualmente por debajo del 20%). El proceso puede utilizar extrusores de tornillo simple o doble, las características de configuración y operación de las que generalmente conducen a la cocción altamente mecánica. (Robin, 2002)

2.6.2 Cereales para desayuno aglomerados en copos cocidos por extrusión

Las harinas de cereales y/o las sémolas se cuecen con ingredientes y a un nivel de humedad en el intervalo de 22-26%. Usualmente se procesan en extrusores de tornillo doble. Las características de configuración y operación de las que conducen a un componente mecánico de la cocción más baja, reforzando el componente térmico como opuesto a las condiciones previas de procesado. (Robin, 2002)

2.7 LA GAMA DE PRODUCTOS

En las estanterías de los supermercados se exhibe una impresionante gama de productos, que difieren en su diseño y tamaños de envasados, así como en características del producto (valor nutritivo y atributos sensoriales, en particular). Los principales elaboradores están compitiendo para satisfacer tres segmentos importantes de la población: (Robin, 2002)

- Niños.
- Consumidores conscientes de la nutrición y de la salud.
- Consumidores orientados a la aptitud.

El mercado para niños necesita cereales para desayuno que ofrecen una gran diversidad de sabores (miel, chocolate y malta), formas (bolas, copas, animales, granos inflados, copos, etc.), texturas (desde denso-duro a crujiente-blando) y colores. Estos productos generalmente se envasan en bolsas con gran colorido mostrando animales y caracteres caprichosos. Estos requerimientos necesitan balancearse con aquellos relacionados en la compra de un producto saludable y nutritivo. (Robin, 2002)

Los adultos muestran mucho más interés en cereales para desayuno funcionales que contribuyan a la conservación de la salud y aumenten su aptitud. Los cereales para desayuno son fuentes naturales de complejos de hidratos de carbono, fibra y vitaminas solubles en agua del grupo B. También, las técnicas modernas de elaboración como los procesos basados en la extrusión, hacen posible complementar a los componentes naturales de los cereales para desayuno con otros grupos de vitaminas (A, C, D, E), minerales (hierro, calcio, fósforo, magnesio, cinc) y fibras (salvados, fibra dietética soluble), para cubrir las expectativas del segmento del mercado de adultos. (Robin, 2002)

El factor que determina la inserción al mercado de cereales procesados es la cultura alimentaria que cada pueblo o nación posee. Ésto contribuye a la promoción de 3 tipos de cereales genéricos para desayuno, listos para comer, que actualmente se encuentran en las estanterías de los mercados.

- Cereales en copos.
- Cereales inflados.
- Mezclas de cereales.



FIGURA 4. Cereales para desayuno.

CAPÍTULO 3

ADAPTACIÓN TECNOLÓGICA Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS

3.1 ARGUMENTOS

La tecnología de extrusión es adecuada porque permite obtener productos de alta calidad, es decir minimizan la degradación o desnaturalización de nutrientes, mejora la digestibilidad y destruye factores indeseables o anti-alimentarios de los alimentos procesados. Teniendo nuestro país gran diversidad de granos de quinua, se pueden producir cereales instantáneos y muchos otros productos extruidos de quinua para el mercado local y extranjero. Al realizar ésto ya no solamente consumiríamos o exportaríamos la quinua en forma de grano sino en un producto procesado y con valor agregado, convirtiéndonos en un país que exporta cereales instantáneos de quinua.

Ahora, las ventajas que presenta un extrusor de tornillo simple están dadas por la facilidad que se le da al operador al no necesitar un adiestramiento especializado en el manejo del equipo. También del costo que representa la construcción de un equipo tan complejo como por ejemplo un extrusor de tornillo doble y más aún importar un equipo de extrusión, eso nos representaría un costo muy elevado, además del tiempo que demoraría hacer los trámites de legalización en nuestro medio.

El presente Proyecto de Grado tendrá un diseño sencillo de fabricar, se comprará el material que está disponible en nuestro medio; ésto no significa que el diseño no cumplirá con las normas mínimas de fabricación de productos alimenticios. Todas estas variables serán tomadas en cuenta para obtener un producto alimenticio apto para el consumo humano.

3.2 ESQUEMA DE LA MÁQUINA EXTRUSORA PARA QUINUA

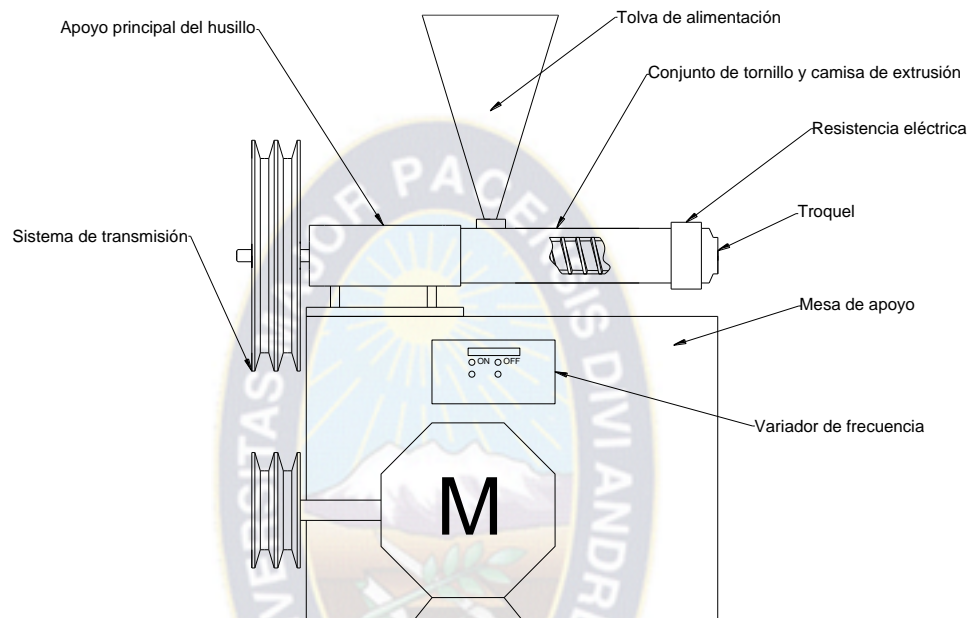


FIGURA 5. Esquema del extrusor para quinua.

3.2.1 Descripción de la máquina

El proceso de extrusión de cereales es uno de los más importantes para la producción de cereales instantáneos.

El concepto básico del prototipo de extrusor para quinua contiene: Apoyo principal del husillo, tolva de alimentación, conjunto de tornillo y camisa de extrusión, sistema de transmisión, troquel, mesa de apoyo, motor, resistencia eléctrica y variador de frecuencia.

La tolva es el depósito de la materia prima antes de ser extruida, su capacidad estará relacionada al tiempo que se necesitará para que la máquina funcione con un caudal constante. La garganta de alimentación de la tolva estará en función del tamaño de grano y al caudal de alimentación.

El tornillo de extrusión es impulsado mecánicamente y rota en el interior de la camisa de extrusión para transportar el material por medio de los filetes del tornillo. La longitud del tornillo tendrá una relación menor 7:1 y mayor a 6:1 con el diámetro.

El material transportado en el interior del extrusor será sometido a cizallamiento, compresión, mezclado, amasado y cocción en los canales del tornillo de extrusión.

El tornillo de extrusión tiene 3 zonas o secciones diferentes: Zona de alimentación, zona de amasado y zona de cocción – extrusión.

Zona de alimentación: En esta zona la materia prima ingresará al tornillo de extrusión por medio de la garganta de alimentación y a medida que es transportada será cortada y comprimida.

Zona de amasado: En esta zona el material ingresado será cortado, comprimido y amasado. A su vez, cerca al final de esta zona el material será calentado.

Zona de cocción – extrusión: En esta zona el material será cocido y comprimido para finalmente salir por las boquillas del troquel como producto extruido.

La camisa del tornillo de extrusión contendrá el material que será extruido, no permitiendo que haya fuga de calor o presión y menos de material, también estará sujeta por medio de un determinado número de pernos.

El troquel permitirá la salida del material extruido por medio de la perforación o boquilla que tendrá el mismo.

La resistencia eléctrica ubicada en la camisa de amasado servirá de calentador para el proceso de extrusión.

El apoyo principal del husillo es la parte donde descansará todo el conjunto de camisa y tornillo de extrusión, el sistema de transmisión, el troquel, la tolva y otros accesorios. Y estará diseñado para permitir la rotación del tornillo de extrusión.

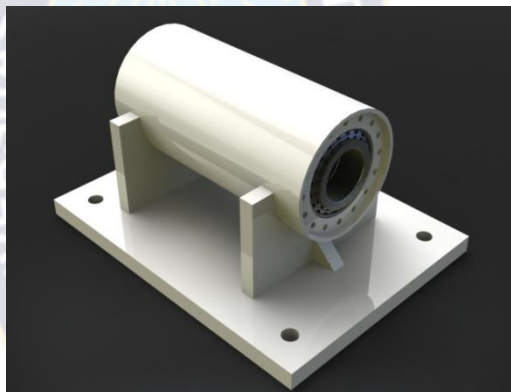


FIGURA 6. Apoyo principal del husillo

El sistema de transmisión tendrá una relación de 2:1 y estará compuesto por una pulea conducida, una pulea motriz y un par de correas que transmitirán el movimiento de rotación del motor, además de la potencia.

La mesa de apoyo de la máquina extrusora es el elemento donde descansará todo lo referente al tornillo de extrusión, cuando éste se encuentre en movimiento o parado brindará estabilidad a toda la máquina.

El variador de frecuencia trifásico es el elemento que formará parte del sistema eléctrico y permitirá la regulación de la velocidad por medio de la variación de frecuencia, ésto nos permitirá mejorar la calidad del producto extruido.

El motor será trifásico al igual que el variador de frecuencia y será el encargado de automatizar el proceso de extrusión.

3.3 ELECCIÓN DE MATERIALES

3.3.1 Acero AISI – SAE 1045

Es un acero utilizado cuando la resistencia y dureza son necesarias en condiciones de suministro. Este acero medio carbono puede ser forjado con martillo. Responde al tratamiento térmico y al endurecimiento por llama o inducción, pero no es recomendable para cimentación o cianurado. Cuando se hacen prácticas de soldadura, presenta soldabilidad adecuada. Por su dureza y tenacidad es adecuado para la fabricación de componentes de maquinaria. (Vea en los anexos, ficha técnica del acero AISI-SAE 1045).

Ventajas:

- Resistentes a los golpes.
- Resistentes a los cambios de temperatura bruscos.
- Se pueden mejorar sus propiedades con tratamientos térmicos.

Desventajas:

- Pueden reaccionar con algunas sustancias y contaminarlas.
- Se pueden oxidar con las altas temperaturas.

3.3.2 Acero inoxidable

Se define como una aleación de hierro con un mínimo de 10% de cromo contenido en masa. El acero inoxidable es resistente a la corrosión, dado que el cromo, u otros metales que contiene, posee gran afinidad con el oxígeno y reacciona con él formando una capa pasivadora, evitando así la corrosión del hierro.

Ventajas:

- Alta resistencia a la corrosión.
- Alta resistencia mecánica.
- Apariencia y propiedades higiénicas.
- Resistencia a altas y bajas temperaturas.
- Buenas propiedades de mecanizado, corte, doblado y plegado.
- Reciclable.

Desventajas:

- Costo elevado.
- Poca disponibilidad en el mercado de las medidas requeridas.

3.3.3 Conclusión

Los elementos de la maquinaria que estén en contacto con alimentos necesariamente deberían ser fabricados de acero inoxidable para evitar todo tipo de contaminación.

En conclusión, los dos tipos de aceros tienen ventajas y desventajas que permiten conocer sus cualidades. Ahora no olvidemos los objetivos y fines del presente Proyecto de Grado, en vista de todo ello, el material para la construcción del PROTOTIPO DE EXTRUSOR PARA QUINUA que usaremos será el acero AISI-SAE 1045.

3.4 DISEÑO Y CÁLCULO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

Se partirá de la elección del tipo de extrusor, el tipo de grano a procesar, la humedad del grano, las propiedades del grano y el tipo de producto que queremos obtener.

3.4.1 Parámetros fundamentales de entrada

- Algunos parámetros de entrada para el diseño y construcción del extrusor de tornillo simple se coordinó con el IIAT - UMSA (Instituto de investigaciones y aplicaciones tecnológicas), llegando a la conclusión que las dimensiones para el diseño y construcción del extrusor de tornillo simple serán las que se encuentran en la tabla 4 y 5.
- Para un extrusor de tornillo único de cizallamiento alto, se requiere una camisa con estrías helicoidales de paso corto o estrías horizontales. (Riaz Mian, 2000)
- Debe extruir quinua con una humedad mayor al 12%.

- La relación longitud / diámetro menor a 10:1 de un tornillo simple de extrusión debería tener 3 etapas de procesamiento: Zona de alimentación, zona de amasado y zona de cocción. (Riaz Mian, 2000)

Zona de alimentación: El roscado del **tornillo de alimentación** usualmente es muy profundo, tiene un paso de rosca con mayor inclinación y mayor altura del filete para maximizar el transporte.

Zona de amasado: El grado de inclinación del **tornillo de amasado** disminuye como también la altura para maximizar el mezclado en esta área.

Zona de cocción: La rosca del **tornillo de cocción** es típicamente poco profunda para provocar el aumento del flujo de fuga y disminuir la capacidad de transporte, además tiene un grado de inclinación menor al tornillo de amasado y la parte final del **tornillo de cocción** a menudo es de forma cónica que reduce el desplazamiento volumétrico y aumenta la compresión.

- Para mejorar el mezclado de la masa se diseñara un par de mezcladores circulares que por su forma geométrica nos permitirán una mayor calidad en el mezclado. (Riaz Mian, 2000)

3.4.2 Datos de entrada según bibliografía

TABLA 1. Clasificación de extrusores de tornillo único (Riaz Mian, 2000).

	Cizallamiento más bajo	Cizallamiento medio	Cizallamiento alto
Humedad del producto (%)	25-75	15-30	5-8
Densidad del producto (g/L)	320-800	160-510	32-200
Temperatura máxima del cilindro (°C)	20-65	55-145	110-180
Presión máxima del cilindro (Kg/cm²)(KPa)	6-63 588-6178	21-42 2059-4119	42-84 4119-8238
Diámetro del tornillo(mm)	60	60	60
Profundidad del canal (mm)	3-5,3	5-8,5	8-18
Canales de flujo paralelo (n)	1	2	2-3
Velocidad del tornillo (rpm)	Menor que 100	Mayor que 100	Mayor que 100
Conversión de energía (Kw/Kg)	0,01-0,04	0,02-0,08	0,10-0,16
Productos típicos	Productos de pasta. Aperitivos de tercera generación. Productos cárnicos y gomas.	Soya texturizada. Panificables. Alimentos expandidos para animales de compañía. Alimentos semi-húmedos para animales de compañía.	Aperitivos. Cereales para desayuno. Panificables. Picatostes. Almidones finos de ebullición.

TABLA 2. Condiciones típicas de procesado para productos de esfuerzo cortante alto (Riaz Mian, 2000).

	Valor
Extrusor rpm	300-400
Temperatura del cilindro del extrusor °C	120-160
Presión del cilindro del extrusor atmósferas	70-150
Caudal de alimentación de la harina de maíz seca Kg/h	450
Humedad añadida dentro del extrusor Kg/h	13
Humedad del producto extruido CHBH	8-10 %
Densidad aparente del producto extruido g/L	48-64

3.4.3 Cálculos del diseño

3.4.3.1 Tornillo simple de extrusión

La relación L: D será menor 10:1 en tornillos únicos de cizallamiento alto. (Riaz Mian, 2000)

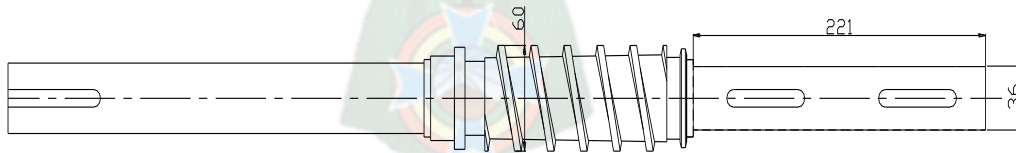


FIGURA 7. Tornillo de extrusión.

En la figura 7 podemos observar el diseño inicial tomando como datos iniciales los parámetros de entrada de la tabla 1. El tornillo además deberá tener una parte roscada fija y la parte restante tendrá elementos roscados intercambiables. Para efectos de diseño los elementos del tornillo que serán intercambiables se debe tomar como diámetro interno mínimo 36 mm esta medida quedaría después de restar de 60 mm del diámetro exterior la altura del chavetero, la altura del paso de la rosca y el espesor necesario para la sujeción de la pieza en el husillo.

Aplicando los parámetros de entrada el área en el frente del husillo es A, la fuerza F, la velocidad tangencial v.

$$A = \pi * r^2 = \pi * (30\text{mm})^2 = 2827,43 \text{ mm}^2 = 2,8\text{E}-3 \text{ m}^2$$

$$F = P * A = 8238\text{E}3\text{Pa} * 2,8\text{E}-3\text{m}^2 = 23066,4 \text{ N} = 2351,3 \text{ Kg}$$

$$v = \pi * d * n / 60000 = \pi * 60\text{mm} * 100 \text{ rpm} / 60000 = 22,6 \text{ m/min} = 0,31 \text{ m/s}$$

Análisis del la parte más expuesta del tornillo de extrusión al momento de torsión

ECUACIÓN 1. Inercia polar.

$$I_p = \frac{\pi * d_e^4}{32}$$

ECUACIÓN 2. Momento de torsión.

$$M_T = \frac{2 * T * I_p}{d_e}$$

ECUACIÓN 3. Potencia del motor en Hp.

$$Hp = \frac{M_T * n}{71620 * 1,014}$$

ECUACIÓN 4. Ángulo de torsión en grados.

$$\theta = \frac{M_T * l_e * 180}{G * I_p * \pi}$$

TABLA 3. Resistencia del husillo principal a la torsión.

Datos		Unidades	Resultados
Diámetro de eje	d _e	cm	3,6
Velocidad de giro del husillo	n	rpm	120
Longitud de eje	l _e	cm	22,1
Módulo de elasticidad	G	Kg/cm ²	2038736
Tensión cortante máxima del acero	T	Kg/cm ²	754,33
Cálculos realizados			
Momento de inercia polar	I _p	cm ⁴	16,49
Momento de torsión	M _T	Kg cm	6910,3
Potencia del motor	Hp	Hp	11,42
Ángulo de torsión en grados	θ		0°15'

Momento de torsión: Es una propiedad geométrica de la sección transversal de una viga o prisma mecánico que relaciona la magnitud del momento de torsión con las tensiones tangenciales sobre la sección transversal. (Resistencia de materiales, 2008)

Según se ven los resultados obtenidos, la potencia máxima que resistirá el husillo principal es de 11,42 Hp a una velocidad de 120 rpm como también el ángulo de torsión es aceptable.

Presión en la máquina extrusora

La presión en la máquina de extrusión se genera en la parte delantera del husillo cumpliendo un papel importante en el proceso y en el acabado del material, de igual manera es importante porque de ella se derivan diferentes cálculos para el diseño de dicha máquina.

ECUACIÓN 5. Presión necesaria para extruir granos de quinua.

$$P_{max} = \frac{6 * \pi * D * L * n * \mu}{h^2 * \tan \varphi}$$
$$P_{max} = \frac{6 * \pi * 0,06 * 0,11 * 2 * 10}{(3 \times 10^{-3})^2 * \tan 7,55}$$
$$P_{max} = 2,1 \frac{MN}{m^2} = 21 \text{ Bar}$$

D = diámetro del husillo (m)

L = longitud del husillo (m)

n = velocidad de giro (rev/s)

μ = viscosidad de cizallamiento (Pa*s)

h = altura del filete (m)

$\tan \varphi$ = ángulo de inclinación del filete

Peso del tornillo de extrusión

Es importante calcular el peso de este dispositivo ya que de él se derivan los cálculos para hallar las fuerzas que se generan en el husillo.

ECUACIÓN 6. Volumen de un cilindro.

Volumen desde el rodamiento de apoyo y antes de la parte roscada

$$V_1 = 0,785 * D^2 * H = 0,785 * 0,05^2 * 0,05 = 9,8 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

Volumen parte cilíndrica roscada

$$V_2 = 0,785 * D^2 * H = 0,785 * 0,06^2 * 0,32 = 9,05 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

ECUACIÓN 7. Volumen de un cono.

Volumen parte cónica roscada

$$V_3 = 0,262(D^2 + D*d + d^2) * H = 0,262(0,06^2 + 0,06 * 0,051 + 0,051^2) * 0,06 = 1,5 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Punta del husillo

$$V_4 = 0,785 * D^2 * H + 0,262(D^2 + D*d + d^2) * H = 0,785 * 0,05^2 * 0,01 + 0,262(0,05^2 + 0,05 * 0,02 + 0,02^2) * 0,01 = 2,98 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$V_t = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 = 9,8 \times 10^{-5} + 9,05 \times 10^{-4} + 1,5 \times 10^{-4} + 2,98 \times 10^{-5} = 1,18 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Densidad del acero AISI-SAE 1045

$$\rho = 7870 \text{ kg/m}^3$$

ECUACIÓN 8. Masa del acero AISI-SAE 1045

$$m = \rho * V_t = 7870 * 1,18 \times 10^{-3} = 9,28 \text{ kg}$$

Cálculo de la flecha máxima o deflexión f_{max}

ECUACIÓN 9. Momento de inercia polar.

$$J = \frac{\pi * D^4}{64} = \frac{\pi * 0,06^4}{64} = 6,36E - 7 \text{ m}^4$$

ECUACIÓN 10. Flecha máxima de deflexión.

$$f_{max} = \frac{q * L^4}{8 * E * J} = \frac{197,9 * 0,46^4}{8 * 200E9 * 6,36E - 7} = 8,35E - 6 \text{ m}$$

q = carga uniformemente repartida (N/m)

D = diámetro del tornillo (m)

L = longitud del tornillo (m)

$E =$ módulo de elasticidad (N/m^2)

$J =$ momento de inercia polar (m^4)

A partir de este valor se puede concluir que el husillo tendrá una flecha muy reducida lo que se traduce en una mínima deflexión del mismo.

Cálculo de fuerzas en el husillo

La misión fundamental de un cálculo de resistencia consiste en comprobar las dimensiones previamente determinadas del husillo y determinar la flecha máxima admisible. Sobre el husillo actúan la fuerza axial P , el momento de giro M_t y la carga uniformemente repartida q originada por el propio peso del husillo.

Análisis estático del husillo principal

Cálculo de la fuerza axial P , área al frente del husillo principal A , presión necesaria para extruir granos de quinua.

$$A = 0,785(45^2 - 20^2) = 1,27 \times 10^{-3} m^2$$

$$P = P_{\max} * A = 2,1 \times 10^6 N/m^2 * 1,27 \times 10^{-3} m^2 = 2680,23 N$$

$$M_t = 677,9 Nm \text{ para } 11,42 Hp$$

Cálculo de la carga uniformemente repartida q

ECUACIÓN 11. Carga uniformemente repartida.

$$q = \frac{\text{peso del husillo}}{\text{longitud del husillo}} = \frac{9,28 Kg}{0,46 m} = 20,17 \frac{Kg}{m} = 197,9 \frac{N}{m}$$

La fuerza de fricción o la resistencia de los granos de quinua a ser transportados

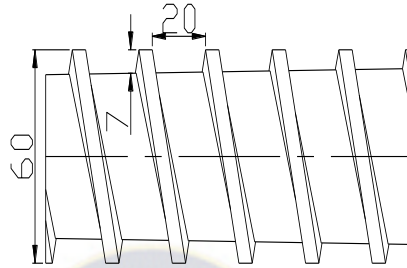


FIGURA 8. Zona de alimentación.

Volumen de la quinua en la zona de alimentación

$$V1 = \pi/4 (D^2 - d^2) H * \text{filetes} = \pi/4 (60^2 - 46^2) 20 * 6$$

$$V1 = 139863 \text{ mm}^3$$

Volumen de la quinua en la zona de amasado

$$V2 = \pi/4 (D^2 - d^2) H * \text{filetes} = \pi/4 (60^2 - 50^2) 10 * 6$$

$$V2 = 51836,3 \text{ mm}^3$$

Volumen de la quinua en la zona cocción y extrusión

Parte cilíndrica

$$V3 = \pi/4 (D^2 - d^2) H * \text{filetes} = \pi/4 (60^2 - 54^2) 7,7 * 3$$

$$V3 = 12409,6 \text{ mm}^3$$

Parte cónica

$$V3' = \pi/12 (D^2 + D*d + d^2) H = \pi/12 (60^2 + 60*51,8 + 51,8^2) 60$$

$$V3' = 147517,25 \text{ mm}^3$$

$$V3'' = \pi/12 (D^2 + D*d + d^2) H = \pi/12 (54^2 + 54*45 + 45^2) 60$$

$$V3'' = 115783,4 \text{ mm}^3$$

$$V3''' = V3' - V3'' = 31733,85 \text{ mm}^3$$

$$V4 = V3''' * 0,58 = 31733,85 * 0,58$$

$$V4 = 18405,63 \text{ mm}^3$$

$$V_{\text{quinua}} = V1 + V2 + V3 + V4 = 139863 + 51836,3 + 12409,6 + 18405,63 = 222514,53 \text{ mm}^3$$

$$V_{\text{quinua}} = 2,2E-4 \text{ m}^3$$

Densidad de la quinua $\rho = 823,83 \text{ Kg/m}^3$

$$M_{\text{quinua}} = \rho * V_{\text{quinua}} = 823,83 \text{ Kg/m}^3 * 2,2\text{E-}4\text{m}^3 = 0,18\text{Kg}$$

Para materiales pulverulentos como por ejemplo cebada, trigo, malta, arroz y similares. Coeficiente de fricción $f=1,2$

$$F = f * M_{\text{quinua}} = 1,2 * 0,18\text{Kg} = 0,216\text{Kg} = 2,12\text{N}$$

La fuerza resultante para transportar 0,18 Kg de quinua $F = 2,12\text{N}$ por lo tanto es una fuerza que no necesariamente se debe tomar en cuenta.

Estado de fuerzas del husillo principal

La fuerza resultante para extraer la quinua además de cizallarla, comprimirla y cocerla es P_{max} .

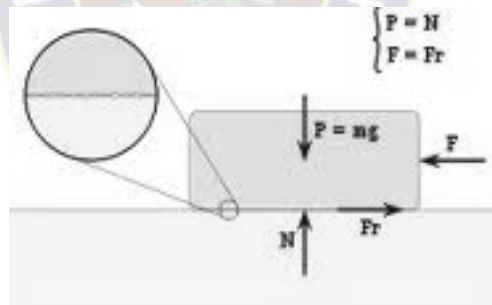


FIGURA 9. Fuerza aplicando el coeficiente de fricción.

$$P_{\text{max}} = P * f = 2680,23\text{N} * 1,2 = 3216,28\text{N}$$

El momento de torsión M_t para $P_{\text{max}} = 3216,28\text{N}$ por el diámetro exterior del tornillo 0,06m es igual a 193 Nm.

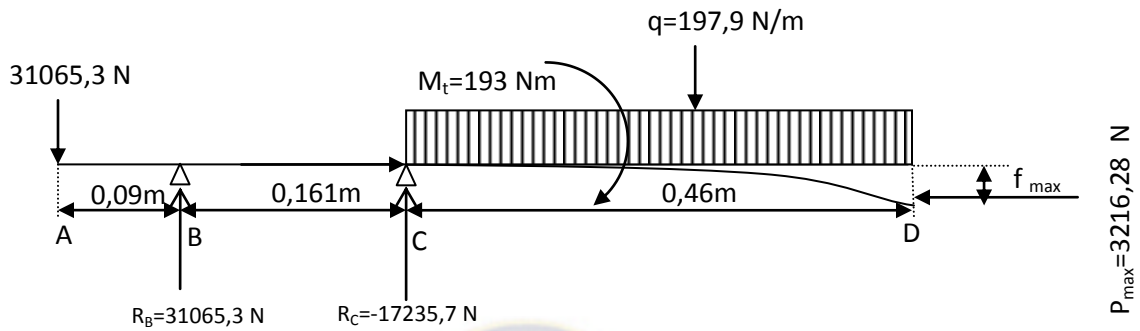


FIGURA 10. Diagrama de cuerpo libre del husillo principal.

El momento de torsión para 11,42 Hp es igual a 677,9 Nm y el momento de torsión para el estado de fuerzas es igual a 193 Nm.

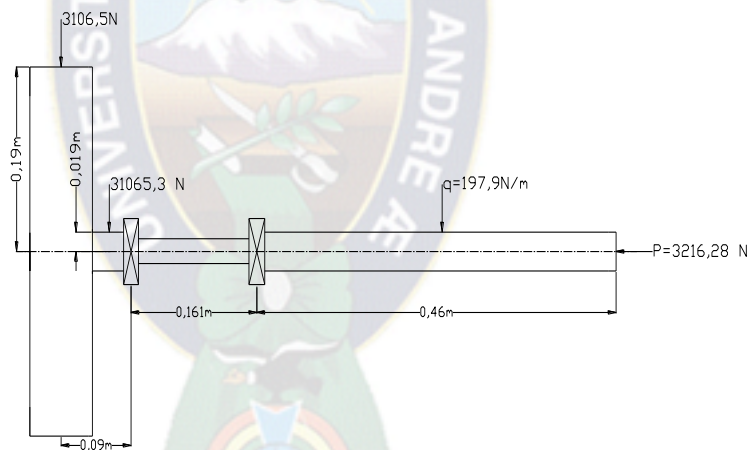


FIGURA 11. Esquema del husillo principal.

Análisis de la parte roscada del husillo principal al pandeo

Diámetro para efectos de cálculo del husillo principal $d \approx 36$ mm.

Longitud para efectos de cálculo de la parte roscada del tornillo más la parte sin rosca $L \approx 460$ mm.

Material de construcción del husillo principal acero AISI-SAE 1045.

Constante K depende del tipo de fijación para nuestro caso empotrada y libre.

$K=2,1$ valor práctico $K=2$ valor teórico

ECUACIÓN 12. Longitud efectiva es igual a la longitud real.

$$K * L = 2,1 * 460 \text{ mm} = 966 \text{ mm}$$

ECUACIÓN 13. Radio de giro para una sección redonda sólida.

$$r = d/4 = 36/4 = 9 \text{ mm}$$

ECUACIÓN 14. Relación de esbeltez.

$$r = \frac{K * L}{r} = \frac{2,1 * 460 \text{ mm}}{9 \text{ mm}} = 107,3$$

ECUACIÓN 15. Constante de transición de delgadez C_C

$$C_C = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}} = 118,7$$

Punto cedente $S_y = 290 \text{ E}6 \text{ Pa}$ módulo de elasticidad $E = 200 \text{ E}9 \text{ Pa}$

La relación de esbeltez r es menor que la razón de transición de delgadez C_C entonces aplicamos la fórmula de Johnson. (Mott, 1992)

ECUACIÓN 16. Fórmula de la carga crítica.

$$P_{cr} = \frac{\pi}{4} * d^2 * S_y \left[1 - \frac{S_y \left(\frac{K * L}{r} \right)^2}{4\pi^2 * E} \right] = 171206,74 \text{ N}$$

A esta carga la parte del husillo roscada deberá empezar a pandearse.

Para un diseño típico de máquinas el factor de diseño = 3 $F_{axial} = 3216,28 \text{ N}$

ECUACIÓN 17. Carga permisible P_a .

$$P_a = P_{cr} / \text{factor de diseño}$$

$$P_a = 57068,92 \text{ N}$$

Para una carga segura será un valor reducido aplicando factor de diseño.

Carga crítica $P_a >$ la fuerza axial F_{axial}

Luego $57068,92 \text{ N} > 3216,28 \text{ N}$ por lo tanto no existirá pandeo en el tornillo de extrusión.

Después de realizar el cálculo para pandeo queda determinado que el diámetro interno de 36 mm es una medida correcta por lo tanto no existirá pandeo en el tornillo de extrusión.

Para terminar de diseñar el tornillo de extrusión existen varios ejemplos como ser los tornillos extrusores para maíz, plástico disponibles en el mercado y los ejemplos sobre extrusores en (Riaz Mian, 2000).

TABLA 4. Dimensiones del tornillo simple de extrusión.

TORNILLO	
Diámetro (mm)	60
Longitud (mm)	379
Relación de longitud y diámetro	6,3
Para la fabricación del tornillo	
Longitud del tornillo de alimentación con su mezclador(mm)	153
Longitud del tornillo de amasado con su mezclador(mm)	115
Longitud del tornillo de cocción y extrusión con parte cónica (mm)	111
Longitud de la parte cónica (mm)	60
Parte cónica	
Diámetro menor (mm)	51
Diámetro mayor (mm)	60
Relación de la conicidad	0,85
Conicidad %	14,5

TABLA 5. Dimensiones de los pasos.

Dimensiones del paso	
Zona de alimentación. Primer paso (mm)(rosca derecha)	25
Zona de amasado. Segundo paso (mm)(rosca derecha)	15
Zona de cocción y extrusión. Tercer paso (mm)(rosca derecha)	12,7
Ancho de la cara del filete en todo el tornillo(mm)	5
Altura del filete al comienzo del tornillo(mm)	7
Altura del filete al final del tornillo antes de parte cónica(mm)	3
Altura del filete en la parte cónica(mm)	3

3.4.3.2 Potencia del motor

ECUACIÓN 18. Caudal saliente (Ecuación adaptada de un extrusor para material plástico). (De Antonio Gómez)

$$Q_m = \frac{1}{2} * \pi * w * h * d_{ic} * n * \cos \beta * \rho$$

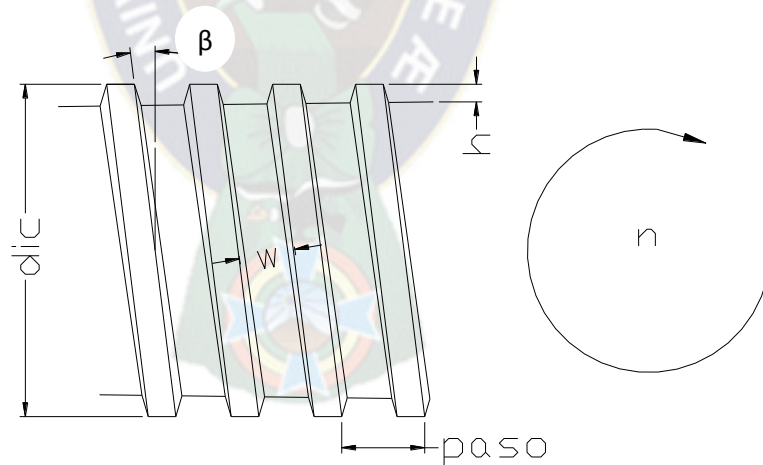


FIGURA 12. Dimensiones para determinar la fórmula del caudal másico.

Para el extrusor seco más pequeño disponible, la potencia necesaria del motor es de 0,09 (Hp) por cada (Kg/h) de caudal saliente (Riaz Mian, 2000).

ECUACIÓN 19. Potencia necesaria del motor.

$$Hp_n = 0,09 * Q_m$$

La potencia necesaria para el accionamiento del extrusor la obtenemos en función del caudal que expulsa, a su vez es directamente proporcional a la velocidad del tornillo.

TABLA 6. Potencia que requiere el extrusor para quinua.

Datos		
w	Ancho del canal (m)	0,02
h	Altura del canal (m)	0,0068
d _{ic}	Diámetro interno de la camisa (m)	0,06
n	Velocidad de giro del husillo (rph)	7200
β	Ángulo de inclinación del filete	8°33'
ρ	Densidad de la quinua Pandela (Kg/m ³)	823,83
Cálculos realizados		
Q _m	Caudal másico del extrusor (Kg/h)	75,27
Hp _n	Potencia necesaria del motor (Hp)	6,8

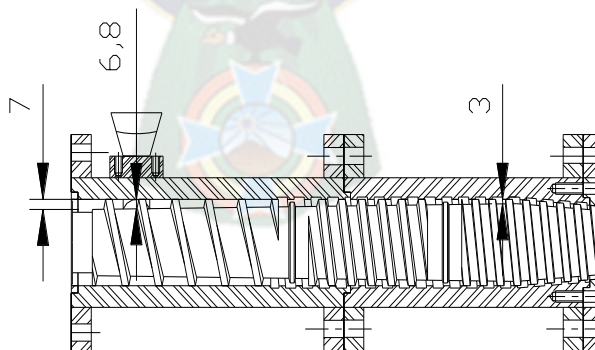


FIGURA 13. Sección del conjunto de tornillo y camisa de extrusión.

La altura de paso del tornillo al comienzo es de 7 mm, donde está ubicada la garganta de alimentación, la altura de paso del tornillo es de 6,8 mm, al final de la parte cilíndrica la altura de paso del tornillo es de 3 mm. Como podemos observar la altura de paso del tornillo es decreciente y va variando de forma cónica. Luego, por la posición de la garganta de alimentación, se tomó como dato ese valor 6,8 mm de altura y la cantidad máxima en volumen estaría ubicada en esta parte, de tal modo que el caudal entrante y el caudal saliente deberían ser iguales.

Haciendo cálculos se puede ver que solamente se necesita un motor de 6,8 Hp, después no se sabe el comportamiento del grano de quinua en el proceso de extrusión por lo tanto puede ser que la potencia necesaria sea mayor.

3.4.3.3 Camisas del tornillo de extrusión

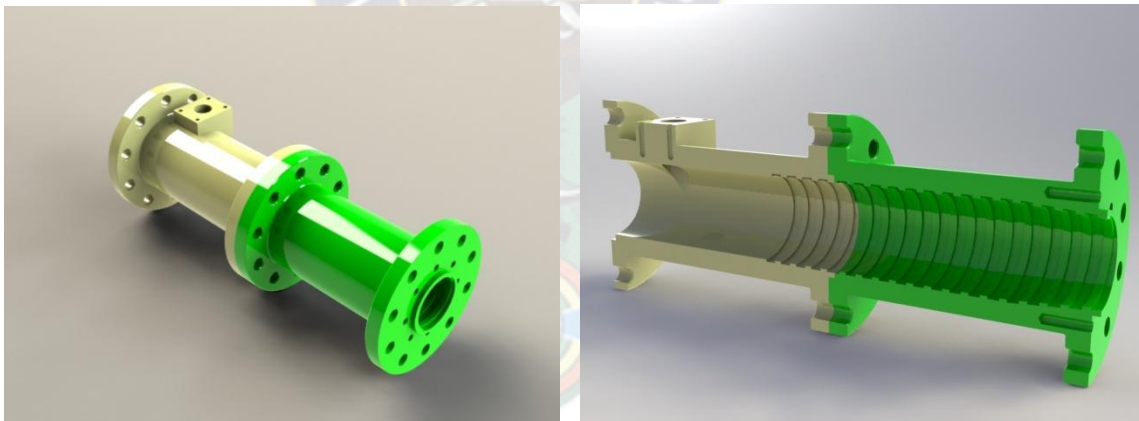


FIGURA 14. Camisas del tornillo de extrusión y sección de las camisas.

La camisa del tornillo de extrusión tiene una rosca interna derecha, paso 12,7 mm, altura de la rosca 2 mm. La mencionada rosca abarca un 75% del total de la longitud de la camisa.

ECUACIÓN 20. Esfuerzo admisible.

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{fluencia}}{S}$$

ECUACIÓN 21. Espesor de la camisa del tornillo de extrusión.

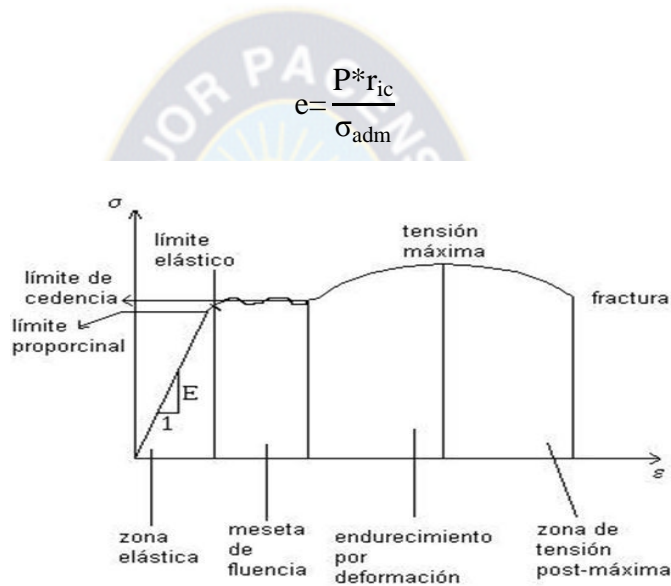


FIGURA 15. Diagrama esfuerzo-deformación.

TABLA 7. Espesor de la camisa del tornillo de extrusión.

Datos		
$\sigma_{fluencia}$	Límite de fluencia del acero SAE 1045(N/mm ²)	310
S	Coficiente de seguridad	4
r_{ic}	Radio interno de la camisa (mm)	30
P	Presión máxima(N/mm ²)	8,2
Cálculos realizados		
σ_{adm}	Esfuerzo admisible(N/mm ²)	77,5
e	Espesor de la camisa del tornillo de extrusión(mm)	3,2
e_{final}	Espesor final probado(mm)	15

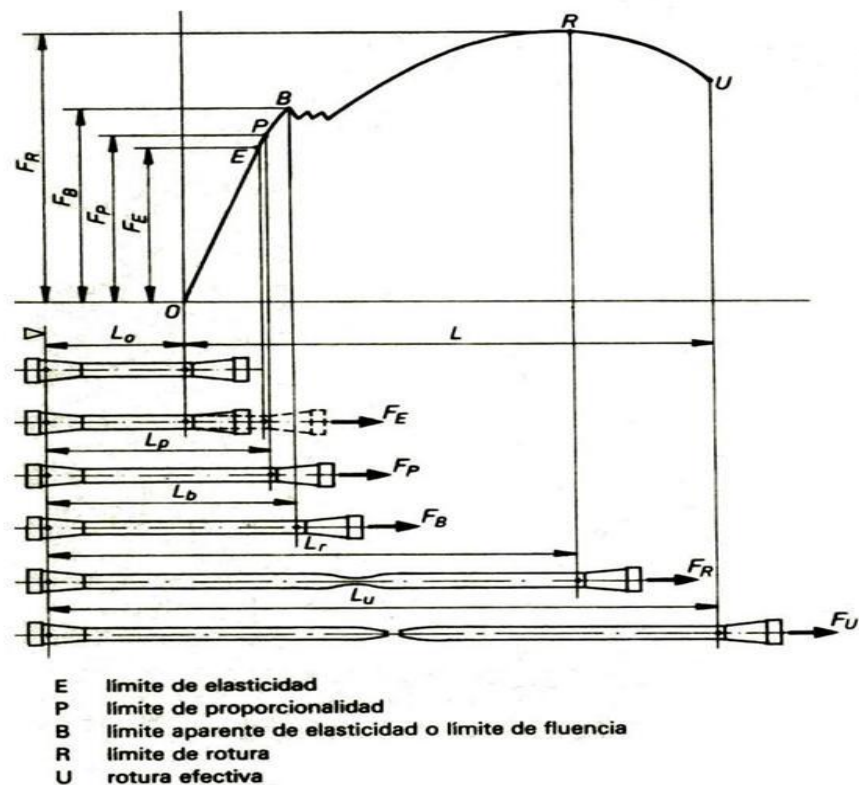


FIGURA 16. Sea una barra de acero al bajo carbono (A-36) sujeta a tensión con sección circular.

La presión interna debido a la masa viscosa de quinua, originará tensiones tanto tangenciales como longitudinales, por lo tanto, se debe determinar el esfuerzo admisible en función al límite de fluencia para obtener el espesor de la pared de las camisas.

Límite de fluencia del acero o límite de elasticidad aparente SAE 1045 es de 310 (N/mm²).

La presión máxima que se generará en el interior de un extrusor de tornillo único de cizallamiento alto será 42-84 (kg/cm²) 4119-8238 (KPa) (Riaz Mian, 2000).

La tabla 7 muestra un espesor final probado de 15 mm. Las razones por las que se construyó así son: Para facilitar la construcción en un torno; al ser un modelo experimental se debe implementar sensores de temperatura y presión estos son de rosca y se necesita un espesor suficiente en la pared de la camisa para perforar y roscar; tendrá una rosca interna para mejorar el cizallamiento, además tendrá una resistencia eléctrica para precalentar la camisa de amasado.

3.4.3.4 Sistema de transmisión

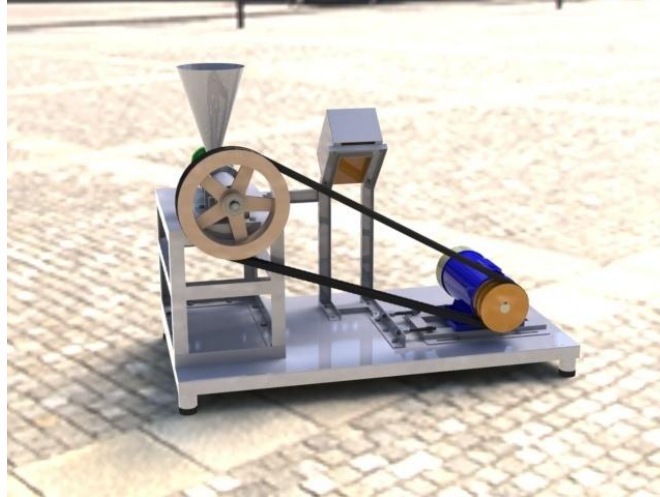


FIGURA 17. Poleas y correas del extrusor para quinua.

TABLA 8. Sistema de transmisión por correas trapeciales D 120. (Casillas, 1988)

Datos	Unidades	Resultados
Potencia del motor para cada correa	Hp	5,5
Número de correas	Unidad	2
Dimensiones		
a	mm	32
b	mm	19
Perímetro mínimo de la correa	mm	3115
Diámetro polea conducida	mm	380
Diámetro polea motriz	mm	190
Relación de transmisión		2:1
h	mm	30
c	mm	37
Ángulo de los flancos de la garganta	Grados	34

Según (Casillas, 1988) cada correa trapecial D 120 transmitirá 5,5 Hp, haciendo una multiplicación de $2 * 5,5$ nos da 11 Hp y el motor que vamos a usar es de 10 Hp, por lo tanto la correa D 120 es la adecuada.

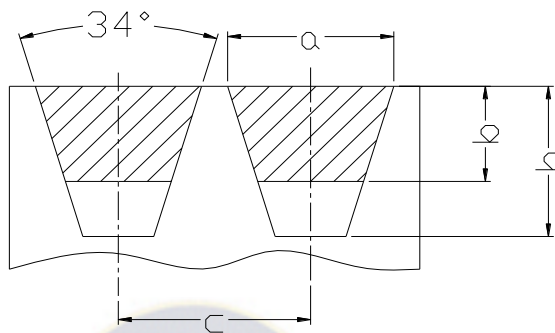


FIGURA 18. Sección de las correas trapeciales. (Casillas, 1988)

3.4.3.5 Pernos y tuercas

ECUACIÓN 22. Área transversal de la camisa.

$$A = \pi * r_{ic}^2$$

ECUACIÓN 23. Cálculo de la fuerza.

$$F = A * P$$

ECUACIÓN 24. El número de pernos.

$$nro = \frac{F}{A_s * \theta_{ul}}$$

Vea los anexos, ficha técnica de rosca métrica ISO A_s.

TABLA 9. Cálculo del número de pernos hexagonal M12 x 1,75 grado 8,8 para las camisas. (Deutsche, 1985)

Datos		Unidades	Resultados
Presión máxima en la camisa del extrusor	P	N/mm ²	8,2
Radio interior de la camisa del extrusor	r _{ic}	mm	30
Resistencia última a la tracción de los pernos	θ _{ul}	N/mm ²	81
Área transversal de tensión de cada tornillo	A _s	mm ²	84,3
Cálculos			
Área transversal del interior de la camisa	A	mm ²	2827,4
Fuerza	F	N	23184,7
Número de pernos necesarios	nro	Unidades	3,4 ≈ 4

La presión máxima que se generará en un extrusor de tornillo único de cizallamiento alto será 8,2 N/mm².

TABLA 10. Cálculo del número de pernos Allen M 6 x 1 grado 8,8.

Datos		Unidades	Resultados
Presión máxima en la camisa del extrusor	P	N/mm ²	8,2
Radio interior de la camisa del extrusor	r _{ic}	mm	30
Resistencia última a la tracción	θ _{ul}	N/mm ²	81
Área transversal de tensión de cada tornillo	A _s	mm ²	20,1
Cálculos			
Área transversal del interior de la camisa	A	mm ²	2827,4
Fuerza	F	N	23184,7
Número de pernos necesarios	nro	Unidades	14,2 ≈ 15

TABLA 11. Cálculo del número de pernos Allen M 8 x 1,25 grado 8,8.

Datos		Unidades	Resultados
Presión máxima en la camisa del extrusor	P	N/mm ²	8,2
Radio interior de la camisa del extrusor	r _{ic}	mm	30
Resistencia última a la tracción	θ _{ul}	N/mm ²	81
Área transversal de tensión de cada tornillo	A _s	mm ²	36,6
Cálculos			
Área transversal del interior de la camisa	A	mm ²	2827,4
Fuerza	F	N	23184,7
Número de pernos necesarios	nro	Unidades	7,8 ≈ 8

ECUACIÓN 25. Velocidad tangencial.

$$v = \frac{\pi * d_p * n}{60000}$$

ECUACIÓN 26. La fuerza tangencial.

$$F_t = \frac{P_{motor}}{v}$$

ECUACIÓN 27. La fuerza de cizallamiento.

$$T_1 = \frac{F_t}{A_s * nro}$$

TABLA 12. Cálculo del número de pernos hexagonal M 12 x 1,75 grado 8,8 para sujetar el motor y la base del extrusor.

Datos		Unidades	Resultados
Potencia del motor que se compró	P_{motor}	Hp	10
Factor de conversión		Kg m/s	76
Velocidad tangencial	v	m/s	2,4
Diámetro de la polea conducida	d_p	mm	380
Velocidad de giro	n	rpm	120
Fuerza tangencial	F_t	Kg | N	316,7 | 3106,5
Tensión de cizallamiento admisible por perno		N/mm ²	575,1
Área de tensión transversal del perno	A_s	mm ²	88,16
Número de pernos	nro	Unidad	4
Cálculos			
Fuerza de cizallamiento obtenida	T_1	N/mm ²	8,8
Conclusión			8,8 < 575,1

Por lo tanto, deberían soportar 4 pernos hexagonal M 12 x 1,75 grado 8,8 a la fuerza de cizallamiento.

TABLA 13. Cantidad calculada de pernos, tuercas y volandas.

Tipo de perno	Nº de pernos	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Tuerca (uni.)	Vol. Plana (uni.)	Vol. Presión (uni.)
Allen	15	6	40			
Allen	16	8	40			
Hexagonal	16	12	50	1	1	1

TABLA 14. Cantidad de pernos, tuercas y volandas de los demás elementos.

Tipo de perno	N° de pernos	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Tuerca (uni.)	Vol. Plana (uni.)	Vol. Presión (uni.)
Allen	8	6	30	1		
Allen	1	6	40			
Hexagonal	15	12	30	1	1	1
Hexagonal	29	12	50	1	1	1
Hexagonal	10	6	25			
Prisionero	1	8	10			
Otros						
Varilla roscada	1	16	600	10	4	
Tuercas	1	19,05			1	

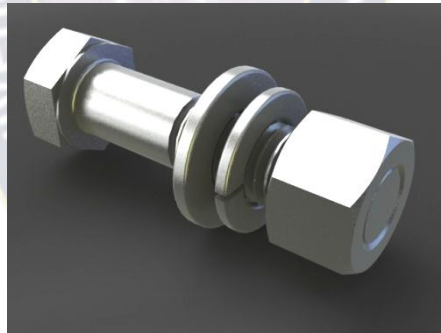


FIGURA 19. Perno, volanda plana, volanda de presión y tuerca.

3.4.3.6 Chavetas

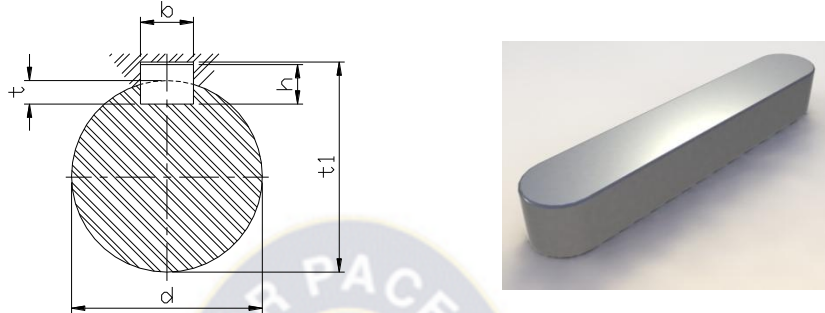


FIGURA 20. Sección del chavetero y la chaveta plana.

Dimensiones del chavetero y la chaveta. (Casillas, 1988)

$$d = 38 \text{ mm.}$$

$$b = 10 \text{ mm.}$$

$$h = 8 \text{ mm.}$$

$$t = 4,5 \text{ mm.}$$

$$t1 = d + 3,7 \text{ mm.} = 41,7 \text{ mm.}$$

ECUACIÓN 28. Fuerza tangencial obtenida.

$$F_1 = \frac{F_t * R}{r_e}$$

ECUACIÓN 29. Área de contacto.

$$A_c = \frac{F_1}{P_{ul}}$$

ECUACIÓN 30. Longitud de la chaveta.

$$l = \frac{A_c}{2 * b}$$

TABLA 15. Longitud de la chaveta plana.

Datos		Unidades	Resultados
Fuerza tangencial	F_t	N	3106,5
Radio exterior de la polea conducida	R	mm	190
Radio del eje de la polea conducida	r_e	mm	19
Presión de contacto admisible	P_{ul}	N/mm ²	90
Ancho de la chaveta	b	mm	10
Altura de la chaveta	h	mm	8
Cálculos realizados			
Fuerza tangencial obtenida	F_l	N	31065
Área de contacto	A_c	mm ²	345,2
Longitud de la chaveta	l	mm	17,3

3.4.3.7 Dilatación térmica

ECUACIÓN 31. Dilatación térmica lineal del tornillo.

$$\Delta d = d * \alpha * \Delta t$$

ECUACIÓN 32. Diferencia del diámetro exterior del tornillo.

$$d_f = \Delta d + d_i$$

TABLA 16. Dilatación térmica del tornillo de extrusión.

Datos		Unidades	Resultados
Diámetro exterior final rectificado del tornillo	d_i	mm	59,7
Coeficiente de dilatación térmica del acero	α	1/K	0,000012
Temperatura ambiente	t_i	°C	20
Temperatura final	t_f	°C	150
Cálculos realizados			
Δ diámetro exterior del tornillo	Δd	mm	0,0931
Diámetro exterior final del tornillo	d_f	mm	59,7931

ECUACIÓN 33. Dilatación térmica lineal de la camisa.

$$\Delta D = D * \alpha * \Delta t$$

ECUACIÓN 34. Diferencia del diámetro interior de la camisa.

$$D_f = \Delta D + D_i$$

TABLA 17. Dilatación térmica de la camisa de extrusión.

Datos		Unidades	Resultados
Diámetro interior final acabado de la camisa	D_i	mm	60
Coeficiente de dilatación térmica del acero	α	1/K	0,000012
Temperatura ambiente	t_i	°C	20
Temperatura final	t_f	°C	150
Cálculos realizados			
Δ diámetro interior de la camisa	ΔD	mm	0,0936
Diámetro interior final de la camisa	D_f	mm	60,0936

ECUACIÓN 35. La holgura a temperatura ambiente.

$$H_i = D_i - d_i$$

ECUACIÓN 36. La holgura a una temperatura de 150 °C.

$$H_f = D_f - d_f$$

TABLA 18. Holgura entre el tornillo y la camisa de extrusión. En frío y en caliente.

En frío		Unidades	Resultados
Temperatura ambiente	t_i	°C	20
Holgura inicial entre tornillo y camisa	H_i	mm	0,3
En caliente			
Temperatura final	t_f	°C	150
Holgura final entre tornillo y camisa	H_f	mm	0,3005

La holgura varía 0,0005 mm con el aumento de temperatura, por lo tanto no afecta de manera notoria a la diferencia existente entre el diámetro exterior del tornillo y el diámetro interior de la camisa.

3.4.3.8 Rodamientos

3.4.3.8.1 Rodamiento rígido de bolas

ECUACIÓN 37. Factor de vida nominal del rodamiento rígido con carga dinámica.

$$f_{hd} = f_n \frac{c_r}{f_r}$$

ECUACIÓN 38. Factor de vida nominal del rodamiento rígido con carga estática.

$$f_{he} = \frac{c_{or}}{f_s}$$

TABLA 19. Vida nominal útil del rodamiento rígido de una sola hilera NTN 6008 ZZ. (Catálogo de rodamientos, 2011) anexo II

Datos		Unidades	Resultados
Diámetro exterior del rodamiento	Dr	mm	68
Diámetro interior del rodamiento	dr	mm	40
Carga estática	cor	KN	11,5
Carga dinámica	cr	KN	16,8
Carga radial que soportará el rodamiento	fr	KN	3,4
Carga radial estática	fs	KN	0,2
Factor de velocidad	fn		0,65
Cálculos realizados			
Factor de vida con carga dinámica	fhd		3,2
Factor de vida con carga estática	fhe		57,5
Vida nominal en horas de operación con carga estática.	L _{10h}	Horas	∞
Vida nominal en horas de operación con carga dinámica.	L _{10h}	Horas	16500

Los cálculos mostrados en la tabla 19 son para la carga radial, porque para la carga axial los datos y cálculos obtenidos mostraron que el rodamiento rígido NTN 6008 ZZ no es el adecuado.



FIGURA 21. Rodamiento rígido de bolas.

3.4.3.8.2 Rodamiento de rodillos cónicos

ECUACIÓN 39. Relación de cargas.

$$\frac{f_a}{f_r}$$

ECUACIÓN 40. Carga radial y axial dinámica.

$$p_r = x * f_r + y * f_a$$

ECUACIÓN 41. Factor de vida con carga dinámica.

$$f_{hd} = f_n \frac{c_r}{p_r}$$

ECUACIÓN 42. Carga radial y axial estática.

$$p_{or} = 0,5 * f_r + y_0 * f_a$$

ECUACIÓN 43. Factor de vida con carga estática.

$$f_{he} = \frac{c_{or}}{p_{or}}$$

TABLA 20. Vida nominal útil del rodamiento cónico NTN 4T-32008X. (Catálogo de rodamientos, 2011) anexo III

Datos		Unidades	Resultados
Diámetro exterior del rodamiento	Dr	mm	68
Diámetro interior del rodamiento	dr	mm	40
Carga estática	cor	KN	65,5
Carga dinámica	cr	KN	50
Carga radial que soportará el rodamiento	fr	KN	3,4
Carga radial estática	fs	KN	0,2
Carga axial que soportará el rodamiento	fa	KN	23,2
y ₂			1,1
y ₀			0,6
X			0,4
Y			1,1
Cálculos realizados			
Relación de cargas			6,8
Carga radial y axial dinámica obtenida	pr	KN	26,88
Factor de vida con carga dinámica	fhd		1,9
Factor de velocidad	fn		0,69
Vida nominal en horas de operación con carga dinámica	L ₁₀	horas	4150
Carga radial y axial estática obtenida	por	KN	0,1
Factor de vida con carga estática	fhe		655
Vida nominal en horas de operación con carga estática	L ₁₀	horas	∞

Los cálculos mostrados en la tabla 20, son para la carga radial y para la carga axial combinadas, los datos obtenidos muestran que el rodamiento cónico NTN 4T-32008X es el adecuado.

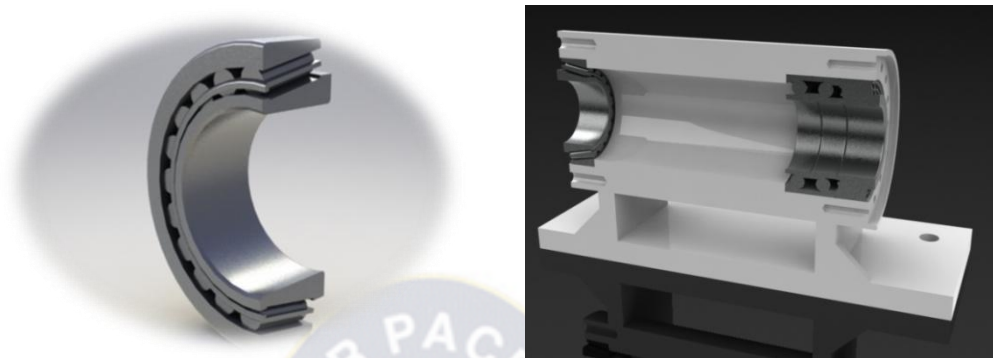


FIGURA 22. Rodamiento de rodillos cónicos y sección de la camisa con rodamientos.

3.4.3.9 Troquel

ECUACIÓN 44. Caudal volumétrico:

$$Q_v = \frac{Q_m}{\rho}$$

ECUACIÓN 45. Radio de abertura de la boquilla.

$$Ra = \sqrt[4]{\frac{Q_v * \mu * 8 * La}{\Delta P * \pi * 10^3 * 1000}}$$

ECUACIÓN 46. Diámetro de la boquilla.

$$D_b = 2 * Ra$$

TABLA 21. Diseño de la boquilla del troquel.

Datos		Unidades	Resultados
Caudal másico del extrusor	Q_m	Kg/s	0,021
Viscosidad de cizalla de la quinua (aproximado)	μ	Kg*s/cm ²	10,2E-3
Presión máxima que se generará con la quinua	ΔP	Kg/cm ²	21,4
Densidad de la quinua Pandela (aproximado)	ρ	Kg/m ³	823,8
Largo de la abertura	La	mm	15
Cálculos realizados			
Caudal volumétrico del extrusor.	Q_v	m ³ /s	2,55E-5
Radio de abertura de la boquilla	R_a	mm	4,56E-3
Diámetro de la boquilla	D_b	mm	9,12

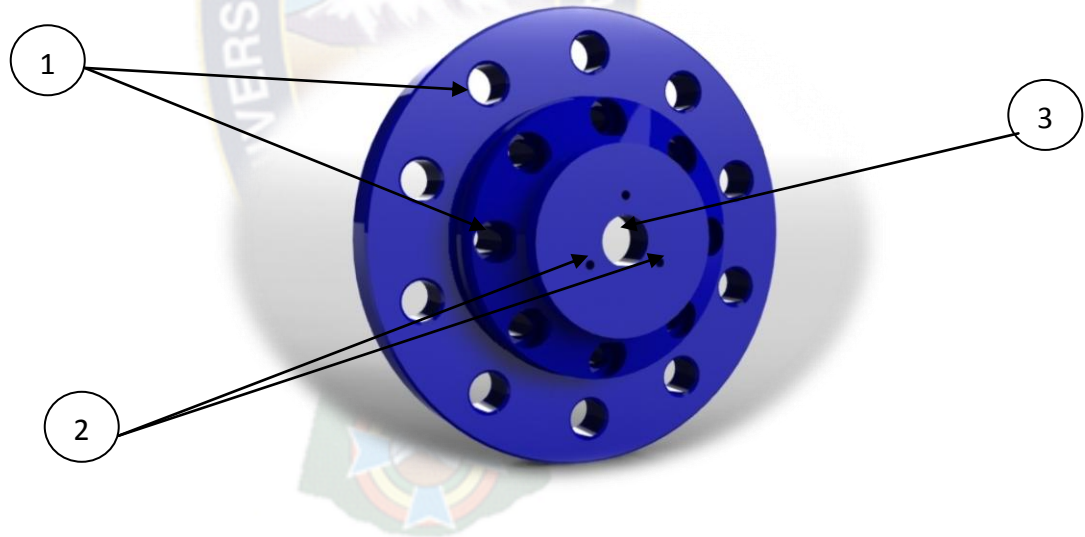


FIGURA 23. Troquel del extrusor para quinua.

1. Perforaciones para los pernos de sujeción.
2. Boquillas u orificios por donde saldrá la quinua extruida.
3. Perforación de apoyo del tornillo extrusor.

Los valores obtenidos dan como resultado que el diámetro de la boquilla debe ser de 1,22 mm. Para efectos de prueba del prototipo y por seguridad se hicieron 3 boquillas cada una de 3 mm, porque no se tiene un dato exacto de la viscosidad de cizalla de la quinua.

3.4.3.10 Estructura metálica del extrusor para quinua

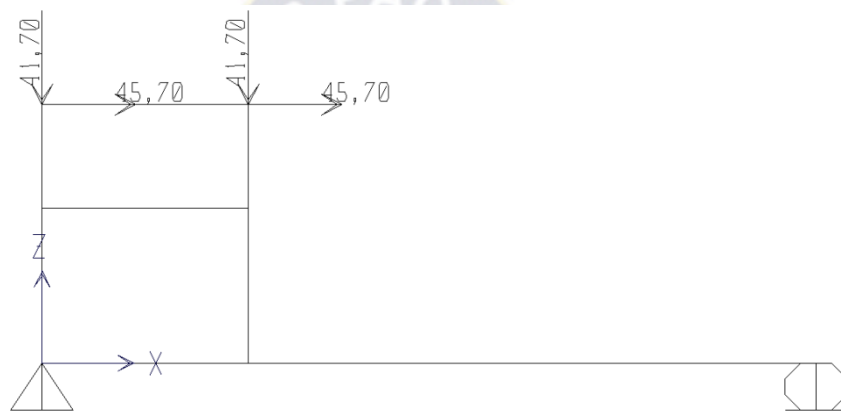


FIGURA 24. Fuerzas que soportará la estructura.

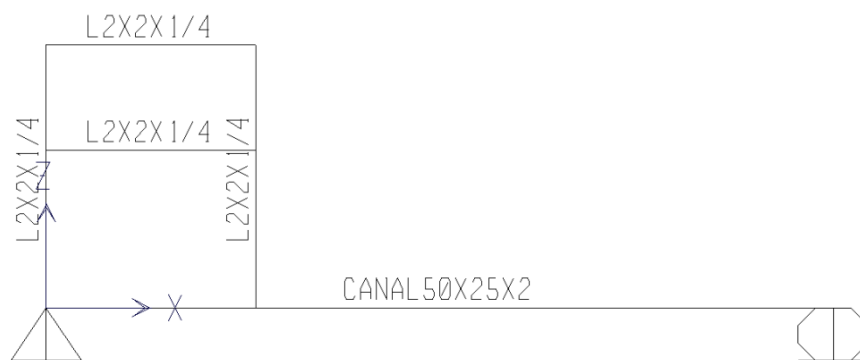


FIGURA 25. Perfiles calculados por el SAP2000 v14.

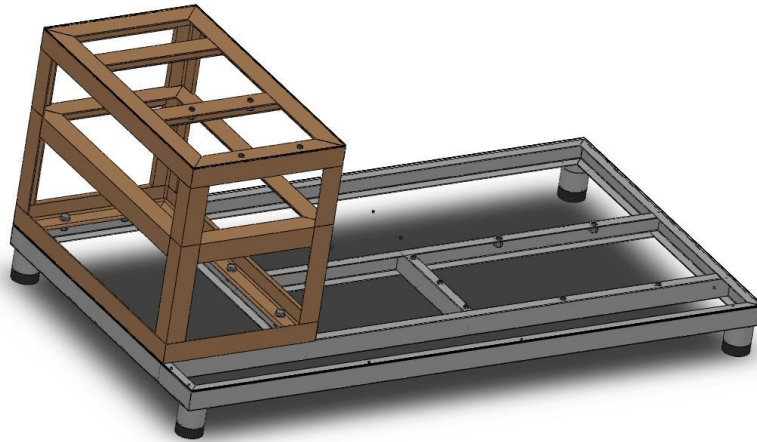


FIGURA 26. Perfiles de la estructuras en 3D.

TABLA 22. Diseño de la estructura metálica.

Datos	Unidades	Resultados
Diámetro de la polea conducida	mm	380
Número de revoluciones	rpm	120
Potencia nominal del motor	Hp	10
Número de apoyos del extrusor	Unidades	6
Ángulo de inclinación de la fuerza	Grados	30
* Peso aproximado sobre la mesa del extrusor	Kg	90
Cálculos realizados		
Velocidad tangencial	m/s	2,4
Fuerza generada por el motor	Kg	316,7
Componente de la fuerza en Z	Kg	41,7
Componente de la fuerza en X	Kg	45,7

* Tornillo de extrusión, camisas de extrusión, tolva, troquel, polea conducida, rodamientos, pernos tuercas volandas, accesorios, base de apoyo que estarán sobre la mesa del extrusor.

Todos los cálculos fueron realizados en el programa SAP 2000 v14.

TABLA 23. Material requerido para la estructura y accesorios.

ESTRUCTURA BASE		DEL	TORNILLO SIMPLE				
ANGULARES 2x2x3/16"	Cantidad	Longitud unitaria (cm)	Longitud total (cm)	Longitud total (m)	Nro. barras aproximado		
Verticales	4	50	200				
Horizontales para motor	3	60	180				
Horizontales cortas	8	40	320				
Horizontales largas	6	68	408				
TOTAL			1108	11,08	1,85		
CANAL 50x25x5 mm	Cantidad	Longitud unitaria (cm)	Longitud total (cm)	Longitud total (m)	Nro. barras aproximado		
Horizontales largas	4	150	600				
Horizontales cortas	3	81	243				
Horizontales semi-cortas	1	30	30				
Largueros para variador	3	100	300				
TOTAL			1173	11,73	1,96		
PLANCHAS 1/8"	Cantidad	Largo (cm)	Ancho (cm)	Área total (cm ²)	Nro. Planchas aproximado		
Plancha piso	1	150	81	12150			
Plancha mesa	1	68	40	2720			
TOTAL				14870	0,74		
PLANCHAS 1/16"	Cantidad	Largo (cm)	Ancho (cm)	Área total (cm ²)	Nro. planchas aproximado		
Tapa poleas	1	176	63	11088			
Tolva y sus accesorios	1	50	70	3500			
Caja del variador	1	40	50	2000			
TOTAL				16588	0,83		

En el mercado las barras de perfil angular son de 6 m de longitud y las planchas son de 2 x 1 m.

3.4.3.11 Tolva de alimentación



FIGURA 27. Tolva cónica en 3D.

ECUACIÓN 47. Volumen de la tolva.

$$V = \frac{\pi}{12} (D_t^2 + D_t d_t + d_t^2) * H_t$$

ECUACIÓN 48. La masa.

$$m = \rho * V$$

TABLA 24. Diseño de la tolva de alimentación.

Datos		Unidades	Resultados
Diámetro mayor	D_t	mm	240
Diámetro menor	d_t	mm	20
Altura de la tolva	H_t	mm	360
Densidad de la quinua Pandela (aproximado)	ρ	Kg/m^3	823,83
Cálculos realizados			
Volumen	V	m^3	0,0059
Masa lleno a tope	m	Kg	4,9

Es mejor una tolva con forma circular para que proporcione un flujo constante de quinua.

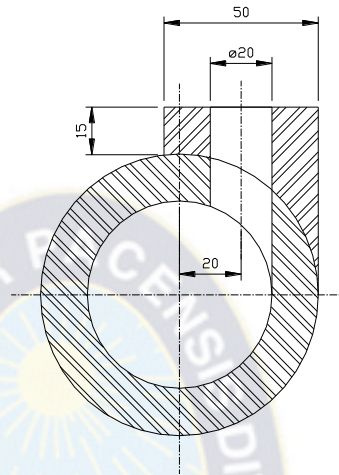


FIGURA 28. Sección de la garganta de alimentación.

Como se observa en la figura 28, la garganta de alimentación debe ser circular y a veces esta desplazada del eje del tornillo para facilitar la caída de la quinua al tornillo extrusor y debe estar al lado del sentido de giro del tornillo extrusor.

La garganta de alimentación ha sido diseñada para un caudal aproximado de 22 Kg/hora, a 350 rpm para obtener un buen producto final.

3.4.3.12 Sistema eléctrico

TABLA 25. Datos nominales del motor ABB marca SIEMENS que se está utilizando.

Elemento	Nro. fases	Voltaje (V)	Frecuencia (Hz)	Velocidad (rpm)	Potencia (Kw)	Corriente (A)	Cos α
Motor	3	380-440	50	1440	7,5	15,6	0,83

TABLA 26. Datos nominales del breaker.

Elemento	In(A)	$I_{n\text{breaker}}(A) = 1,25 * I_n(A)$	Relé térmico	Norma	Nro. Polos	Modelo	Corriente (A)
Breaker	15,6	19,5	IEC 158-1	AC3	3	35 H	19

TABLA 27. Datos nominales del cable.

Elemento	In (A)	$I_{n\text{conductor}}(A) = 1,15 * I_n(A)$	Temp. Ambiente(C)	Tipo	Código	Corriente (A)
Cable	15,6	17,94	30	Cableado concéntrico	Co.1.TW.7.12	18

TABLA 28. Datos nominales del variador de frecuencia SIEMENS MM 420.

Elemento	Nro. fases	Voltaje (v)	Potencia (Hp)
Variador	3	380	10

TABLA 29. Resistencia eléctrica. (opcional)

Elemento	Tipo	Voltaje (V)	Dimensiones (mm)	Potencia calorífica (W)
Resistencia eléctrica	Suncho	220	95x110	450

CAPÍTULO 4

CONSTRUCCIÓN DEL EXTRUSOR PARA QUINUA

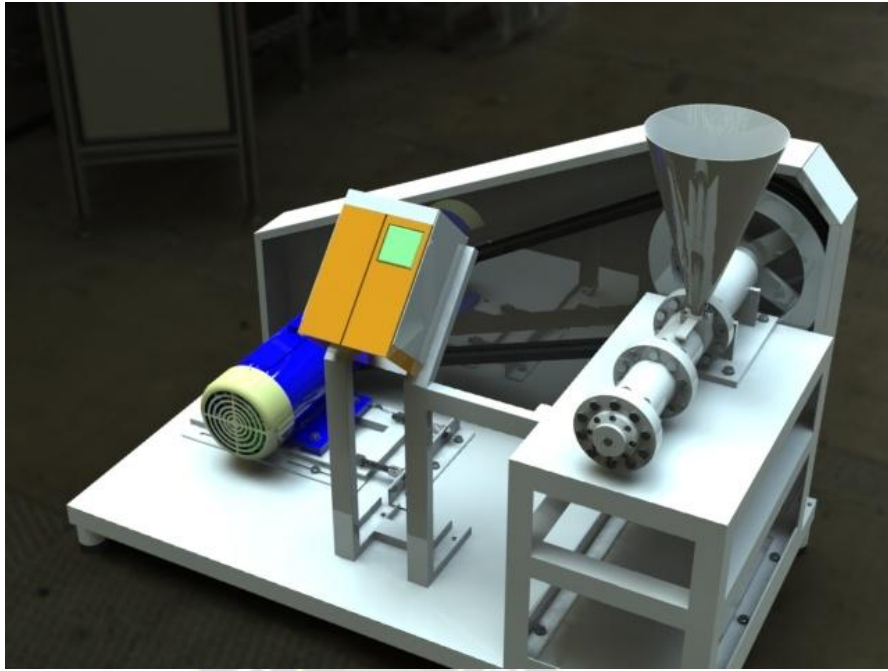


FIGURA 29. Diseño final del prototipo de extrusor en 3D.

La figura 29 es un diseño final 3D tentativo para la construcción del prototipo.



FIGURA 30. Cortando cilindro con amoladora y cilindros para camisas.

La figura 30 muestra el comienzo de la construcción del prototipo en el taller de Sr. Jorge y TS. Carlos Laime ubicado en El Alto Zona Río Seco. También los cilindros macizos ya cortados y listos para proceder a la elaboración de las camisas del extrusor y el troquel.



FIGURA 31. Piso y mesa del tornillo soldados y los elementos del extrusor.

La figura 31 muestra parte de lo que será la estructura del prototipo ya soldado con arco eléctrico AC y electrodo 6013. También podemos apreciar algunos elementos casi terminados.



FIGURA 32. Elementos ensamblados del extrusor casi terminado.

La figura 32 muestra el sistema de transmisión completo, el conjunto de camisa y tornillo de extrusión, la tolva, la mesa del extrusor, el piso, el porta-variador y el variador de frecuencia.



FIGURA 33. Partes del extrusor pintadas y el extrusor terminado.

En la figura 33 se ven algunos elementos ya pintados con pintura anticorrosiva blanca y la parte mecánica terminada. En la figura 42 del capítulo 6 se observa al prototipo de extrusor con el sistema eléctrico instalado.

CAPÍTULO 5

COSTO DE CONSTRUCCIÓN DEL EXTRUSOR PARA QUINUA

TABLA 30. Costo invertido en la construcción del prototipo.

ANÁLISIS DE PRECIOS EN BOLIVIANOS

(por 3 meses de TRABAJO)

MATERIALES			PRECIO Bs	PRECIO Bs
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	TOTAL
Eje de acero SAE-1045 de 4"	m	1,00	1820,00	1820,00
Eje de acero SAE-1045 de 2 1/2"	m	2,00	700,00	1400,00
Perfil angular 2"x1/4"	barra	2,00	243,49	486,98
Perfil en C 50x25x2 mm	barra	2,00	102,94	205,88
Plancha de acero 1,5 mm	hoja	1,00	234,16	234,16
Plancha de acero 3 mm	hoja	1,00	444,56	444,56
Pintura anticorrosiva blanca	litros	2,00	45,00	90,00
Brocha 5"	unidad	1,00	28,00	28,00
Brocha 3"	unidad	1,00	12,00	12,00
Brocha 1"	unidad	1,00	5,00	5,00
Lijas de agua #320 - #80	unidad	20,00	2,50	50,00
Thiner envasado	litros	2,00	30,00	60,00
Masilla plástica	unidad	1,00	18,00	18,00
Grasa Amalie para temperatura	tarros	1,00	55,00	55,00
Graseras	unidad	4,00	12,00	48,00
Correas trapeciales D-120	unidad	2,00	370,00	740,00
Rodamiento rígido de 1 hilera	unidad	2,00	96,00	192,00
Rodamiento cónico	unidad	2,00	170,00	340,00
Motor trifásico ABB 10 Hp	unidad	1,00	3320,40	3320,40
Variador de frecuencia 7,5 W	unidad	1,00	9808,10	9808,10
Panel de operación	unidad	1,00	286,10	286,10

Cable cordoplast tripol 3x2,5	metro	5,00	11,30	56,50
Térmico Siemens 10KA	unidad	1,00	168,80	168,80
Terminal aislante nro 16 - 14 AWG	unidad	6,00	0,50	3,00
Pernos, tuercas y volandas			300,00	300,00
Poleas de aluminio	unidad	2,00		410,00
SUBTOTAL				20582,48

MANO DE OBRA				
			PRECIO Bs	PRECIO Bs
PERSONAL	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	TOTAL
Mecánicos			19500,00	19500,00
Soldadores			1490,00	1490,00
SUBTOTAL				20990,00

OTROS GASTOS				
			PRECIO Bs	PRECIO Bs
OTROS GASTOS	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	TOTAL
Transporte de máquina y material			802,75	802,75
Alquiler de taller			1000,00	1000,00
SUBTOTAL				1802,75

COSTO TOTAL				43375,23
--------------------	--	--	--	-----------------

TABLA 31. Costo mínimo aproximado en la construcción del prototipo.

ANÁLISIS DE PRECIOS EN BOLIVIANOS

(por 3 meses de TRABAJO)

MATERIALES				
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO Bs	PRECIO Bs
			UNITARIO	TOTAL
Eje de acero SAE-1045 de 4"	m	0,80	1820,00	1440,00
Eje de acero SAE-1045 de 2 1/2"	m	1,80	700,00	1260,00
Perfil angular 2"x1/4"	barra	2,00	243,49	486,98
Perfil en C 50x25x2 mm	barra	2,00	102,94	205,88
Plancha de acero 1,5 mm	hoja	1,00	234,16	234,16
Plancha de acero 3 mm	hoja	1,00	444,56	444,56
Pintura anticorrosiva blanca	litros	2,00	45,00	90,00
Brocha 5"	unidad	1,00	28,00	28,00
Lijas de agua #320 - #80	unidad	10,00	2,50	25,00
Thiner envasado	litros	2,00	30,00	60,00
Masilla plástica	unidad	1,00	18,00	18,00
Grasa Amalie para temperatura	tarros	1,00	55,00	55,00
Graseras	unidad	4,00	12,00	48,00
Correas trapeciales D-120	unidad	2,00	370,00	740,00
Rodamiento rígido de 1 hilera	unidad	2,00	96,00	192,00
Rodamiento cónico	unidad	2,00	170,00	340,00
Motor trifásico ABB 10 Hp	unidad	1,00	3320,40	3320,40
Variador de frecuencia 7,5 W	unidad	1,00	9808,10	9808,10
Panel de operación	unidad	1,00	286,10	286,10
Cable cordoplast tripol 3x2,5	metro	5,00	11,30	56,50
Térmico Siemens 10KA	unidad	1,00	168,80	168,80
Terminal aislante nro 16 - 14 AWG	unidad	6,00	0,50	3,00
Pernos, tuercas y volandas			300,00	300,00
Poleas de aluminio	unidad	2,00		410,00
SUBTOTAL				20020,48

MANO DE OBRA				
			PRECIO Bs	PRECIO Bs
PERSONAL	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	TOTAL
Mecánicos			19500,00	19500,00
Soldadores			1490,00	1490,00
SUBTOTAL				20990,00

OTROS GASTOS				
			PRECIO Bs	PRECIO Bs
OTROS GASTOS	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	TOTAL
Transporte de máquina y material			802,75	802,75
SUBTOTAL				802,75

COSTO TOTAL				41813,23
--------------------	--	--	--	-----------------

CAPÍTULO 6

FUNCIONAMIENTO DEL EXTRUSOR PARA QUINUA

6.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Para validar el funcionamiento del equipo y obtener resultados se realizaron:

- Prueba en vacío.
- Pruebas con maíz.
- Pruebas con quinua.

6.1.1 Prueba en vacío

Prueba con solamente el tornillo extrusor: La prueba ha sido satisfactoria, el tornillo extrusor gira a la izquierda sin ningún problema. No se percibe algún sonido extraño en la máquina. El motor le transmite movimiento al tornillo y éste a su vez gira libremente, manteniendo la velocidad de rotación que le es transmitida.



FIGURA 34. Tornillo simple de extrusión con sus tornillos intercambiables.

Prueba con camisa de alimentación: La prueba fue satisfactoria, el tornillo gira de acuerdo a la velocidad que le transmite el motor mediante el sistema de transmisión. Tampoco se percibe ningún sonido extraño.

No olvidemos que la diferencia de diámetro tanto interno de la camisa y diámetro externo del tornillo es menor a 1 mm, en caso de que el tornillo una vez ensamblado con los rodamientos tuviera alguna inclinación o el acabado final del diámetro exterior de la rosca del tornillo fuera mayor al señalado en los planos, ésto provocaría fallas en el funcionamiento del equipo debido a la fricción por el roce entre elementos.



FIGURA 35. Tornillo simple y la camisa de alimentación.

Prueba con camisa de alimentación y camisa de amasado: Como en los dos casos ya mencionados, la prueba resultó satisfactoria, no se siente alteraciones en el funcionamiento del equipo y también no se percibe ningún sonido extraño.

Las camisas del extrusor han sido construidas concéntricas entre ellas, por tal motivo no existirá ninguna inclinación por parte de las camisas al momento de ser

ensambladas. Los pernos permiten una muy buena sujeción, por lo tanto no existirá fuga o pérdida de presión.



FIGURA 36. Tornillo simple de extrusión con su camisa de alimentación y camisa de amasado.

Prueba con camisa de alimentación, camisa de amasado y troquel: La prueba fue óptima, el tornillo extrusor gira libremente. Sí, se percibe un sonido en el apoyo que está ubicado en el troquel, lo cual es producto de la fricción por el roce entre elementos, debido a la holgura de 2 décimas de milímetro entre el diámetro exterior del apoyo del tornillo y el diámetro interior del agujero del troquel. Después cuando se da marcha la máquina existe un leve pandeo del tornillo, esto genera algo de fricción por el roce entre elementos.

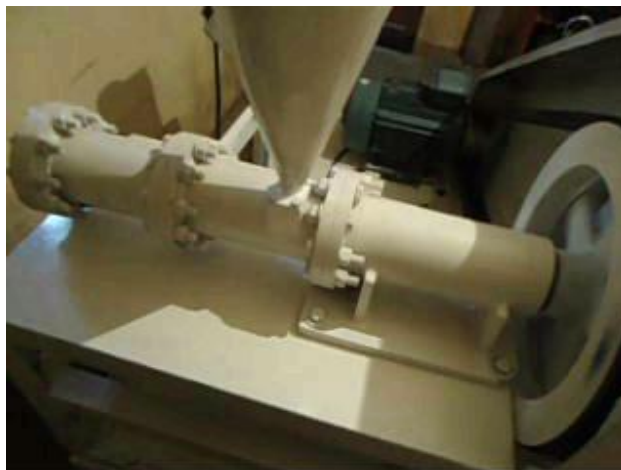


FIGURA 37. Extrusor para quinua completamente ensamblado.

6.1.2 Pruebas con maíz.

6.1.2.1 Prueba con previo calentamiento, el par de tornillos de 2 entradas, paso ficticio de 15 mm y 12,7 mm

La prueba se realizó con el equipo completamente ensamblado, el maíz granulado se acondicionó previamente. Posteriormente se preparó y acondiciono el equipo hasta la temperatura de extrusión a 80 C°, con una velocidad de giro de 320 rpm, después de 30 segundos de funcionamiento el equipo de detuvo completamente.

Se quitaron las camisas y el troquel, se observó que el maíz que alimenta al extrusor no se llegó a moler completamente en todo el trayecto del tornillo, provocando el taponamiento de los orificios del troquel. A causa de ésto el tornillo dejó de girar y se detuvo el motor, ello no causó ningún daño al equipo porque se activó el sistema de protección del equipo.

Se concluye que este par de tornillos no son los adecuados para el equipo y proceso.

6.1.2.2 Prueba con previo calentamiento, el par de tornillos de una entrada, paso 15 mm y 12,7 mm

Esta prueba se realizó con maíz preacondicionado y previo calentamiento de la camisa de amasado a una temperatura de 80 ° C.

El equipo se lo hizo funcionar a 25 Hz ó 320 rpm, con un caudal de alimentación de aproximadamente 22 kg/hora.



FIGURA 38. Producto extruido sin troquel.

Como se observa la figura 38 la prueba se realizó sin troquel y se notó que el maíz tuvo un comportamiento de polímero y empezó a plastificarse.



FIGURA 39. Maíz preacondicionado y extruido.

En la figura 39 se observa la prueba con troquel, se notó que el maíz preacondicionado, con el que se alimento, empezó a salir ya extruido por los orificios del troquel y con un aumento de diámetro de un 200%.

6.1.3 Pruebas con quinua.

6.1.3.1 Prueba sin previo calentamiento, el par de tornillos de una entrada, paso 15 mm y 12,7 mm

Esta prueba se realizó con quinua, sin previo calentamiento y por pasos. En cada paso se ensambló un elemento del equipo para verificar el funcionamiento.

Prueba con camisa de alimentación y tolva: La prueba se realizó a 25 Hz ó 320 rpm y resultó satisfactoria. Se observó un cambio en la quinua, ésta comenzó a transformarse en masa parecida a un polímero.

La camisa de alimentación se calentó en la punta por efecto de la fricción y la presión entre el alimento, el tornillo y la camisa.

No hubo disminución de velocidad en el giro del tornillo, tampoco se percibió ningún sonido.

Prueba con camisa de alimentación, tolva y camisa de amasado: La prueba se realizó a 25 Hz ó 320 rpm. Se observó la plastificación de la quinua.

La camisa de amasado empieza a calentar, hasta unos 80 grados centígrados como efecto de la fricción y la presión entre el tornillo y las camisas.

Se observaron algunos problemas:

- Falta de un continuo flujo en el extrusor.
- Disminución de velocidad de giro del tornillo.

Prueba con camisa de alimentación, tolva, camisa de amasado y troquel: La prueba se realizó a 25 Hz ó 320 rpm. Se observó que el extruido empezó a salir por los orificios del troquel con un aumento de diámetro del 60%.

El troquel se calentó hasta 94 grados centígrados, como efecto de la fricción y la presión que se generó entre el alimento, el tornillo y la camisa.

La extrusión del material al inicio fue satisfactoria, después de un corto tiempo la velocidad de giro del motor empezó a reducir y se percibieron algunos sonidos en el interior debido a:

- El inadecuado preacondicionamiento de la materia prima que provocó el roce entre elementos.

- El tiempo de residencia del material en el interior del extrusor es muy elevado, ésto provocó que se solidificará y tapen las boquillas del troquel obstaculizando la salida.



FIGURA 40. Quinua extruida sin previo calentamiento.

6.1.3.2 Prueba con previo calentamiento, el par de tornillos de una entrada, paso 15 mm y 12,7 mm

Esta prueba se realizó con quinua a 25 Hz ó 320 rpm y con el par de tornillos de 15 mm y 12,7 mm y con un precalentamiento de la camisa de amasado a unos 80 °C. La prueba resultó satisfactoria porque se cumplió el objetivo que era extruir grano de quinua.

La quinua extruida aumentó en un 100% el diámetro del orificio de salida del troquel, ésta salió cocida y un poco húmeda.



FIGURA 41. Quinoa preacondicionada y extruida.

Como se observa en la figura 41 la quinua preacondicionada es extruida y el cambio en la calidad del producto extruido es notable tanto en lo comestible como en lo físico.

6.2 GUÍA DE FUNCIONAMIENTO DEL EXTRUSOR PARA QUINUA



FIGURA 42. Extrusor para quinua terminado con el sistema eléctrico instalado.

Por razones de costo de la materia prima se hicieron pocas pruebas, tales pruebas dieron una pauta de cómo se debe hacer funcionar el equipo.

- El motor es trifásico y también el variador.
- Verificar si todo está correctamente conectado.
- Subir el térmico, después se digita el botón del variador de frecuencia de encendido color verde.
- Primero se debe hacer la prueba en vacío sin la camisa de amasado y el troquel.
- Dar marcha digitando el botón color verde del panel de control.
- Verificar que el sentido de giro del motor gire en la dirección correcta, debe girar a la izquierda.
- No olvidar que es un tornillo de rosca derecha con pasos de rosca diferentes en cada sección o zona.
- La camisa también tiene una rosca derecha interna con un solo paso y que solamente abarca el 75% de la longitud de la camisa total.
- La relación transmisión es de 2 : 1.
- Por defecto, la pantalla mostrará 5 Hz que es aproximadamente el 10 % de la velocidad del motor reducida, ($v = 720$ r.p.m.) a ($v = 72$ r.p.m.).
- Digitar el botón con la flecha hacia arriba para incrementar la velocidad del motor reducida hasta por lo menos 25 Hz, eso es aproximadamente 50 % de la velocidad del motor reducida, ($v = 720$ r.p.m.) a ($v = 360$ r.p.m.).
- Detener el funcionamiento del extrusor digitando el botón color rojo del panel de control.
- Ensamblar la camisa de alimentación, camisa de amasado, tolva y troquel.
- Encender la máquina a 5 Hz o 72 rpm.
- Calentar la camisa de amasado hasta unos 80 °C.
- Una vez calentada la camisa de amasado, alimentar con quinua preacondicionada.

- Digitar el botón con la flecha hacia arriba para incrementar la velocidad del motor reducida hasta por lo menos 25 Hz eso es aproximadamente 50 % de la velocidad del motor reducida, ($v = 720$ r.p.m.) a ($v = 360$ r.p.m.).
- Regular el caudal hasta que sea constante $Q = 22$ Kg/hora.
- La quinua pasa por la garganta de la camisa de alimentación.
- La alimentación debe ser constante para evitar que el tornillo de extrusión se flexione, ya que ésto provocaría fricción entre el tornillo de extrusión y la camisa, lo cual es debido a la tolerancia que hay entre el diámetro exterior del tornillo y el diámetro interno de la camisa, ésta es menor a 1 mm, si hubiera fricción se requeriría mayor potencia del motor.
- Puede verse que va saliendo la quinua extruida por los orificios de salida del troquel.



FIGURA 43. Maíz , quinua preacondicionados y extruidos.

6.3 OBSERVACIONES

- La relación de transmisión es 2:1, el motor tiene una velocidad de 1440 r.p.m. y la velocidad reducida es de 720 r.p.m.
- Las poleas son de aluminio, la densidad del aluminio es de $2,7 \text{ g/cm}^3$ y del acero SAE 1045 es de $7,87 \text{ g/cm}^3$. Además la masa del aluminio es menor que la masa del acero SAE 1045 por lo tanto el peso de la polea es menor.
- Las correas son trapeciales tipo D 120, cada correa transmite 5 Hp. Las 2 correas transmiten 10 Hp sin ningún problema de deslizamiento y el calentamiento es mínimo.
- El variador de frecuencia es digital marca SIEMENS para 10 Hp, el cual fue programado de acuerdo a los valores nominales del motor.
- La tolva tiene una forma cónica y circular para facilitar el ingreso de la quinua al tornillo extrusor, porque al no tener esquinas las fuerzas serán uniformes con respecto al volumen de la quinua.
- La garganta de alimentación tiene forma circular y está ubicada al lado que gira el tornillo de extrusión para mejorar el ingreso de la quinua al tornillo de extrusión.
- El tornillo simple tiene 3 zonas, cada una con diferente paso de rosca y el mismo lado de inclinación (rosca derecha).
- La camisa también tiene una rosca derecha interna con un solo paso y que solamente abarca el 75% de la longitud de la camisa total.
- El troquel ha sido diseñado con una perforación que sirve de apoyo del husillo principal o tornillo de extrusión para evitar un posible pandeo. Pero a la vez tiene 3 orificios, cada orificio tiene 3 mm de diámetro por donde sale la quinua extruida.
- Se calentaron con resistencia eléctrica previamente la zona de amasado, tanto la camisa como el tornillo hasta $80 \text{ }^\circ\text{C}$. Durante el proceso de extrusión el extrusor aumento su temperatura hasta $120 \text{ }^\circ\text{C}$.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- El funcionamiento de la máquina demostró que todos los cálculos del equipo están en lo correcto, porque todas las partes del equipo no sufrieron daños a pesar de las pruebas extremas a las que fueron sometidas.
- El prototipo es un diseño original en nuestro medio.
- Las pocas pruebas con maíz molido preacondicionado mostraron resultados óptimos, ya que el diámetro de los orificios del troquel son de 3 mm de diámetro y el producto extruido resultó con un diámetro de 10 mm.
- La prueba con quinua preacondicionada mostró buenos resultados, porque la quinua extruida resultó con un diámetro de 6 mm.
- El presente equipo demostró que puede extruir maíz y quinua preacondicionados.
- A pesar de la temperatura que se generó por efecto de la fricción y la presión, no se notó ningún efecto en los elementos del equipo.
- Existe fricción entre elementos, debido al apoyo del husillo principal y la perforación del troquel donde se ensamblan, ésto provoca que se necesite mayor potencia del motor. Además se percibe un sonido debido a la fricción entre elementos.
- Tanto el maíz como la quinua extruida son comestibles, porque están cocidas, tienen buen aspecto físico, aunque les falta adicionar algunos colorantes y saborizantes.
- Los efectos del calentamiento, fricción, compresión y cizallamiento no causaron cambios en el extrusor, ya que a simple vista se ve que los tornillos y la parte interna de las camisas no presentan corrosión, oxidación y/o desgaste por fricción.

7.2 RECOMENDACIONES

- El troquel de salida debe estar herméticamente cerrado y tener un solo orificio de salida, el cual debe estar ubicado en el medio, porque el pandeo del tornillo simple de extrusión es mínimo y no necesita apoyo cuando el caudal de alimentación es uniforme y constante.
- La garganta de alimentación del tornillo de extrusión debería tener un diámetro de 0,6 por el diámetro interior de la camisa, para que exista una buena alimentación.
- El preacondicionamiento de la quinua y el maíz es importante para mejorar el producto extruido.
- Calentar previamente la zona de amasado, con resistencia eléctrica, tanto la camisa como el tornillo e implementar un sistema de regulación de la temperatura en el troquel.
- La alimentación debe ser uniforme y constante.
- La camisa tiene una parte cónica que es difícil de mecanizar en un torno o fresadora. Es recomendable fabricarla por separado.
- Implementar al equipo un sistema de acondicionado de granos.
- Implementar graseras para lubricar los rodamientos cónicos.
- Por los cálculos realizados y las pruebas de funcionamiento, se recomienda disminuir el número de pernos a solamente los necesarios.
- Si se va a producir a gran escala el tornillo y las camisas, se pueden fabricar mediante el proceso de fundición.
- Los elementos del prototipo de extrusor que estén en contacto con el alimento deberán ser fabricados de acero inoxidable.
- Los extruidos deben ser sometidos a todas las pruebas de laboratorio y análisis para garantizar el producto.

REFERENCIAS

BOLIVIA.NUTRINET.ORG. <http://bolivia.nutrinet.org/areas-temáticas/vitaminas-y-minerales/216-gran-demanda-de-quinua-precisa-apoyo-tecnológico>, La Paz 8 de septiembre de 2008.

CAF (Corporación Andina de fomento), CID (Centro para el Desarrollo Internacional-Universidad de Harvard, CLACDS-INCAE (Centro Latinoamericano para la Competitividad y el Desarrollo Sostenible. 2001.

CATÁLOGO DE ACEROS AISI Y SAE.

CATÁLOGO DE RODAMIENTOS NTN, 2011.

CASILLAS A. L. 1988. *Máquinas*. España, Madrid: Melsa. 645 p.

DE ANTONIO GÓMEZ, María Isabel. *Tesis de extrusor memoria de cálculo*.

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR TECHNISCHE ZUSAMMENARBEIT. 1985. *Matemática aplicada para técnica mecánica*. Alemania. 178 p.

FAIRES, V. M. *Diseño de elementos de máquinas*. España, Barcelona: Montaner & Simon S.A. 802 p.

FARRELL, D. 1971. *Extrusion equipment-types, functions and applications. symposium on extrusion: Process and product development*, american association of cereal chemist, St. Paul, MN

HARPER, B. W. 1981. *Extrusion of foods*. Vols. I and II. Boca raton, FL: CRC Press, Inc.

HAUCK, B. W. 1985. *Comparison of single and twin screw cooking extruders. Impulse food suppl.*

JACOBESSEN S.E., MUJICA A. & PORTILLO Z. PROINPA. *Primer taller internacional sobre la quinua*. Perú,Lima. 457 p.

JOHNSTON, G. L. 1978. *Technical and practical processing conditions with single screw/cooking extruders. paper presented at international seminar: cooking and extruding techniques. ZDS, Solingen-Grafeath, Germany.*

KOKINI L., Chi-Tang Ho, Mukund V., 1992. *Food extrusion science and technology.*

KURT GEICK. 1995. *Manual de formulas técnicas*. México, D.F.: Alfaomega, 320 p.

LAST, J. 1979. *Thermoplastic extrusion trials of some oilseed, legume and cereal proteins.*

LINKO, P., P.Colonna, and C. Mercier. 1981. *High temperature short-time extrusion. In: advances in cereal science and technology. Vol IV, Y. Pomeranz, ed., American Association of Cereal chemists. St. Paul, MN.*

LOPÉZ VICENTE, José Manuel. 1988. *Mecánica del taller – Materiales – Metrología I*. España, Madrid: Cultural. 200 p.

MANRIQUE QUEVEDO, Nancy. 2006. *Tesis de grado. Producción de almidones pregelatinizados a partir de mezclas de almidones de fuentes no convencionales usando un extrusor de doble tornillo*. Yautepec, Morelos. 85 p.

MERCIER, C. P. Linko, and J. M. Harper. 1998. *Extrusion cooking*. American Association of Cereal Chemists. Inc., St. Paul, MN.

MORAN FRANCO, Carlos Daniel. 2002. *Adaptación tecnológica de una máquina extrusora de termoplásticos*. Ecuador, Guayaquil. 171 p.

MOTT, Robert L. 1992. *Diseño de elementos de máquinas*. España: Prentice Hall. 500 p.

NIEMANN, G. *Elementos de máquinas*. España, Barcelona: Labor S.A. 393 p.

PROINPA, 2004. *Procesos de elaboración y transformación en plantas procesadoras regional del Altiplano*. Importancia del cultivo de quinua módulo 4. La Paz-Bolivia.

REYNAGA A., M. Quispe, A. Huarachi, I. Calderon, J. L. Soto y M. Torrez. 2011. *Caracterización física – química de trece ecotipos de quinua real (Chenopodium quinoa Willd) del altiplano sur de Bolivia con fines agroindustriales*. Convenio UMSA, Facultad Técnica, carrera Química Industrial – Cooperación Sueca ASDI/SAREC. La Paz – Bolivia.

RESISTENCIA DE MATERIALES, Apuntes. 2008.

RIAZ MIAN N., Ph. D. 2000. *Extrusores en las aplicaciones de alimentos*. España, Zaragoza: Acribia. S.A. 227 p.

ROBIN GUY. 2002. *Extrusión de alimentos*. España, Zaragoza: Acribia, S.A. 208 p.

ROKEY, G. 1995. *Tecnología de la extrusión e implicaciones nutricionales*. España, Barcelona.

ROSSEN, J L. and R. C. Miller. 1973. *Food extrusion. Food Technol.*

RUIZ PAUCAR, Freddy. *Máquina extrusora de manguera negra*. Ecuador, Quito. 57 p.

SCHAUM. *Diseño de Máquinas*. México: Latinoamericana. 307 p.

SERRANO, B. & HERING, R. 1993. *Dibujo técnico normalizado*. Bolivia, Oruro: Papiro. 412 p.

SMITH, O. B. 1976. *Extrusion cooking. New protein foods*. Altschul. New York: Academic Press.

TAPIA, Mario E., 1979. *La Quinoa y la Kañiwa cultivos andino*. IICA, Bogota-Colombia.

UGARTE P. F. 2006. *Mecánica de fluido*. Perú, Lima: San Marcos. 265 p.

VASQUEZ ANGULO, José Antonio. *Análisis y diseño de piezas de máquinas con CATIA V5*. España: Marcombo. 271 p.

WALES, Jimmy. http://es.wikipedia.org/wiki/chenopodium_quinoa.

WERNER, W. y E. Strobel, 1991. *Compounding of thermoplastic starch with twin-screw extruders*. 138-145.

ZAYA, Pierre & MUJICA SÁNCHEZ, Ángel. *Informe final del Proyecto quinua: cultivo multipropósito para los países andinos: PNUD-PROY /INT/ 01/K01-PERÚ*.

GLOSARIO

Accesión: Es un derecho que tiene atribuido el propietario del suelo, y que le permite hacer suyo todo aquello que quede unido a dicho suelo, ya sea en forma natural o artificial, bajo el principio superficie solo cedit (la superficie accede al suelo).

Alimentos extruidos: Son aquellos que han sido elaborados mediante proceso de extrusión. El proceso de extrusión de alimentos es una forma de cocción rápida, continua y homogénea. Mediante un proceso mecánico de inducción de energía térmica y mecánica. Se aplica al alimento procesado alta presión y temperatura (en el intervalo de 100-180 °C), durante un breve espacio de tiempo. Como resultado, se producen una serie de cambios en la forma, estructura y composición del producto.

Aperitivo: Es la comida ligera que se toma para abrir el apetito, antes de la comida principal por ejemplo: Patatas fritas, croquetas, frutos secos, etc. Acompañados de de bebidas como refrescos o vinos.

Capa pasivadora: Es una película relativamente inerte, sobre la superficie de un material metálico que lo enmascara en contra de la acción de agentes externos. Aunque la reacción entre el metal y el agente externo sea termodinámicamente factible a nivel macroscópico, la capa o película pasivante no permite que éstos puedan interactuar. De

tal manera que la reacción química o electroquímica se ve reducida o completamente impedida.

Cizallamiento: Deformación lateral que se produce por una fuerza externa. También llamado corte o cortadura.

Copos de maíz: Es un cereal triturado que se ha sometido a un proceso de cocción con endulzantes y transformado en copos por un proceso de prensado en frío.

Desnaturalización: Es un cambio estructural de las proteínas o ácidos nucleicos, donde pierden su estructura nativa, en consecuencia su óptimo funcionamiento e incluso algunas veces cambian sus propiedades físico – químicas.

Dilatación: Es un proceso físico por el cual se producen cambios de volumen como resultado de cambios de temperatura.

Diseño: Se define como el proceso previo de configuración mental, “pre-figuración mental”, en la búsqueda de una solución en cualquier campo. Plasmar el pensamiento de la solución mediante esbozos, dibujos, bocetos o esquemas trazados en cualquiera de los soportes, durante o posteriores a un proceso de observación de alternativas o investigación.

Ecotipos: En biología, es una subpoblación genéticamente diferenciada que está restringida a un hábitat específico, un ambiente particular o un ecosistema definido, con unos límites de tolerancia a los factores ambientales.

Fenotipo: En biología y ciencias de la salud, se denomina a la expresión del genotipo en función a un determinado ambiente. Los rasgos fenotípicos incluyen tanto rasgos físicos como conductuales.

Gelatinización: Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría, pero pueden contener agua al aumentar la temperatura, es decir los gránulos de almidón sufren el proceso denominado gelatinización o gelificación.

Holgura: Espacio que queda entre dos piezas que han de engranar una a otra.

k'ispiña: Es una galleta elaborada con quinua, usualmente es consumida en el área rural del departamento de La Paz.

Límite de fluencia: Es el punto a partir del cual el material se deforma plásticamente. Hasta esa tensión el material se comporta elásticamente, siguiendo la ley de hooke y por tanto se puede definir el módulo de Young.

Maquinabilidad: Es una propiedad de los materiales que permite comparar la facilidad con que pueden ser mecanizados por arranque de viruta.

No newtoniano: Es aquel fluido cuya viscosidad varía con la temperatura y la tensión cortante que se le aplica. Como resultado, un fluido no – newtoniano no tiene un valor de viscosidad definido y constante, a diferencia de un fluido newtoniano.

Piensos compuestos: Son un alimentos elaborados para animales que, según la normativa legal europea, están compuestos por “cualquier sustancia o producto, incluido los aditivos, destinado a la alimentación por vía oral de los animales, tanto si ha sido transformado entera o parcialmente”.

Pandeo: Es un fenómeno de inestabilidad elástica que puede darse en elementos comprimidos esbeltos. Se manifiesta por la aparición de desplazamientos importantes transversales a la dirección principal de compresión.

Polimerización: Es un proceso químico por el que los reactivos, monómeros (compuestos de bajo peso molecular) se agrupan químicamente entre sí, dando lugar a una molécula de gran peso, llamada polímero, o bien una cadena lineal o una macromolécula tridimensional.

Prototipo: Es un ejemplar o primer molde en el que se fabrica una figura u otra cosa. También se puede referir a cualquier tipo de máquina que está en fase de prueba o un objeto diseñado para una demostración de cualquier tipo.

Sección transversal: Una vista al interior de algo lograda cortando a través del mismo. En geometría es la figura que se obtiene cuando se corta un sólido en forma paralela a la base.

Troquel: Es una matriz o molde que permite dar diferentes formas a los materiales.

Versátil: Se adapta con facilidad a usos o situaciones.

Viscosa: Se aplica a cualquier sustancia que es espesa y pegajosa.

ANEXOS

Anexo I

Ficha técnica del acero AISI-SAE 1045

Normas involucradas:

ASTM A108

Propiedades mecánicas:

Dureza 163 HB

Esfuerzo de fluencia 310 Mpa

Esfuerzo máximo 565 Mpa

Elongación 16 % en 50 mm

Reducción de área 40 %

Módulo de elasticidad 200 Gpa

Maquinabilidad 57 % (AISI 1212 = 100 %)

Propiedades físicas:

Densidad 7,87 g/cm³

Propiedades químicas:

- 0,43-0,50 % C
- 0,60-0,90 % Mn
- 0,04 % Pmax
- 0,05 % Smax

Tratamientos térmicos:

Se ha normalizado a 900 °C y recocido a 790 °C

Anexo II

Ficha técnica de rosca métrica ISO

Medidas nominales

diámetro nominal de la rosca ¹⁾ $d = D$		paso P	diámetro en los flancos $d_2 = D_2$	diámetro del núcleo		profundidad de rosca		redondeado $R^{2)}$	sección transversal de tensión ³⁾ A_s mm ²
serie 1	serie 2			d_3	D_1	h_3	H_1		
3		0,5	2,675	2,387	2,459	0,307	0,271	0,072	5,03
	3,5	0,6	3,110	2,764	2,850	0,368	0,325	0,087	6,78
4		0,7	3,545	3,141	3,242	0,429	0,379	0,101	8,78
	4,5	0,75	4,013	3,580	3,688	0,460	0,406	0,108	11,3
5		0,8	4,480	4,019	4,134	0,491	0,433	0,115	14,2
6		1	5,350	4,773	4,917	0,613	0,541	0,144	20,1
	7	1	6,350	5,773	5,917	0,613	0,541	0,144	28,9
8		1,25	7,188	6,466	6,647	0,767	0,677	0,180	36,6
10		1,5	9,026	8,160	8,376	0,920	0,812	0,217	58,0
12		1,75	10,863	9,853	10,106	1,074	0,947	0,253	84,3
	14	2	12,701	11,546	11,835	1,227	1,083	0,289	115
16		2	14,701	13,546	13,835	1,227	1,083	0,289	157
	18	2,5	16,376	14,933	15,294	1,534	1,353	0,361	192
20		2,5	18,376	16,933	17,294	1,534	1,353	0,361	245
	22	2,5	20,376	18,933	19,294	1,534	1,353	0,361	303
24		3	22,051	20,319	20,752	1,840	1,624	0,433	353
	27	3	25,051	23,319	23,752	1,840	1,624	0,433	459
30		3,5	27,727	25,706	26,211	2,147	1,894	0,505	561
	33	3,5	30,727	28,706	29,211	2,147	1,894	0,505	694
36		4	33,402	31,093	31,670	2,454	2,165	0,577	817
39		4	36,402	34,093	34,670	2,454	2,165	0,577	976

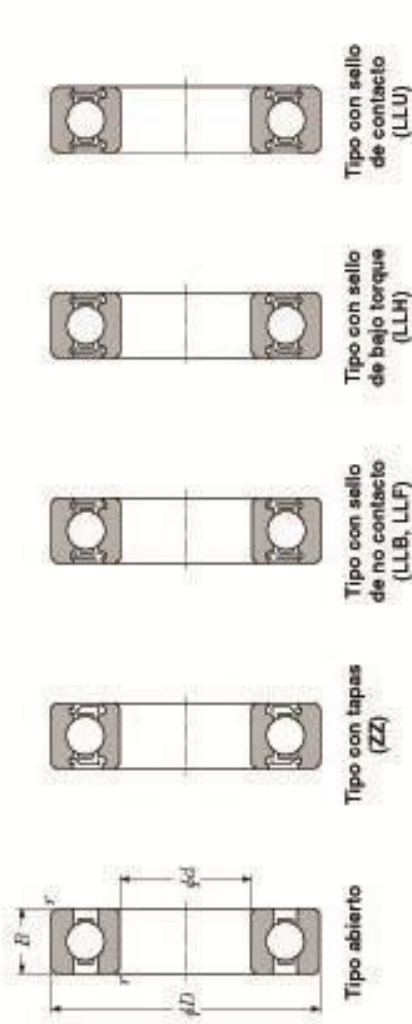
Fuente: DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR TECHNISCHE ZUSAMMENARBEIT "Matemática aplicada para técnica mecánica"



Anexo III

Rodamiento rígido de bolas

Rodamientos Rígidos de Bolas



Dimensiones principales		Capacidades básicas de carga				Factor	Velocidades límites			Números de rodamientos							
		dinámica		estática			r.p.m										
mm		kN	kgf	Cr	Cor	fo	Grasa tipo abierto ZZ LLB	Aceite tipo abierto ZLB	LLH	LLU	Tipo abierto tapas	Con sello de contacto LLB	Con sello de contacto LLU	Con sello de contacto LLU			
d	D	B	r _{s, min} ¹⁾	r _{S, min}	Cr	Cor											
52	7	0.3	0.3	5.10	4.40	520	445	16.3	12 000	14 000	—	—	6 700	6 806	ZZ LLB	—	LLU
62	12	0.6	0.5	12.2	8.90	1 240	910	15.8	11 000	13 000	—	—	6 300	6 908	ZZ LLB	—	LLU
68	9	0.3	—	12.6	9.65	1 290	985	16.0	10 000	12 000	—	—	—	16008	—	—	—
68	15	1	0.5	16.8	11.5	1 710	1 170	15.2	10 000	12 000	7 300	—	6 100	6008	ZZ LLB	LLH LLU	LLU
80	18	1.1	0.5	29.1	17.8	2 970	1 820	14.0	8 700	10 000	6 700	—	5 600	6208	ZZ LLB	LLH LLU	LLU
90	23	1.5	0.5	40.5	24.0	4 150	2 450	13.2	7 800	9 200	6 400	—	5 300	6306	ZZ LLB	LLH LLU	LLU
110	27	2	—	63.5	36.5	6 500	3 750	12.3	7 000	8 200	—	—	—	6408	—	—	—

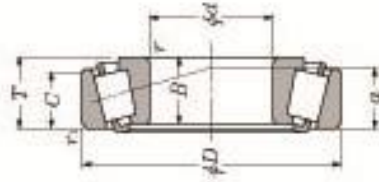
Anexo IV

Rodamiento de rodillos cónicos

● Rodamientos de Rodillos Cónicos

NTN

Series métricas



d	D	T	Dimensiones principales			Capacidades básicas de carga			Velocidades límites			Números de rodamientos
			B	C	$r_{1s \text{ min}}^{-1}$	dinámica	estática	dinámica	estática	r.p.m	Grasa		Acete
mm												
62	68	15	19	12	0.6	32.5	48.0	3.350	4.900	5.900	7.800	32908XU
68	75	19	22	14.5	1	50.0	65.5	5.100	6.650	5.300	7.100	4T-32008X
68	75	22	26	18	1	59.5	82.5	6.050	8.400	5.300	7.100	4T-33008
75	80	26	32	20.5	1.5	79.5	103	8.100	10.500	5.200	6.900	4T-33108
80	85	19.75	18	16	1.5	61.0	67.0	6.250	6.650	4.900	6.600	4T-30208
80	85	24.75	23	19	1.5	79.5	93.5	8.100	9.550	4.900	6.600	4T-32208
80	85	32	32	25	1.5	103	132	10.500	13.400	4.900	6.600	4T-33208
85	90	33	32.5	28	2.5	118	144	12.000	14.700	4.600	6.200	4T-T2EE040