



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

TESIS

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA EN LOS
PROCESOS DE MOLIENDA EN ALIMENTO BALANCEADO CON
EL EMPLEO DE MOLINOS INDUSTRIALES DE TORNILLO
SIMPLE Y DOBLE, AREQUIPA 2019**

PRESENTADA POR

BACHILLER RUBEN DINOS ALVAREZ VENTURA

ASESOR:

DR. NILTON JUAN ZEBALLOS HURTADO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

MOQUEGUA – PERÚ

2022

CONTENIDO

PORTADA	Pág.
PÁGINA DE JURADO	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN	xvii
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1 Descripción de la realidad del problema.	1
1.2 Definición del problema.	2
1.2.1 Problema general.....	2
1.2.2 Problemas específicos.	2
1.3 Objetivos de la investigación.	3
1.3.1 Objetivo general.	3
1.3.2 Objetivos específicos.	3
1.4 Justificación.....	3

1.5	Alcances y limitaciones.....	4
1.6	Variables.....	5
1.6.1	Variable Independiente.	5
1.6.2	Variable Dependiente.....	5
1.6.3	Operacionalización de las variables.	6
1.7	Hipótesis de investigación.....	7
1.7.1	Hipótesis general.....	7
1.7.2	Hipótesis derivadas.	7
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO		8
2.1	Antecedentes de la investigación.	8
2.1.1	Historia.....	11
2.2	Bases teóricas	14
2.2.1	Alimentación animal.	14
2.2.2	Alimentos balanceados.....	15
2.2.3	Clasificación de los alimentos balanceados.	18
2.2.4.	Tipos de mezclas para alimentos balanceados.	18
2.2.5.	Características de los alimentos balanceados.....	19
2.2.6.	Herramientas y equipos para elaborar alimento balanceado.....	21
2.2.7.	Homogenización de la mezcla para alimento balanceado.....	22
2.2.8.	Etapas de la producción de alimento balanceado.....	22
2.2.9.	Tipos de Moliendas de Granos para alimentos balanceados.....	27

2.2.10.	¿Qué es el Molino de Martillos?	31
2.2.11.	Molino de disco.	38
2.2.12.	Procesos.	51
2.2.13.	Factores a considerar para un sistema de molienda.....	53
2.3.	Definición de términos	54
CAPÍTULO III MÉTODO.....		63
3.1.	Tipo de la investigación	63
3.2.	Diseño de la investigación.....	63
3.3.	Población y muestra	69
3.4.	Descripción de instrumentos para recolección de datos.....	69
CAPÍTULO IV ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS		71
4.1.	Presentación de Resultados	71
4.1.1.	Evaluación de la calidad del grano: Maíz amarillo.....	71
4.1.2.	Diagrama de Flujo del Proceso de elaboración de Alimento Balanceado.	74
4.1.3.	Molienda de Granos.	81
4.2.	Contrastación de hipótesis.....	142
4.2.1.	Hipótesis general.....	142
4.2.2.	Hipótesis específicas	143
4.3.	Discusión de resultados	147
4.3.1.	Producción y Granulometría.	147

4.3.3. Plan de mantenimiento.....	149
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	150
5.1. Conclusiones	150
5.2. Recomendaciones.....	152
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	153
APÉNDICE.....	160
MATRIZ DE CONSISTENCIA	165

ÍNDICE DE TABLAS

Contenido de tablas	Pág.
Tabla 1 Operacionalización de las variables.....	6
Tabla 2 Molino de Martillos.....	35
Tabla 3 Molino de discos Vibratorios RS 200.....	41
Tabla 4 Características del Molino de Discos RS300.....	44
Tabla 5 Modelo de molino de Discos DM 200.....	46
Tabla 6 Molino de Discos DM400.....	49
Tabla 7 Protocolo de ensayo de una prueba de molienda en el molino de Bond.	66
Tabla 8 Resultados de los ensayos de molienda en el laboratorio en el molino de Bond.....	66
Tabla 9 Consumo específico de energía calculado y medido para la molienda industrial de los cereales analizados.....	67
Tabla 10 Análisis bromatológico del maíz amarillo duro.....	72
Tabla 11 Demanda de Molienda Promedio Actual.....	83
Tabla 12 Molino de martillos de eje de tornillo simple – Candia Alimentos Balanceados.....	89
Tabla 13 Molino de martillos – Candia Alimentos Balanceados.....	90
Tabla 14 Dimensiones, medidas y cantidad de los elementos.....	94
Tabla 15 Espacio ocupado por cada elemento.....	95
Tabla 16 Productividad de Molienda en toneladas/hora en molino de eje de tornillo simple.....	97
Tabla 17 Sección de las correas en V estándar.....	97

Tabla 18 Dimensiones en pulgadas de aplicaciones de cuñas cuadradas y rectangulares estándar	99
Tabla 19 Elementos y características del Molino de Eje de tornillo doble.....	100
Tabla 20 Molino de martillos móviles – Candia Alimentos Balanceados.....	101
Tabla 21 Productividad de Molienda en toneladas/hora en molino de dos ejes de tornillo.....	106
Tabla 22 Características de los Rodajes en el molino de martillos.....	116
Tabla 23 Tabla de rodamientos SKF.....	117
Tabla 24 Tamaño de abertura de huecos en zarandas	125
Tabla 25 Tamaño de Zaranda por Etapas de Crecimiento de Porcinos	126
Tabla 26 Efectos del tamaño de partícula en el crecimiento - engorde de cerdos.	128
Tabla 27 Peso de maíz grano, molido y pérdidas por molienda	132
Tabla 28 Costos de la energía consumida por hora de trabajo del molino	134
Tabla 29 Número de Zaranda y Tamaño de abertura de Zaranda en milímetros	135
Tabla 30 Curva granulométrica. Tamaño de Partícula Molino de 1 eje (Tornillo simple).....	137
Tabla 31 Curva granulométrica. Tamaño de Partícula Molino de 2 ejes (Tornillo doble).....	137
Tabla 32 Comparativo granulométricos molinos de tornillo simple y doble.....	141
Tabla 33 Comparativo de procesos de molienda	142
Tabla 34 Correlación de las variables	144
Tabla 35 Valores de correlación "r" Oearsin	144
Tabla 36 Estadísticas descriptivas.....	145

Tabla 37 Estimación de la diferencia pareada.....	146
Tabla 38 Prueba.....	146

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido de figuras	Pág.
Figura 1 Flujograma de la elaboración de alimento balanceado.....	26
Figura 2 Molino de Martillo para Pequeña Empresa.	28
Figura 3 Modo de Operación Cuchillas.	29
Figura 4 Molino de discos lisos.	30
Figura 5 Molino de Bolas en Movimiento.	31
Figura 6 Diseño del Molino a Martillo	37
Figura 7 Molino de Martillo Tipo de Funcionamiento	38
Figura 8 Información Técnica Del Molino De Discos.....	50
Figura 9 Partes del Molino de Disco vertical.....	51
Figura 10 Procesos	52
Figura 11 Maíz amarillo duro.	72
Figura 12 Clasificación de los granos de maíz.....	74
Figura 13 Diagrama de Flujo del Proceso de Elaboración de Alimento Balanceado.	76
Figura 14 Tolva de recepción de granos de maíz amarillo duro.....	77
Figura 15 Molino de martillos.....	81
Figura 16 Flujo grama de Carga – Molido- Descarga.....	84
Figura 17 Mixer (mezcladora) en funcionamiento con recirculación.....	85
Figura 18 Pesado y ensacado de alimento balanceado.....	85
Figura 19 Molino industrial de tronillo doble	86
Figura 20 Molino industrial de tornillo doble: Elevadores y descensores.	87
Figura 21 Rotor de un molino de martillos móviles.	89

Figura 22 Rotor de molino de martillos fijos	91
Figura 23 Geometría del martillo	91
Figura 24 Palanca porta martillos: Chaveta, martillo, pin y perno.	93
Figura 25 Distribución de palancas porta martillos, separadores, tope y tuerca... 94	
Figura 26 Vista de perfil de los elementos del rotor	95
Figura 27 Disposición de palanca, martillo, perno y pin.	96
Figura 28 Sección de corte de correa en V.	98
Figura 29 Cuña rectangular	99
Figura 30 Árbol de martillos con doble eje (tornillo doble)	102
Figura 31 Molino con doble eje de martillo (tornillo doble)	102
Figura 32 Molino con doble eje de tornillo de martillo	103
Figura 33 Vista de corte frontal, molino centrífugo con doble eje de tornillo de martillo.	104
Figura 34 Transmisión de potencia.	105
Figura 35 Tolva: Admisión del grano de maíz.	107
Figura 36 Ancho de la base superior de la tolva de alimentación.....	108
Figura 37 Dimensiones del martillo.....	109
Figura 38 Dimensiones del disco.	110
Figura 39 Dimensiones de las barras.	110
Figura 40 Torque reactivo de las fuerzas de impacto.	111
Figura 41 Torque reactivo de las fuerzas de impacto.	111
Figura 42. Torque resistivo inercial de la masa rodante	112
Figura 43 Tamiz: 0.212 mm.....	113
Figura 44 Tamiz: 0.250 mm.....	114

Figura 45 Tamiz: 0.300 mm.....	114
Figura 46 Tamiz: 0.425 mm.....	114
Figura 47 Tamiz: 0.500 mm.....	115
Figura 48 Tamiz: 0.600 mm.....	115
Figura 49 Tamiz: .710 mm.....	115
Figura 50 Dimensiones del asiento de rodamiento.	117
Figura 51 Dimensiones lineales del cubo del asiento.	118
Figura 52 Fajas en V 3V335.	119
Figura 53 Vista Isométrica de la Polea Mayor.....	120
Figura 54 Tamaño de molido resultante de molido de maíz.....	122
Figura 55 Embudos de los Molinos de 1 Eje y 2 Ejes	123
Figura 56 Diferencia en la distribución de partículas entre un molino de martillos y un molino de rodillos. Generalmente, el molino de rodillos produce partículas de un tamaño más uniforme.....	123
Figura 57 Motor eléctrico de molino de un eje.....	124
Figura 58 Velocidad de Giro del Motor determina el tamaño de las partículas.	124
Figura 59 Cantidad en porcentaje por tamaño de partículas resultantes de la molienda.....	125
Figura 60 Tamices giratorios, Evaluación de % de tamaño de partículas	128
Figura 61 Mecanismo de Fractura.....	129
Figura 62 Curva de optimización de molienda	130
Figura 63 Medición de tamaño de grano de maíz con vernier – Grano promedio.	131
Figura 64 Amperímetro de pinza empleado.....	134

Figura 65 Análisis Granulométrico. Porcentajes	135
Figura 66 Tamizado, con diferencia diametral en vibración.....	136
Figura 67 Curva granulométrica. Molino de 1 eje o tornillo simple.....	139
Figura 68 Granulometría obtenida en el molino de un eje ó tornillo simple.	139
Figura 69 Curva granulométrica. Molino de 2 ejes ó de doble tornillo.	140
Figura 70 Curva granulométrica. Molino de Tornillo doble (2 ejes).....	140
Figura 71 Comparativo granulométrico en molienda.	142
Figura 72 Dispersión de datos de las variables	145
Figura 73 Curva de Gauss.	146

RESUMEN

Esta investigación efectuó un estudio comparativo de la eficiencia en los procesos y operación de molinos industriales de tornillo simple y doble mejorando los estándares de operación considerando la calidad del producto procesado y los costos del proceso. Siendo una investigación cuantitativa comparativa de tipo cuasi experimental. La demanda de molienda desde 15 T.M./día en el molino de un eje y de 20 T.M./día en el molino de doble eje, con molienda de 32 sacos por hora y 41 sacos/hora respectivamente. Determinando los componentes con dimensiones y especificaciones funcionales de los molinos, evaluando granulométricamente y comparativa conforme a los factores determinantes de tamaño y homogeneidad de la partícula obtenida. La energía requerida para molienda conforme a la ley de Bond, nos da un consumo de energía de 20.51 kwh y 26.37 kwh para el molino de tornillo de un eje y eje de doble tornillo respectivamente, teniendo consumos en costos de 12.25 y 15.75. El comparativo granulométrico muestra que el molino de un eje produce 82% de granos medios (requeridos), 5.8% de granos finos y 1.25 de granos gruesos, el molino de dos ejes tiene 82.2% de granos medios, 17% de finos y 8% de gruesos. Llegando a las conclusiones que se aplicó teorías de diseño de máquinas y materiales en donde en el proceso de molienda el molino de doble eje tiene menor desperdicio de material y mayor productividad y los requerimientos de potencia son de 22,38 kW ó 29.84 H.P. contando con motores sobredimensionados de 40 H.P.

Palabras clave: Molino industrial, sistema de impacto centrífugo, velocidad de giro, potencia del motor.

ABSTRACT

This research carried out a comparative study of the efficiency in the processes and operation of single and double screw industrial mills, improving the operating standards considering the quality of the processed product and the costs of the process. Being comparative quantitative research of quasi-experimental type. The grinding demand is 15 T.M./day in the single-shaft mill and 20 T.M./day in the double-shaft mill, with grinding of 32 bags per hour and 41 bags/hour, respectively. Determining the components with dimensions and functional specifications of the mills, evaluating granulometrically and comparatively according to the determining factors of size and homogeneity of the obtained particle. The energy required for grinding according to Bond's law, gives us an energy consumption of 20.51 kWh and 26.37 kWh for the single-shaft and double-shaft screw mill, respectively, having cost consumptions of 12.25 and 15.75. The granulometric comparison shows that the one-shaft mill produces 82% of medium grains (required), 5.8% of fine grains and 1.25 of coarse grains, the two-shaft mill has 82.2% of medium grains, 17% of fines and 8% thick. Reaching the conclusions that design theories of machines and materials were applied where in the grinding process the double shaft mill has less waste of material and greater productivity and the power requirements are 22.38 kW or 29.84 H.P. counting on oversized motors of 40 H.P.

Keywords: Industrial mill, centrifugal impact system, turning speed, motor power.

INTRODUCCIÓN

En los procesos de molienda de materias primas (maíz amarillo duro y soja) para la producción de alimento balanceado y concentrado para animales domésticos en un proceso productivo a nivel industrial, es que es determinante la calidad del grano, en donde los molinos cumplen un rol fundamental en los procesos de molienda para obtener calidad y eficiencia en el proceso productivo a nivel de calidad de partícula triturada, tiempos de proceso y costos de producción.

Existen en el mercado diversos tipos de molinos para cereales, los cuales tienen diversos propósitos de molienda y en cada una de las empresas dedicadas a la producción de alimento concentrado, determinan el molino a utilizar de acuerdo a sus flujos de proceso productivo y modalidades de proceso singular de cada empresa.

La empresa Candia Alimentos balanceados, viene desarrollando la producción de alimento balanceado hace 18 años con alimento balanceado para aves, cerdos, vacunos y ovinos para cada etapa de crecimiento, desde inicio, crecimiento, desarrollo, producción y acabado ó engorde.

La empresa durante todos estos años, en el proceso productivo a utilizado diversos molinos, y de acuerdo a su aplicabilidad y experiencia en el rubro, es que utilizan molinos de tornillo, los cuales se ajustan a los requerimientos particulares en su proceso.

En la etapa productiva y de resultados, la empresa busca la eficiencia en: primero en la productividad, tanto en la calidad del alimento balanceado obtenido la cual es reflejada en el rendimiento de carcaza y derivados en la alimentación de

animales domésticos de los clientes, los cuales son evaluados permanentemente por la empresa y así aplican la retroalimentación y re ingeniería en el proceso para poder mejorar día adía el producto acabado. Segundo en la eficiencia de maquinaria y equipo: Realizar los procesos correctivos en el funcionamiento de la maquinaria de proceso, como son en el buen desempeño mecánico y eléctrico de la maquinaria y los ahorros o usos eficientes de fuentes de energía y desgaste de maquinaria.

En la actualidad la empresa utiliza dos molinos de cereales, los cuales tienen una capacidad de 2 toneladas, pero con una mecánica diferente, en donde los procesos y productos de molienda son distintos y cumplen las características en el proceso productivo, pero es necesario evaluar un comparativo de eficiencia de la maquinaria en el proceso, calidad de producto molido, y optimizar los costos en el proceso de molienda.

El proceso de molienda determina la eficiencia en el mezclado, en la aplicación de pre mezclas y aditivos, así como la calidad de los pellets, ya que un mal molido no permitirá tener una mezcla homogénea de los insumos del alimento balanceado y por ende reflejaría una mala formulación y baja producción en los animales domésticos que se les provee de alimento balanceado.

La eficiencia del funcionamiento de la maquinaria y equipo determina el volumen y calidad de producción en forma eficiente y entregas oportunas, para un buen funcionamiento permanente y constante de la maquinaria y equipo va a depender en respetar los manuales de mantenimiento predictivo, preventivo y de reparación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción de la realidad del problema.

La calidad del alimento balanceado depende de la formulación de insumos, la estandarización y calidad del producto; la molienda de granos en el proceso productivo es una fase importante para la obtención de un buen producto resultante.

La eficiencia en los procesos de molienda de los insumos en la elaboración de alimento balanceado para animales va a depender de los tiempos de molienda y volúmenes procesados, lo cual se encuentra vinculado al tamaño de partículas molidas obtenidas en producción estándar, lo cual determinará la eficiencia en el mezclado con otros insumos, vitaminas y minerales.

Los estándares de operación de los molinos de la empresa no son eficientes en los tiempos de proceso y volúmenes de alimentación y producción, cabe señalar que para la producción de alimento balanceado para las fases de inicio y crecimiento de animales se requiere moliendas finas, y para desarrollo y acabado se requiere partículas molidas más groseras. La falta de alternativas de planificación, diseño y dimensionamiento de la maquinaria, equipos y componentes mecánicos y de impulsión en la operación de molinos ocasiona estos problemas de proceso, donde es necesario

evaluar el desempeño operacional de los equipos y sistemas mecánicos de los molinos de tornillo simple y doble y proponer estrategias de mejoras en los estándares de operación en los procesos de molienda con la finalidad de mejorar los estándares de operación.

1.2 Definición del problema.

1.2.1 Problema general.

¿Se podrá realizar un estudio comparativo de la eficiencia en los procesos y operación de molinos de tornillo simple y doble mejorando los estándares de operación considerando la calidad del producto procesado y los costos del proceso?

1.2.2 Problemas específicos.

- ¿Cuál es la demanda y volúmenes de molienda procesados en la producción de alimento balanceado?
- ¿Cómo es el diseño y componentes de los molinos de sistema de impacto centrífugo de tornillo simple y doble para el proceso?
- ¿Podemos realizar la evaluación granulométrica comparativa de tiempos de molienda con ambos sistemas de acuerdo al desempeño de sus componentes?
- ¿Cuál es la eficiencia de proceso y operación de los molinos en el proceso respecto a sus componentes, consumo de energía y potencia de la maquinaria para la producción demandada?
- ¿Es posible determinar el comparativo económico en el desempeño de ambos molinos para determinar el de mayor eficiencia?

1.3 Objetivos de la investigación.

1.3.1 Objetivo general.

Efectuar un estudio comparativo de la eficiencia en los procesos y operación de molinos industriales de tornillo simple y doble mejorando los estándares de operación considerando la calidad del producto procesado y los costos del proceso.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Estimar la demanda y volúmenes de molienda procesados en la producción de alimento balanceado.
- Desarrollar el diseño y componentes de los molinos de sistema de impacto centrífugo de tornillo simple y doble para el proceso.
- Realizar la evaluación granulométrica comparativa de tiempos de molienda con ambos sistemas de acuerdo al desempeño de sus componentes.
- Calcular la eficiencia de proceso y operación de los molinos en el proceso respecto a sus componentes, consumo de energía y potencia de la maquinaria para la producción demandada.
- Determinar el comparativo económico en el desempeño de ambos molinos para determinar el de mayor eficiencia.

1.4 Justificación.

El diámetro de los granos triturados obtenidos en los procesos de operación de los molinos va a determinar en gran porcentaje en la calidad del producto final, presentando un alimento balanceado estandarizado y con mayores rendimientos progresivos y teniendo el fin de tener la preferencia en la adquisición de sus productos.

Por lo antes dicho es necesario evaluar comparativamente en el diseño y desempeño operacional de los molinos de tornillo simple y doble, con la finalidad de mejorar los estándares de operación.

La eficiencia en el diseño y operación de los molinos de granos de eje simple y doble difieren en el proceso, teniendo ambos el mismo propósito que es la molienda de granos. La obtención de un grano de dimensiones y calidad requeridas y en un tiempo de proceso determinado, son los aspectos que determinan la eficiencia de todo el proceso de producción. Cabe señalar que el tamaño de molienda va a determinar el tipo de alimento a producir de acuerdo a la fase de desarrollo de cada animal a nutrir, así como el grado de digestibilidad. Por lo que es necesario tener un buen desempeño y operación de los molinos para obtener un producto de calidad final, tomando en consideración los costos de operación.

1.5 Alcances y limitaciones.

La producción de alimento balanceado en planta está en actividad, en donde los tratamientos de cereales, complementos vitamínicos y minerales difieren respecto al propósito y tipo de animales a los que se provee, por lo que los tipos de moliendas de granos dependen de estos factores anteriormente expuestos.

El estudio comparativo de los molinos nos proveerá de información a aplicar en los procesos productivos. Donde se tiene limitaciones de tiempo, calidad de molienda de grano, gastos de energía y mantenimiento de maquinaria y equipo.

1.6 Variables.

1.6.1 Variable Independiente.

Eficiencia comparativa de operación de Molinos de tornillo simple y doble.

1.6.2 Variable Dependiente.

Eficiencia de operación de Molienda de Calidad

1.6.3 Operacionalización de las variables.

Tabla 1

Operacionalización de las variables

Variable	Definición Operativa	Dimensiones	Indicadores
Eficiencia comparativa de operación de Molinos de tornillo simple y doble	Variable Independiente	Eficiencia: Resultado alcanzado/costo real*Tiempo invertido/ (Resultado esperado/Coste estimado) *Tiempo previsto.	- Volúmenes de molienda. - Costos incurridos. - Tiempo invertido - Tiempo previsto
		Análisis económico	- Costos de producción comparativos con ambos molinos
Eficiencia de operación de Molienda de Calidad	Variable Dependiente	Operatividad comparada	Reguladores de Voltaje Elementos y componentes de molienda Consumo de energía y potencia: Kw/hora, Fuerza Eléctrica: Kg, m/s ² , Torque: Nm.
		Granulometría de molienda comparada	Tamaño (mm), volúmenes (T.M.) Tiempo (Hora, segundos)
		Análisis económico comparado	Costos de tiempos y volúmenes de molienda: Hrs máquina, hrs M.O., costos de energía, costos de mantenimiento de maquinaria.

1.7 Hipótesis de investigación.

1.7.1 Hipótesis general.

Es probable efectuar el estudio comparativo de la eficiencia en los procesos y operación de molinos industriales de tornillo simple y doble determinando los aportes de mejora en los estándares de operación considerando la calidad del producto procesado y los costos del proceso.

1.7.2 Hipótesis derivadas.

- Es probable determinar la demanda y los volúmenes de molienda procesados para la producción de alimento balanceado.
- Es probable que se realice el desarrollo del diseño y los componentes de los molinos de sistema de impacto centrífugo de tornillo simple y doble para el proceso.
- Es probable realizar la evaluación granulométrica comparativa de los tiempos de molienda con ambos sistemas en relación al desempeño de sus componentes.
- Es probable que se calcule la eficiencia del proceso y operación de los molinos de acuerdo a sus componentes, consumo de energía y potencia de la maquinaria para la producción demandada.
- Es probable determinar el comparativo económico respecto al desempeño de ambos molinos para determinar el de mayor eficiencia.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación.

En la Universidad de Piura se presenta la tesis de grado titulada “Alimentos Balanceados Yoli” realizada por Alcántara, J., Avalos, J., Pozo S., Vargas, M. y Yarlequé, D. en el año 2016, siendo el estudio de tipo aplicativo, contemplando el objetivo general de mejorar el proceso artesanal de la elaboración y la composición de alimento balanceado para aves, reduciendo costo, tiempo (gracias a algún componente sustituto), llegando a la conclusión general de que este proyecto técnicamente se encuentra viable, a haberse definido el tamaño ideal eligiendo el equipo y la maquinaria acorde a la demanda insatisfecha proyectada como también los procesos que intervienen en la producción de este alimento (Alcántara, et al., 2016).

En la Universidad de Piura en la tesis de grado titulada “Sistematización de Diseño de Molinos de Martillos fijos para grano”, realizado por (Atarama, 2018). Siendo un estudio de tipo aplicativo, teniendo como objetivo general el de sustentar un diseño confiable de la máquina a partir de información recabada de prototipos de molinos eficientes de martillos fijos para cada grano. Llegando a la conclusión general de que los molinos cumplen un rol importante dentro de las industrias; los diferentes

molinos tienen características que determinan su aplicación definiéndola para una determinada industria y objetivo de la misma, así mismo los molinos de martillos son usados mayormente para la elaboración de menestras, bebidas, harinas de maíz, soya, algarrobina, trigo, maca, etc. Con la aplicación de teorías de diseño de máquinas y con el conocimiento de sus propiedades mecánicas se pudo definir y calcular los valores de los elementos que componen un molino de martillo para cada grano de forma justificada considerando la función que cumple dentro del sistema. También se pudo calcular la potencia de motor del molino de martillos fijos para cada molienda de grano, así como el cálculo del diámetro de eje del molino, Por otra parte, el trabajo presenta formulas, relaciones y criterios para calcular y definir los valores que sean necesarios para la elección de componentes principales de un molino de martillos fijos. para molienda de grano (Atarama, 2018).

En la Universidad Corporación Universitaria Lasallista se tiene la tesis denominada “Procesos de producción de alimentos balanceados”. realizada por Samuel Maya H., siendo el estudio de tipo aplicativo, teniendo por objetivo general identificar los diferentes procesos realizados en el área de producción de la planta de alimentos balanceados, sales mineralizadas y fertilizantes COLANTA Itagüí, afianzando conocimientos adquiridos durante la formación del pregrado. Llegando a las conclusiones en que se pudo analizar los diferentes tipos de concentrados para animales, sus componentes y se entendió que algunas líneas no pueden ser producidas después de otras debido a la presencia de factores promotores de crecimiento y la presencia de antibióticos entre otros compuestos (Maya, 2016).

En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo se tiene la tesis titulada “Diseño de un molino de rodillos para molienda de granos, destinado al área de alimentos del CESTTA-ESPOCH” realizada por Cesar G. Salas L., siendo el estudio de tipo aplicativo, teniendo como objetivo general el diseñar un Molino de Rodillos para molienda de granos, destinado al Área de Alimentos del CESTTA-ESPOCH, llegando a la conclusión de que se cumple el objetivo, diseñando el molino de rodillos para moler granos, y este contará con tres rodillos con una capacidad de molienda de 5 kg por hora con una potencia de 500 watts el material de este molino será de acero inoxidable (Salas, 2012).

En la Universidad de San Francisco de Quito, se tiene la tesis titulada “Diseño y Construcción de un Molino de Martillos”, realizado por Iván Cuadrado M. y José L. Rueda C. en el año 2009, siendo el estudio de tipo aplicativo, teniendo de objetivo general diseñar y construir un molino, que permita optimizar la producción de harina a través de distintas herramientas que nos ofrece la Ingeniería Mecánica. Con la finalidad de disminuir costos de producción, obtener mayor rentabilidad y alcanzar mayores niveles de competitividad en el mercado, llegando a la conclusión general que el molino se diseñó para pequeñas y medianas empresas ya que su capacidad de molienda es moderada, además el molino está apegado a las normas internacionales de alimentos y en su diseño se consideró optimizar al máximo el tamaño, para al momento de instalarlo con todos los demás componentes no se requiera de espacio grande para su utilización (Cuadrado y Rueda, 2009).

En el congreso Científico de Avicultura se presentó el artículo titulado “Molino de martillo vs. Molino de rodillo: Efectos de la molienda del cereal principal de la dieta sobre la productividad y la calidad del huevo en gallinas ponedoras rubias” presentado por (Perez, Frikha, Mohiti, Martín, Garcia, Herrera, y Gonzalez, 2013). Siendo el estudio de tipo experimental empleando un diseño completamente al azar con seis tratamientos, tres tipos de cereales y dos tipos de moliendas (molino de martillo y molino de rodillos). Siendo el objetivo general de la investigación comparar el molino de rodillo y el molino de martillo para el cereal principal de la dieta sobre la productividad y calidad del huevo en gallinas ponedoras rubias. Llegando a las conclusiones de que se obtuvo que las variables productivas de la gallina ponedora quizá sean afectadas por el tipo de molino utilizado para moler la dieta. El molino de rodillo quizá no es recomendable cuando la cebada se utiliza como el alimento principal de la dieta, sin embargo, si es el maíz o trigo utilizado, ambos métodos de molienda son exitosos. Y por último la ventaja de usar un molino de rodillo versus un molino de martillo está basada en la reducción del tamaño medio de partícula con un mayor grado de uniformidad (Pérez et al., 2011).

2.1.1 Historia.

En el año 1934 en el Perú, se inicia la producción a escala de alimentos balanceados para el suministro de animales doméstico dirigidos para el consumo humano, en especial aves (pollo, patos, entre otros). Entre los años 1950 y 1960, se instalan e implementan las primeras plantas de procesamiento industrial de alimentos balanceados, con el surgimiento de las empresas: Nicolini (Nicovita), Purina,

Compañía Moliner^oa Santa Rosa (Vitaovo), entre otros, a efecto de los requerimientos insatisfechos de un sin número en aumento de granjas avícolas, siendo las de mayor demanda en la capital del país. Proceso industrial de crecimiento moderado, estableciéndose el Perú como uno de los iniciadores en Sudamérica. Como sustento corporativo se crea el Comité de Alimentos Balanceados y Productos Pecuarios en el año de 1966, cumpliendo una función de capacitación e innovación tecnológica, brindando cursos con profesionales y técnicos de alto nivel conocedores en la materia de los países de Estados Unidos de América, Inglaterra, Argentina y Uruguay. Por el crecimiento de la agroindustria alimentaria, produjo la demanda de maíz amarillo duro, sorgo de grano y leguminosas como alfalfas, lo que promovió que los agricultores incidan en la producción de estos cultivos.

Consecuentemente la industria de alimentos balanceados requería de insumos adicionales como la harina de pescado, pasta de algodón, melaza de caña de azúcar, harina de huesos, carbonato de calcio y otros insumos de menor escala, pero de importancia como son las vitaminas, micronutrientes minerales, antibióticos, promotores de crecimiento, etc.

En Latinoamérica se viene incrementando la demanda de pollo y huevos. De una evaluación de los 18 países demandantes, el Perú se encuentra en el cuarto lugar como consumidor de carne de aves.

Entre los años 2004 y 2013, se registró un alza importante de consumo por persona de pollo de 92% en promedio, y en el caso de consumo de huevos se incrementó en un 55% (FAO, 2013).

De acuerdo a lo publicado por la Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la tendencia al consumo de carne de aves produjo el incremento de los ingresos, además señalando que se viene incrementando de manera progresiva el consumo de alimentos de origen animal, lo que implica el incremento de los ingresos por persona.

La actividad avícola mueve al año aproximadamente S/. 11.000 millones, lo cual incluye toda la cadena del negocio, productores de maíz, transportistas, proveedores, establecimientos comerciales, mayoristas, puntos de venta.

Desde hace unos años, el sector avícola en el país viene desarrollando una evolución sostenida en el comercio de carne de aves en razón de un 10%, por lo que se torna en un rubro pecuario de elevado realce en el Perú: El sector avícola marca cifras anuales de ser el 2% del Producto Bruto Interno (PBI), el cual dinamiza en promedio S/.4400 millones de soles. Por lo tanto, el crecimiento en el Perú es significativo comparado con otros países como, según el último reporte de la Asociación Latinoamericana de Avicultura (ALA) (APA, 2021). Brasil es el país con mayor consumo de pollo con 45 kilogramos por persona por año, en segundo lugar, se encuentra Venezuela con 41 kg/persona/año, seguidos de los países de Argentina con 40,5 kg/persona/año, Perú (39 kg/persona/año) y Bolivia con 37 kg/persona/año, al igual que Panamá. Respecto al Perú, el departamento de Lima consume un 60% de toda la población, seguido de La Libertad con un 18%, Arequipa con 8% e Ica con 4%. En la producción avícola, se tiene que el 93% es la producción de pollos, siendo el restante 7% carnes de gallinas, pavos y patos. Las granjas industriales productoras en el país son alrededor de 30 empresas de importancia entre grandes y medianas), las cuales

cubren el 90% de la producción en el Perú, y el restante 10% lo conforman pequeños productores que son entre 200 y 300. Dentro de las granjas avícolas de importancia tenemos a: Avícola San Fernando (30% del total), Ricopollo (12%), Agropecuaria Chimú (8%), El Rocío (7%), Redondos (7%) y Avinka (5%). A nivel internacional los países de mayor producción de pollos son: Estados Unidos, China, La Unión Europea, Brasil, México, Japón, Tailandia, Canadá, Argentina, Malasia, Irán, Rusia, Indonesia, Turquía, Australia y Perú.

Actualmente, en el procesamiento agroindustrial se utilizan equipos y maquinarias en el proceso en sí, como son las mezcladoras, pelletizadoras, dosificadores por volumen, entre otros, equipo que aporta a que los procesos sean más eficientes. Actualmente se aplican programas informáticos para la formulación del mezclado.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Alimentación animal.

La nutrición animal es una de las ramas de la zootecnia el cual se encarga de estudiar las consideraciones dirigidos a determinar las proporciones de sustancias nutritivas (alimentos) necesarias para satisfacer las necesidades biológicas óptimas de los animales domésticos, por lo que se hacen estudios en relación a:

- Niveles de requerimiento de los animales.
- Determinación de los componentes nutricionales de los alimentos.
- Racionamiento de alimentos o modo de aporte de cantidad de alimento que requieren los animales para satisfacer de modo óptimo los requerimientos de los animales.

Se define como nutrición animal a la especialidad encargada de estudiar los diversas fases fisiológicas en donde el organismos animal emplea los diversos elementos (nutrientes) de los alimentos para el crecimiento, desarrollo, mantenimiento, reproducción y acabado (etapas de desarrollo y crecimiento) los cuales implican el mantenimiento y funcionalidad de los componentes estructurales del cuerpo, así como la regulación de los procesos de metabolismo de los animales (Caravaca y Castel, 2006).

2.2.2 Alimentos balanceados.

Son la combinación de componentes que son producidos de modo que responda a las necesidades de nutrición específica para cada especie animal a, etapa de crecimiento y naturaleza, así como considerando factores del entorno como son el tipo de producción animal respecto a su destino. El suministro puede ser como alimentos básicos o como suplementos o complementos de otras fuentes nutricionales (Maya, 2016).

Conforme al MINAGRI, los alimentos balanceados actualmente existen una expansión de la producción de alimentos balanceados, especialmente para el sector avícola (alrededor del 91%), porcino y ganado de engorde. Las grandes empresas avícolas tienen incorporadas a sus sistemas de producción, almacenes de acopio, plantas de molienda de insumos, mezclad y empaquetado de alimentos balanceados. (MIDAGRI, 2015)

Tenemos variados factores del entorno y extorno que reglamentan la ingestión espontánea de alimentos en los animales como:

- Grado de energía de la ración: Las especies animales comen hasta llegar a un nivel de satisfacción.

- Contenido de proteína de la ración: Cuando el suministro de alimento contiene poco porcentaje de proteína, entonces los animales consumirían más alimentos y esto generaría más gastos económicos.
- Palatabilidad del alimento: Se conoce como las características organolépticas que tiene el alimento a consumir (sabor, olor, textura, temperatura) la baja palatabilidad produce bajo consumo.
- Contenido de toxinas en el alimento: Cuando se tiene presencia de sabores y olores raros, los animales no lo comen, por un mecanismo de defensa natural.
- Tipo de sistema digestivo: Las especies animales poseen diversos tipos de sistemas digestivos (monogástricos y poligástricos) y dimensiones. Cada especie animal consume alimento hasta su satisfacción.
- Nivel de digestibilidad del alimento: Cuando se suministra alimentos bastante digeribles al animal, este lo procesa rápidamente e incrementa el apetito lo que ocasiona mayor consumo.
- Temperatura del medio ambiente: En promedio, cuando la temperatura del medio ambiente es mayor a los 25°C, el apetito y consumo de alimento se reduce.

Una mala nutrición prolongada de los animales acaece a problemas de desnutrición, en donde los animales por su fisiología pueden tolerar de uno a dos fases productivas con deficiencia nutricional porque sus reservas corporales los cubren, si no se aplican acciones correctivas nutricionales, se agotan las reservas en su cuerpo y tienen como consecuencia el descarte y eliminación de animales que presentan deficientes rendimientos.

La ración alimenticia se define como un conjunto de componentes de la alimentación que son proveídos a los animales con el propósito de cubrir con las necesidades fisiológicas que reflejen satisfacción en los índices de producción y reproducción. SE tienen dos modalidades de provisión de alimento animal: El primero es la provisión libre y permanente, el segundo método es la provisión de alimento limitado con raciones alimenticias individuales y por cantidades determinadas y en horarios establecidos.

En el suministro de alimento por medio de dietas se contemplan tres tipos de dietas: la básica, suplementaria y la complementaria. La dieta básica cumple en proveer los nutrientes mínimos necesarios para que cubran con sus funciones de producción y reproducción, este tipo de alimentación se presenta en un establo con áreas verdes con libre alimentación.

La dieta suplementaria es la provisión adicional que se le da a los animales de libre alimentación cuando no rinden de manera adecuada en sus fases reproductivas, productivas o de lactancia, por lo que se adiciona optima como la lactancia, parto o reproducción, por lo que se agrega alimento para llegar a niveles requeridos en los animales.

La tercera dieta es la complementaria, la cual contiene todos los componentes nutricionales que demanda la explotación animal, el cual es denominado alimento balanceado. Alimento proveído por estados de crecimiento, requerimientos, entre otros; el propósito es de proveer todos los componentes nutricionales que se necesitan para cumplir con su metabolismo y fisiología que acuden a cumplir roles de provisión de energía y nutrientes para fases de crecimiento, reproducción y crecimiento

conforme a cada etapa fisiológica, evitando la presencia de mermas, y tampoco ver la movilidad de los animales en búsqueda de alimento para satisfacer sus necesidades.

2.2.3 Clasificación de los alimentos balanceados.

Tomando en consideración la composición de alimentos se catalogan tres tipos (Llaguno y Masabanda, 2007):

2.2.3.1. Purificados.

Aquellos elaborados en base a aminoácidos sintéticos, ácidos grasos, carbohidratos de composición conocida, vitaminas y minerales químicamente puros; tienen alto valor económico y son aplicados en la investigación.

2.2.3.2. Semi – purificados.

Alimentos con constituyentes naturales, pero de mayor pureza. Son empleados para experimentos cuantificables de eficiencia en la conversión alimenticia, ganancia de peso y talla, niveles de producción láctea, entre otros

2.2.3.3. Prácticos. Provisión de alimentos elaborados en base a alimentos naturales y disponibles en ese instante. Siendo el fin de la elaboración la satisfacción de los requerimientos nutricionales a un costo mínimo.

2.2.4. Tipos de mezclas para alimentos balanceados.

En la industria alimentaria se elaboran tres tipos de mezclas de acuerdo a la utilidad o niveles de consumo que se necesite.

2.2.4.1. *Seco o polvo.*

Es la mezcla de los elementos con nula interacción química entre ellas. Las propiedades de este tipo de mezcla cambian de acuerdo a su composición, el cual se condiciona por la metodología o modalidad de elaboración de las mismas.

2.2.4.2. *Peletización.*

Este tipo de mezcla se basa en incorporar vapor de agua al producto mezclado y molido, con la finalidad de hidratar y pasteurizar al alimento con temperaturas entre los 60 y los 80° C para luego comprimirlos.

2.2.4.3. *Proceso mediante el cual se obliga a una sustancia o mezcla de extrusión.*

La mezcla de nutrientes traspasa pasan por un molde que suministra formas diversas a criterio.

2.2.5. Características de los alimentos balanceados.

2.2.5.1. *Cualitativas.*

a. Clasificación de nutrientes.

El alimento balanceado está mezclado y conformado por agua y partículas secas, ésta última se tipifica en materia orgánica e inorgánica. Entre la materia orgánica se hallan los: carbohidratos, lípidos, proteínas y vitaminas, mientras que, en la materia inorgánica, estarán los minerales (AGROBIT, 2012).

b. Fuentes nutricionales.

Energías, proteínas, vitaminas y minerales.

2.2.5.2. *Cuantitativas.*

a. Composición de la fórmula de alimento de Iniciación.

- Proteína mínima: 20%
- Grasa mínima: 3%
- Humedad máxima: 13%
- Ceniza máxima: 8%
- Fibra cruda máxima: 5%
- Calcio mínimo: 0.9%
- Fósforo: 0.68%

b. Composición de la fórmula de alimento de Crecimiento.

- Proteína mín.: 19%
- Grasa mín.: 3%
- Humedad máx.: 13%
- Ceniza máx.: 8%
- Fibra cruda máx.: 5%
- Fósforo: 0.68%

c. Composición de la fórmula de alimento de Desarrollo

- Proteína mín.: 18%
- Grasa mín.: 4%
- Humedad máx.: 13%
- Ceniza máx.: 8%
- Fibra cruda máx.: 5%
- Calcio mín.: 0.9%
- Fósforo total: 0.68%

d. Composición de la fórmula de alimento Finalizador.

- Proteína mín.: 18%
- Grasa mín.: 4%
- Humedad máx.: 13%
- Ceniza máx.: 8%
- Fibra cruda máx.: 5%
- Calcio mín.: 0.9%
- Fósforo: 0.68%

2.2.6. Herramientas y equipos para elaborar alimento balanceado.

En la elaboración de estos balanceados se acude a un proceso de empleo de herramientas y equipos que facilitan el procesamiento reduciendo el empleo de recursos masivos. A continuación, tenemos las herramientas y equipos empleados (Castillo, Melo y Boetto, 1996).

2.2.6.1. Herramientas.

- *Manillas de plástico*
- *Contenedores de laboratorio*
- *Máquina de coser manual de sacos*
- *Equipo de análisis de humedad*
- *Balanza de pesado digital de precisión en gramos*
- *Balanza de pie con plataforma para peso en kilos.*

2.2.6.2. Equipos.

- *Transportador/elevador de producto tipo tornillo sin fin*

- *Tolvas de recepción de producto del molino*
- *Molino*
- *Mezcladora o mixer vertical y horizontal*

2.2.7. Homogenización de la mezcla para alimento balanceado.

Es de suma importancia la homogenización correcta de la mezcla para poder tener el mayor aprovechamiento para lograr que los elementos adicionados puedan ser asimilados y digeridos óptimamente por los animales de crianza, estableciendo que no sea necesario de suministrar grandes volúmenes de concentrado y por lo tanto moderar el costo económico.

La adición de los componentes de un alimento balanceado en la mezcladora debe tener un orden de puesta como es (Castillo, Melo y Boetto, 1996):

- Insumos de diámetros mayores como son los granos y pastas.
- Insumos de diámetros menores, tales como minerales, vitaminas o pre mezclas.
- Aditivos medicados como son los antibióticos.
- Por último, insumos líquidos como son los aceites, melazas, entre otras.

2.2.8. Etapas de la producción de alimento balanceado.

El uso de maquinaria y equipos es útil en la producción de alimentos balanceados, como son en el proceso de adiciones de insumos y el mezclado con procedimientos mecánicos. Procesos que aportan a mejorar la composición y reparto uniforme de los elementos nutricionales, por medio de la adición de todos los nutrientes que se necesitan para satisfacer la dieta de animal de acuerdo a su edad, peso y etapa de desarrollo. Por lo que se tiene los siguientes procesos (Castillo, Melo y Boetto, 1996).

2.2.8.1. Recepción de la materia prima.

Etapa inicial donde se evalúan los insumos proveídos en contraste a los requerimientos exigidos por los estándares de calidad.

2.2.8.2. Almacenamiento de materia prima.

Es la custodia de la materia prima ordenada y agrupada en los almacenes teniendo en cuenta de preservar sus propiedades físicas y de calidad.

2.2.8.3. Formulación.

Es la determinación de la dosis o formulación que debe tener la dieta conforme a los requerimientos de alimento de los animales respecto a la edad, peso y estadíos de cada especie. Para determinar la formulación es necesario saber el valor nutricional de cada uno de los insumos intervinientes.

2.2.8.4. Pesaje.

Los insumos intervinientes en la formulación son pesados de acuerdo a la concentración y volúmenes requeridos para la dieta, productos pesados en balanzas de precisión y masivos.

2.2.8.5. Molienda.

Los insumos o alimentos simples demandan ser reducidos de tamaño, por lo que se dirigen a la zona de molienda, en donde por procesos mecánicos se llega a obtener el diámetro promedio requerido.

2.2.8.6. Mezclado.

Luego del molido de algunos insumos, y junto a los demás insumos se pasa a la maquina mezcladora para su combinación homogénea de los insumos sólidos (harinas,

aditivos) y líquidos como son los aceites y otros, combinación por un periodo determinado.

2.2.8.7. Peletizado.

Es el proceso de pre cocción y extrusión en donde la mezcla obtenida del mixer es humedecida para su aglutinación para posteriormente adicionar temperatura establecida para luego pasar por una matriz de orificios de diámetro determinado para el tipo de dieta a obtener, el peletizado contiene las siguientes fases:

a. Pre acondicionado.

A la mezcla de insumos se le aporta agua y temperatura para generar una pre cocción pastosa.

b. Prensado.

La pasta obtenida pasa al proceso de presión producida por los rodillos.

c. Enfriado.

Se basa en reducir la temperatura del producto final a temperatura del ambiente, proceso con el empleo de cilindros giratorios o por el flujo de aire a baja temperatura que ocasiona un impacto de temperatura que baja el porcentaje de humedad que tenía la mezcla.

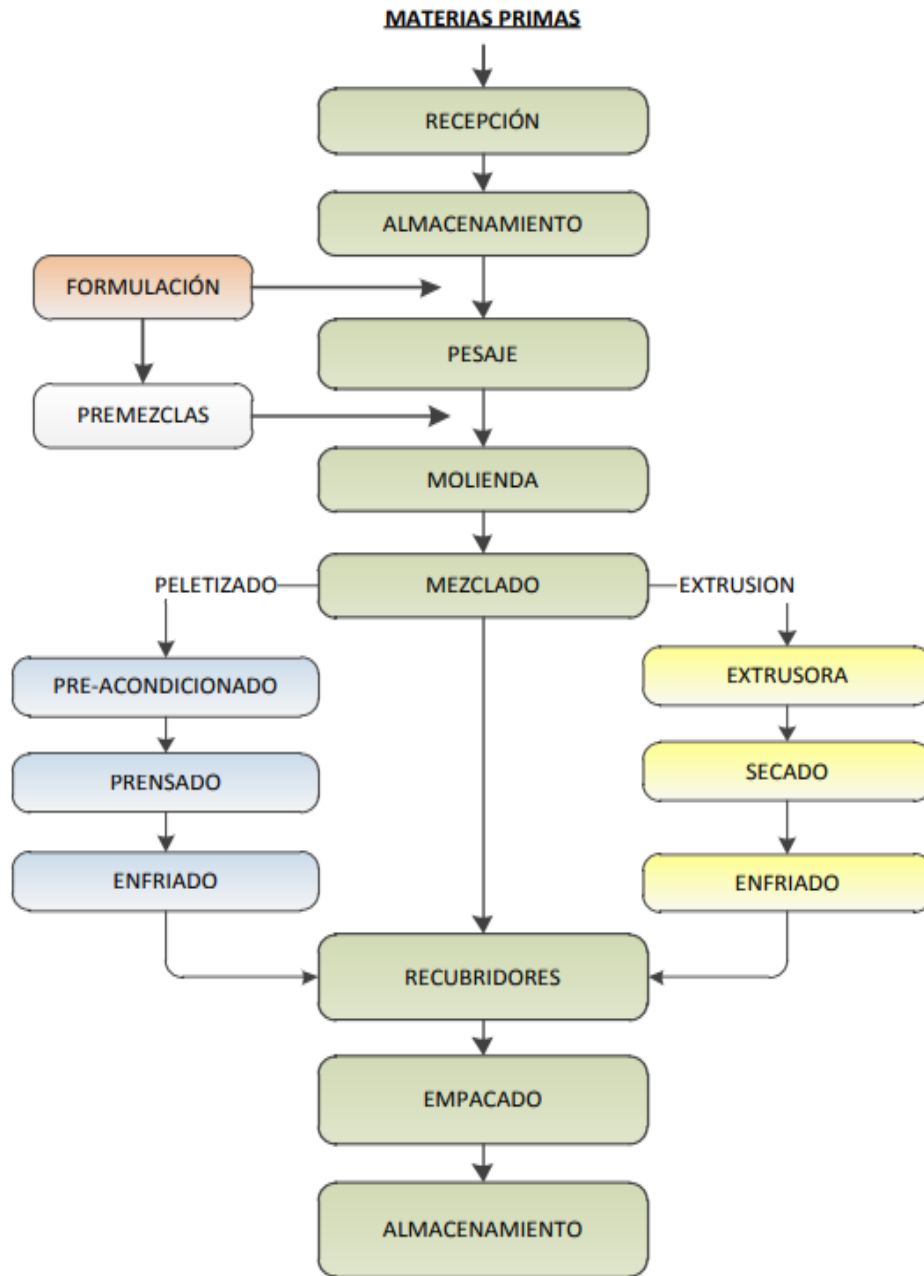
d. Extrusión.

Etapa que contempla la cocción a elevadas temperaturas y presión, por un espacio corto de tiempo. Lo que accede al alimento balanceado a ser digestible, obteniendo un pellet liviano que puede flotar en el agua, se tiene las siguientes fases:

- *Extrusora.* La mezcla luego del tratamiento con vapor de agua, pasa a la extrusora por medio de un proceso de elevación de la temperatura y presión a causa de la fricción, lo que produce una masa visco elástica.
- *Secado.* El producto obtenido por la extrusora es húmedo por lo que es necesario deshidratarlo por medio de un flujo de aire caliente, con el fin de obtener una humedad del producto 7-12%.
- *Enfriado.* Proceso que aplica a reducir la temperatura del pellet de 1° a 3° en relación a la temperatura ambiente.

Figura 1

Flujograma de la elaboración de alimento balanceado.



Nota. La figura muestra el Flujograma de la elaboración de alimento balanceado en el año 2001.

Fuente: Bortone, (2001).

- *Recubrimiento.*

Capa palatable en el producto obtenido, generalmente se adiciona melaza a la mezcla para incrementar la palatabilidad de la dieta.

- *Empacado.*

El producto obtenido es pesado en la balanza, el cual de acuerdo a los requerimientos de dieta y del cliente serán ensacados.

- *Almacenado.*

El almacenaje del producto empacado se hará en lugares ventilados, libres de plagas u organismos que produzcan afecciones a la salud de los animales, cuidando la temperatura, humedad y ventilación. Para luego ser vendidos y distribuidos.

El flujo de procedimiento en la producción de alimento balanceado se muestra en el flujograma de la Figura 1 (Bortone, 2001).

2.2.9. Tipos de Moliendas de Granos para alimentos balanceados.

La molienda de granos es una práctica ancestral y también en la elaboración de alimentos balanceados, en un inicio se utilizaba para moler alimentos para personas, pero más adelante se determinó que la reducción de tamaño de los granos para la alimentación animal generaba mayor asimilación de nutrientes. El autor observó una mejora de la digestión de los animales que consumían nutrientes del grano de sorgo molido a comparación de aquellos que consumían el grano entero a partir de entonces se han ido perfeccionando en diseñar máquinas especializadas al sistema de molido de acuerdo a los requerimientos de cada empresa productora de alimentos para diversas especies animales (Fraps, 1932).

A continuación, desarrollaremos los tipos de molinos conocidos hasta el momento:

2.2.9.1. Molino de Martillos.

Indica que tiene elevado consumo de corriente eléctrica cuando se requiere una molienda fina. Se considera la eficiencia de la molienda entre un 50 y un 85% en donde se toma en cuenta la variedad del contenido introducido es decir la humedad del grano, el desgaste de los martillos y tamices, así como la calidad y tipo de grano que se molera y la cantidad de recambios de los tamices o rejillas (Wondra et al., 1995).

Figura 2

Molino de Martillo para Pequeña Empresa



Nota. La figura muestra el Molino de Martillo para Pequeña Empresa en el año 2013. Fuente: Arroyo, Medina, Franco y Vicaria, (2013).

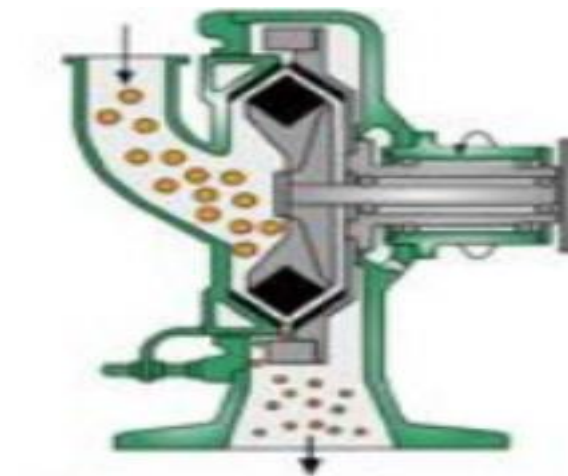
También afirma que es más conveniente moler y obtener un resultado fino en el caso de alimentos para cerdos ya que los beneficios que se obtienen es que los nutrientes son mejores y esto se ve reflejado en que el cerdo gana peso y se da un mejor proceso de lactación.

2.2.9.2. *Molino de Cuchillas.*

Define qué que los molinos de cuchillas son indicados mayormente para moler drogas vegetales: hojas, tallos, cortezas y raíces, el molino posee una cámara de molienda, láminas afiladas que rotan y otras que son fijas. La cantidad de láminas afiladas puede variar y la velocidad de la turbina incide directamente en la producción de partículas finas. El tamaño de partícula que se obtiene de este molino depende de la malla que se encuentra ensamblada en la sección baja del molino. El producto introducido es reducido de tamaño por el aprisionado con las paredes del molino y empujado y atraviesa las aberturas de la malla (Sharapin, 2000).

Figura 3

Modo de Operación Cuchillas



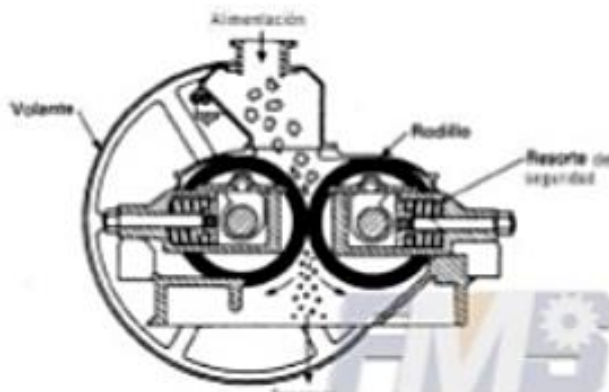
Nota. La figura muestra el Modo de Operación Cuchillas en el año 2013. Fuente: Arroyo, Medina, Franco y Vicaria, (2013).

2.2.9.3. Molinos de Discos.

Al respecto de este molino el autor menciona que son utilizados para moler semillas y extractos secos cuando se necesita adquirir un polvo muy fino; el molino contiene dos discos que giran en sentidos contrarios y el producto se reduce por el impacto contra los discos así mismo el tamaño de la partícula es determinado por el espacio entre los discos y la rotación de los mismos.

Figura 4

Molino de discos lisos



Nota. La figura muestra el Molino de discos lisos en el año 2013. Fuente: Arroyo, Medina, Franco y Vicaria, (2013).

2.2.9.4. Molinos de Bolas:

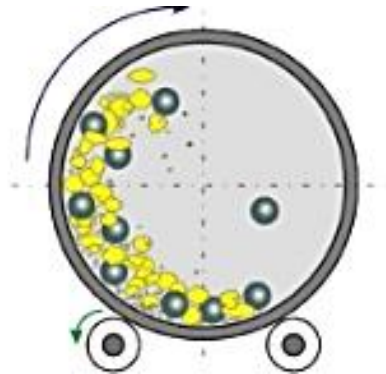
También son empleados en la molienda de productos secos con la diferencia de que estos efectúan la acción de impacto y trituración son como un cilindro de porcelana o de acero en cuyo interior se encuentran varias bolas que giran en torno del eje. El producto se reduce tras el impacto contra las bolas y sobre las paredes del cilindro. Esta molienda por su proceso genera calor y se puede ocasionar la pérdida de elementos

volátiles como son los aceites esenciales ocasionando el taponamiento de los tamices, con el fin de no incidir en perderlos elementos volátiles, entonces los componentes que se van a triturar deben enfriarse con nitrógeno o dióxido de carbono líquido, también se debe considerar el enfriamiento del molino (Ecometales, 2013).

Según (Arroyo, Medina, Franco y Vicaria, 2013) indica que las bolas que se encuentran dentro del cilindro se mueven haciendo un efecto de cascada y de esa manera romper el producto que está en la cámara mediante la fricción y percusión. Por otra parte, existen tres formas para descargar una es por rebalse eso en caso que la molienda sea húmeda, por diafragma y compartimiento estas dos se emplean para una molienda húmeda y a la vez seca.

Figura 5

Molino de Bolas en Movimiento



Nota. La figura muestra el Molino de Bolas en Movimiento en el año 2013. Fuente: Arroyo, Medina, Franco y Vicaria, (2013).

2.2.10. ¿Qué es el Molino de Martillos?

Este tipo de molino es propicio para labores de secado y molienda criogénica, además estos tipos de molino son muy eficientes y están diseñados con el propósito de reducir

el diámetro un producto blando a semiduro mismo que puede estar disponible en varios tamaños (Arroyo, Medina, Franco y Vicaria, 2013).

2.2.10.1. Ventajas y características del Molino de Martillo.

Las ventajas que se tienen por empleo de un molino de martillos son (Balcázar y Guamba, 2009).

- Se obtiene elevada capacidad productiva y elevadas porciones de material triturado.
- El consumo de energía es relativamente bajo.
- Se consigue un tamaño de partícula igualada.
- La estructura del molino es simple y por lo tanto fácil de operar.
- Se realiza una inversión baja.

Según Biswa (1986). Menciona que el molino de martillos tiene las siguientes ventajas:

- Larga duración de los martillos
- Tiene componentes de reposición con precios bajos.
- Se tiene alta variedad y disponibilidad de dimensiones.

2.2.10.2. Modelos y Características Técnicas.

En la Tabla 2 tenemos los modelos y características técnicas del molino de martillos.

a) Tiempos de Molienda.

Según David (2016), indica que el tiempo de molienda está referido a la cantidad de tiempo que permanece un material en la maquina hasta lograr el tamaño del material deseado.

Determinar el tiempo de molienda es sin duda un molino de buen desempeño que permite determinar el nivel de liberación y el tamaño de grano deseado.

b) Motores.

Según Maquinova (2019), indica que si el motor se encuentra con alta velocidad es más eficiente para producir moliendas finas y se permite la reducción del desgaste de la cabina

c) Alimentación.

Según la Industrial Mecánica (2007), indica que el molino de martillo es usado mayormente en industrias alimentarias para triturar soja, trigo, maíz, arroz, harina, pan y cualquier otro alimento seco y de forma sólida.

Según Micron (2013), citado por Arroyo (2013) indica que el insumo puede ser suministrado por:

- Alimentador de tornillo con velocidad regulable
- Por suministro neumático
- Alimentación por gravedad

d) Tipo de Cabina.

Según Maquinova (2019), un molino de martillos debe contar con una cabina lo bastante amplia dado que si esta es pequeña el molino es ineficiente y como consecuencia se produciría el calentamiento del material.

e) Principio de Funcionamiento.

Según Díaz (2010), menciona que el principio o fundamento de funcionamiento de un molino de martillos es a simple vista simple ya que para todos los modelos es la trituración, sin embargo, hay muchos detalles de tipo técnico que deben ser tomados

en cuenta en el momento de la fabricación y selección del equipo para determinada aplicación. En el mercado se habla de molino de martillos pre-molienda y post-molienda.

A pesar de que el principio es el mismo existen diferencias en:

- El tipo de granulometría o tamaño de la partícula final molida
- Conformación y diseño de las placas de impacto internas de la cámara el cual influye en el tamaño de la partícula
- El orificio de la criba o malla a utilizar influye en la capacidad de producción del molino y tipo de perforación.
- El producto que se ingresa en el molino interfiere en las medidas y por la naturaleza del material se debe considerar la humedad, si es un contenido graso, si es fibra entre otras cosas que derivaran del material o producto ingresado.

El patrón para arreglar los martillos influye en el producto final por eso se debe velar por:

El rotor debe estar correctamente balanceado y libre de agitaciones.

La velocidad de giro del motor principal adecuado que influirá en el tipo de molienda deseada.

Los sistemas de asistencia neumática que se utilizaran dependiendo de la aplicación que tendrá el molino de martillos.

Tabla 2*Molino de Martillos*

Modelos y Características Técnicas de Molino de Martillos					
Modelo	Motor H.P.	Cámara de Molienda a x b (mm)	Número de Martillos	Producción (kg/hr)	Peso Estimado (kg)
MMQ 06	3/5	150(6") x250	16	50/300	70
MMQ 10	7.5/10	250(10") x400	24	300/500	150
MMQ 16	10/15	400(16") x600	32	500/1000	200
MMQ 20	15/20	500(20") x750	50	1000/2000	250
MMQ 24	20/25	600(24") x900	72	2000/3000	300
MMQ 40	30/40	1000(40") x1500	120	4000/5000	500

Nota: Datos tomados de Maquinova, 2019

2.2.10.3. Principio de Funcionamiento del molino de martillos.

Según Díaz (2010), menciona que el principio o fundamento de funcionamiento de un molino de martillos es a simple vista simple ya que para todos los modelos es la trituración, sin embargo, hay muchos detalles de tipo técnico que deben ser tomados en cuenta en el momento de la fabricación y selección del equipo para determinada aplicación. En el mercado se habla de molino de martillos pre-molienda y post-molienda.

A pesar de que el principio es el mismo existen diferencias en:

- El tipo de granulometría o tamaño de la partícula final molida
- La conformación y diseño de las placas de impacto internas de la cámara el cual influye en el tamaño de la partícula

- El orificio de la criba o malla a utilizar influye en la capacidad de producción del molino y tipo de perforación.
- El producto que se ingresa en el molino interfiere en las medidas y por la naturaleza del material se debe considerar la humedad, si es un contenido graso, si es fibra entre otras cosas que derivaran del material o producto ingresado.

El patrón para arreglar los martillos influye en el producto final por eso se debe velar por:

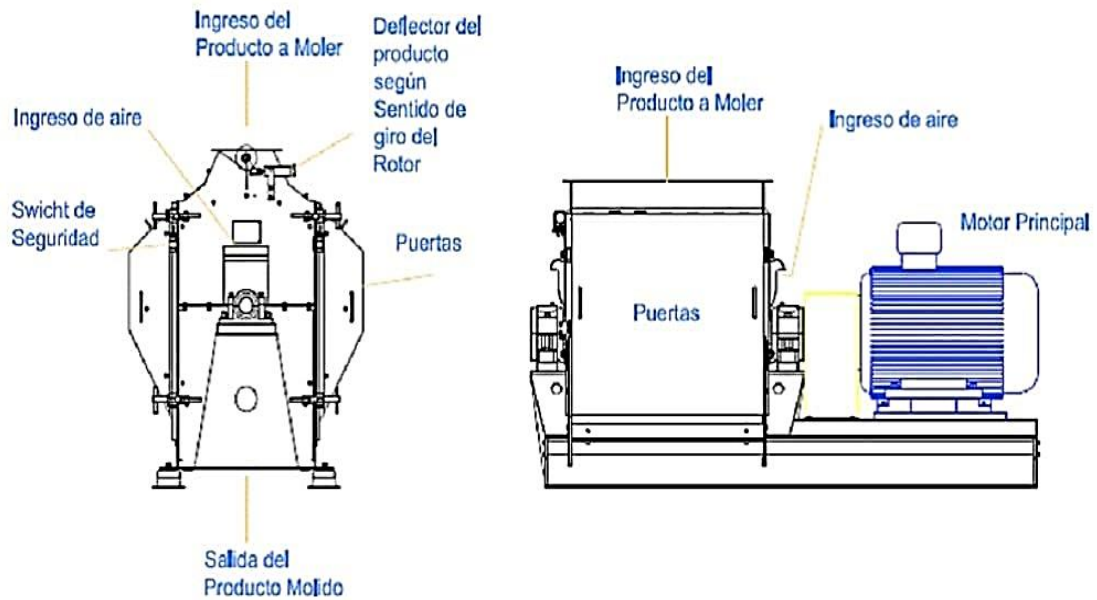
- El rotor debe estar correctamente balanceado y libre de agitaciones.
- La velocidad de giro del motor principal adecuado que influirá en el tipo de molienda deseada.
- Los sistemas de asistencia neumática que se utilizaran dependiendo de la aplicación que tendrá el molino de martillos.

2.2.10.4. Diseño.

Según Flórez et al. (2014), menciona acerca del molino de martillos el cual actúa como una incidencia de choque en el grano con la finalidad de desintegrar el material. El molino de martillos tiene un habitáculo de desintegración, acceso de descarga delimitada por una rejilla. En la parte interna del habitáculo se tiene un eje el cual gira con velocidad y de forma perpendicular donde se encuentran los martillos que centrifugan al girar.

Figura 6

Diseño del Molino a Martillo

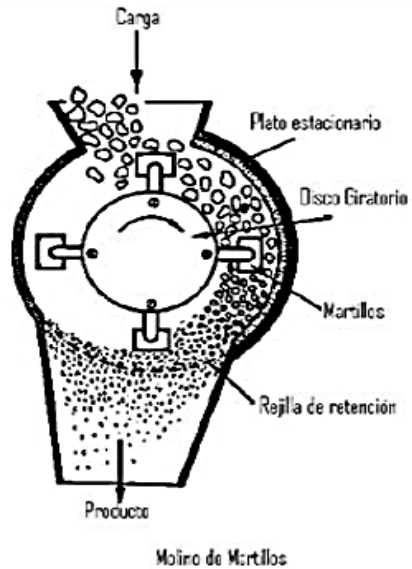


Nota. La figura muestra el Diseño del Molino a Martillo en el año 2010. Fuente: Diaz. (2010).

En su diseño el martillo tiene una separación de 2,5 a 7,5 cm y la velocidad a la que giran varía entre 2500 a 4000 rpm, Un tamiz por donde traspasa el material molido estará debajo de los martillos. El insumo que se tritura debe estar en la cámara de molido hasta que se encuentre lo necesariamente reducido para el flujo por los agujeros de la criba o rejilla (Hall y Salas, 1968).

Figura 7

Molino de Martillo Tipo de Funcionamiento



Nota. La figura muestra el Molino de Martillo Tipo de Funcionamiento en el año 2010. Fuente: García (2010).

2.2.11. Molino de disco.

2.2.11.1. Definición.

El molino de discos o fricción es un semejante actual comparado a los molinos de piedra. En donde las piedras son remplazadas por discos acerados en donde se incorporan planchas de molido que son reemplazables de naturaleza metálicas o abrasivas, las que giran a grandes velocidades, lo que cumplen varios modos de aplicaciones.

El molino de discos se conforma por dos discos, de extremos lisos o dentados, los cuales se encuentran en disposición de enfrentados y giran en direcciones opuestas a gran velocidad; el insumo en molienda baja por gravedad entre los dos discos. EL

tipo de molino descrito se innovó dando como resultado los actuales molinos de rodillos (Arroyo et al., 2013).

El molino de discos es historia en cuanto al rudimentario molino de discos, empleado generalmente para la molienda de harina.

En donde se posicionan encima de un eje dos piedras circulares. La superior, que frecuentemente inmóvil, se provee de una boca de ingreso del producto a moler. La inferior gira. El producto a moler circula entre la zona separada entre las dos piedras (Uribe, 2014).

2.2.11.2. Ventajas de molino de disco comparado al molino de martillos.

- Su labor accede a producir partículas secas o húmedas de menor tamaño.
- La forma de aprovisionamiento es simple, al cual se puede adicionar agua que aporte a una mejor molienda.
- Tiene la facilidad de operación y mantenimiento.

2.2.11.3. Modelos y Características Técnicas del Molino de Discos.

a. Modelo de Disco Vibratorios RS 200.

El molino de discos vibratorios RS 200 es aplicado en reducción de partículas en grados de alta finura y con rapidez, con recirculación y no deja que se pierdan granos semiduros, duros, frágiles y fibrosos, produciendo granos molidos de grado analítico. Al poseer un motor de base equilibrada, hace que el desempeño del mismo, sea suave y seguro, incluso con la provisión de granos pesados y a elevadas velocidades.

El RS 200 contempla una estructura robusta, lo que le permite ser incluso eficiente con el molido de partículas en el área de construcción (cemento), en las especialidades de geología, mineralogía, metalurgia y centrales térmicas.

- Ventajas:
 - Obtiene productos que pueden ser calcados debido a la disposición de motor de plano equilibrado.
 - Posee velocidad regulable de 700 a 1.500 rpm
 - La molienda se desarrolla en tiempos breves.
 - Detección de ágata y carburo de tungsteno
 - Posee memoria de trabajo para diez procesos SOP
 - Tiene una gama de selector de materiales.
 - La zona de molido es hermética e insonorizada
 - Bandejas de molienda con aperturas y cierres inmediatos.
 - Accionamiento de operación versátil y de pulsación de un solo botón, con pantalla gráfica de color.
 - Contempla un diseño ergonómico: Cuenta con un canal deslizante de posicionamiento de los posibles juegos de molienda.
- Principio de Funcionamiento.

El molino de discos vibratorios reduce el insumo a moler por acciones de impacto y frotamiento. El juego de molienda se posiciona fijamente de forma segura en el plato

vibratorio por medio de una ganzúa a presión neumática. El modo de encendido del cardán le aporta un movimiento tridimensional.

Las herramientas de molienda en el interior del contenedor inciden en un efecto extremo de presión, impacto y fricción en el material en molienda. Las vibraciones son producidas por un motor trifásico de 2,2 kW y frecuencia controlada.

- Características Técnicas

Tabla 3

Molino de discos Vibratorios RS 200

Usos	Reducción de diámetro, mezcla, trituración
Áreas de uso	Geología / metalurgia, materiales de construcción, medio ambiente / reciclaje, vidrio / cerámica
Tipo de material	semiduro, duro, frágil, fibroso
Modos de molido	A presión y por fricción
Granulometría inicial*	< 15 mm
Granulometría final*	< 20 μ m
Carga / cant. material alimentado*	15- 250 ml, de acuerdo al porte del juego de molienda
Velocidad a 50 Hz (60 Hz)	700 - 1,500 min^{-1} , de ajuste continuo
Material de los componentes del molino	Acero templado, carburo de tungsteno, ágata, óxido de circonio, acero 1.1740 (para molienda libre de metales pesados)
Vol. rptes. de molienda	50 ml / 100 ml / 250 ml
Tiempo de molido	digital, 00:01 to 99:59
Rutinas SOP	10
Motor	motor asíncrono trifásico con convertidor de frecuencia
Potencia del motor	1.5 kW
Conexión eléctrica	voltajes diferentes
Alimentación de red	monofásica
Tipo de protección	IP 40
A x H x F cerrado	836 x 1220 x 780 mm
Peso neto	~ 210 kg (sin elementos de molienda)

Nota: Datos tomados de Retsch, 2021

b. Molino de Discos Vibratorios RS 300.

Molino de discos vibratorios hecho para realizar moliendas ultrafinas rápida en materiales semiduros, frágiles y fibrosos, con producción de partículas de dimensiones finales de grado analítico. En este molino es posible moler cuatro muestras a la vez. El molino funciona sin inconvenientes con contenedores de molienda de hasta 30 kg.

Al igual que el modelo más pequeño RS 200, el RS 300 es robusto y eficaz, molinos empleados en las ramas de la geología, mineralogía y metalurgia, ingeniería civil. Este tipo de molinos de RETSCH pueden moler hasta obtener partículas ultrafinas en periodos breves, siendo mayormente aplicados en muestras para el análisis espectral.

- *Ventajas*

- Resultados reproducibles y muestras homogéneas gracias al accionamiento cardán (movimiento en 3D)
- Velocidad: 912 min⁻¹
- Reducidos periodos de molido.
- Función de inversión del sentido de giro
- Tiempos de molido programables
- Molienda libre de contaminantes debido a los buenos materiales.
- Contenedores en volúmenes de 100 ml a 2.000 ml
- Habitáculo de molido hermético y sin sonido
- Nuevo cierre rápido (neumático) con facilidad y seguro en los contenedores de molido.

- Más seguridad: El molino funciona siempre y cuando se llega a la presión de labor idónea.
- Provee un elevador automático opcional, que extraiga productos de molido pesados.
- *Principio de Funcionamiento*

El molino de discos vibratorios reduce el material por efectos de impacto y fricción. El sistema de molido se asegura de forma segura ejercida al plato vibratorio por medio de un gancho a presión neumático. El funcionamiento del cardán le aporta movilidad tridimensional.

Las herramientas de molido en el contenedor aportan un efecto alto de presión, impacto y fricción sobre el producto a moler. Las vibraciones son producidas por un motor trifásico de 2,2 kW y frecuencia controlada.

- Características Técnicas.

Tabla 4

Características del Molino de Discos RS300

Usos	Reducción de tamaño, mezcla, trituration
Campos de aplicación	Geología / metalurgia, materiales de construcción, medio ambiente / reciclaje, vidrio / cerámica
Componentes del material	Semiduro, duro, frágil, fibroso
Proceso de molienda	Presión, fricción
Granulometría inicial*	< 20 mm
Granulometría final*	< 20 µm
Carga / cant. material alimentado*	35 - 2,000 ml
Velocidad a 50 Hz (60 Hz)	912 min ⁻¹
Material de los componentes de molienda	Chrome steel, acero templado, carburo de tungsteno, óxido de circonio, acero 1.1740 (para molienda libre de metales pesados)
Vol. rcptes. de molienda	100 ml / 800 ml / 1,000 ml / 2,000 ml
Tiempos de molienda	Digital, 00:00 to 59:59
Motor	Motor trifásico
Potencia motriz	2.2 kW
Conexión eléctrica	Voltajes diferentes
Alimentación de red	Trifásica
Tipo de protección	IP 40
A x H x F cerrado	1150 x 1400 x 810 mm
Peso neto	~ 415 kg (sin juego de molienda)
Normas	CE

Nota:

Datos tomados de Retsch, 2021

c. Molino de Discos DM 200.

Este molino de disco, se emplea también en laboratorios de ensayo y plantas piloto en condiciones exigentes de molienda, del mismo modo se utiliza en plantas industriales en línea que aportan a asegurar la calidad de los insumos proveídos.

- *Ventajas*

- Elevado nivel de molienda.
- Control de precisión de la abertura de salida, lo que avala los productos obtenidos reproducibles.
- Accesos posibles a la cámara de trituración que hace fácil su limpieza
- Los discos de trituración son de material durable.
- Extensa gama de materiales que aportan a preparar muestras para diversidad de análisis.
- Contempla conectores para aspiradora.
- Funciona también en tándem con la moledora de mandíbulas BB 200

- *Características técnicas*

Tabla 5

Modelo de molino de Discos DM 200

Usos	Trituración previa y fina
Ramas de uso	Geología / metalurgia, ingeniería / electrónica, materiales de construcción, química / plásticos, vidrio / cerámica.
Tipo de material	Semiduro, duro, frágil
Principio de molienda	Presión, fricción
Granulometría inicial*	< 20 mm
Granulometría final*	< 100 µm
Velocidad a 50 Hz (60 Hz)	440 min ⁻¹ (528 min ⁻¹)
Material de las herramientas de molienda	Óxido de circonio, acero templado, carburo de tungsteno, acero al manganeso
Ajuste abertura de salida	Continuo, 0.1 - 5 mm
Recipiente colector	2.5 l
Motor	Motor trifásico de transmisión
Potencia motriz	1.5 kW
Conexión eléctrica	Voltajes diferentes
Alimentación de red	Trifásica
Tipo de protección	IP 55
A x H x F cerrado	440 x 400 x 870 mm
Peso neto	~ 140 kg
Normas	CE

Nota: Datos tomados de Retsch, 2021

- *Principio de Funcionamiento.*

El insumo es suministrado por la tolva a la cámara de molienda hermética bajando por gravedad entre los dos discos de trituración vertical. Tiene un disco giratorio y otro fijo que ambos muelen el insumo. La molienda requerida se produce por el nivel de presión y fricción que se ejerza al insumo. El posicionamiento progresivo dentado proporciona el molido gradual, en donde el insumo es primero fraccionado, seguidamente

desplazado por la fuerza centrífuga a las zonas del perímetro de los discos, contemplando una molienda fina. El material triturado baja por gravedad por la abertura hacia el contenedor colector. La equidistancia de los discos es ajustable de manera continua. Una escala permite ajustarla durante la operación entre 0,1 y 5 mm. El control puede realizarse a través de una ventanilla adicional.

d. Molino de Discos DM 400.

Es un modelo nuevo con buen confort en la molienda fina de productos semiduros, duros y débiles, llegando a trituraciones de 0,05 mm.

Este molino se basa en la probada DM 200 con aportes de mejoramientos seguros, como son el bloqueo automático del contenedor de acopio y la cámara de trituración y proceso adecuado con regulaciones simples del motor, así como la abertura de la salida vista por medio de pantalla digital. Al igual que los otros molinos similares es de contextura robusta, el molino también es utilizado en laboratorios y plantas piloto, y con exigentes labores de proceso en línea, garantizando la calidad de los insumos. El molino solo necesita poco tiempo para el procesamiento y obtención del tamaño de partícula requerida.

- *Ventaja.*
 - Alto grado de trituración.
 - Ajuste preciso de la abertura de salida en pasos de 0,05 mm - con pantalla digital.
 - Pantalla TFT con imponente teclado digital.
 - Contenedor plástico grande desarmable con paredes lisas con fines de alimentación fluida y de aseo eficiente y rápido.

- Posee calibradores del punto cero para reducir el desgaste de los discos de trituración.
- Sellado adicional de la cámara de molienda por una junta de laberinto.
- Fácil cambio de los discos de molienda.
- Versión opcional con recubrimiento interior de polímero.
- *Bases de operación.*

El producto a moler es provisionado por el contenedor hacia la cámara de trituración hermética bajando por gravedad entre los dos discos de molienda posicionados de forma vertical. Siendo un disco giratorio y el otro inmóvil. El grado de molienda requerida se da por acciones de presión y fricción. Los dientes de los discos tienen configuración progresiva para el partido inicial de los insumos y posteriormente el molido fino sea primero partido y luego empujado por la fuerza centrífuga hacia el área perimetral de los discos, donde se realiza la trituración fina. El producto molido desciende al colector por medio de una abertura. Los distanciamientos entre los discos son regulables.

- *Características técnicas.*

Las características técnicas se detallan en la Tabla 6.

Tabla 6

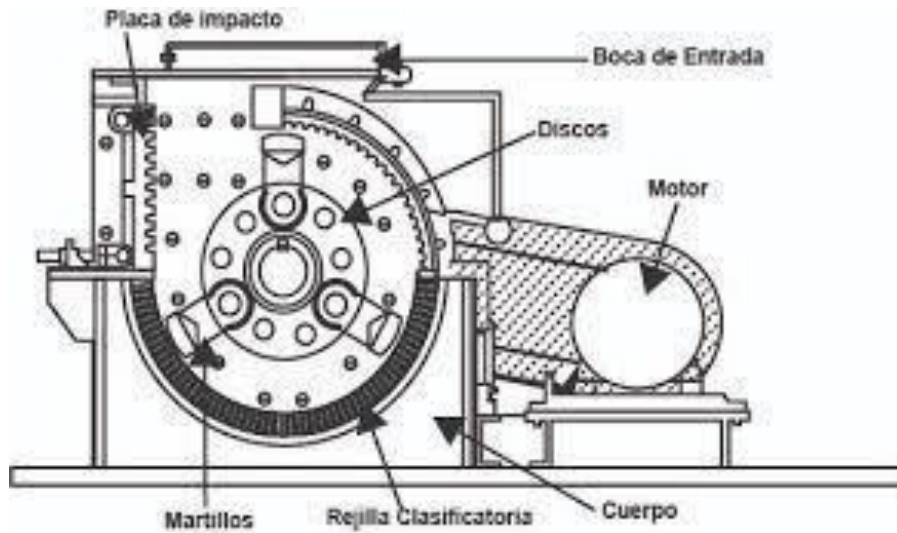
Molino de Discos DM400

Usos	Molienda preliminar y fina
Ámbitos de uso	Geología / metalurgia, ingeniería / electrónica, materiales de construcción, química / plásticos, vidrio / cerámica
Tipo de material	Semiduro, duro, frágil
Principio de molienda	Presión, fricción
Granulometría inicial*	< 20 mm
Granulometría final*	< 50 µm
Velocidad a 50 Hz (60 Hz)	440 min ⁻¹ (528 min ⁻¹)
Material de las herramientas de molienda	Óxido de circonio, acero templado, carburo de tungsteno, acero al manganeso
Ajuste abertura de salida	0.05 - 12 mm
Recipiente colector	2.5 l
Motor	Motor trifásico de transmisión
Potencia motriz	1.8 kW
Conexión eléctrica	Voltajes diferentes
Alimentación de red	Trifásica
Tipo de protección	IP 55
A x H x F cerrado	520 x 630 x 1050 mm
Peso neto	~ 240 kg
Normas	CE

Nota: Datos tomados de Retsch, 2021

Figura 8

Información Técnica Del Molino De Discos.



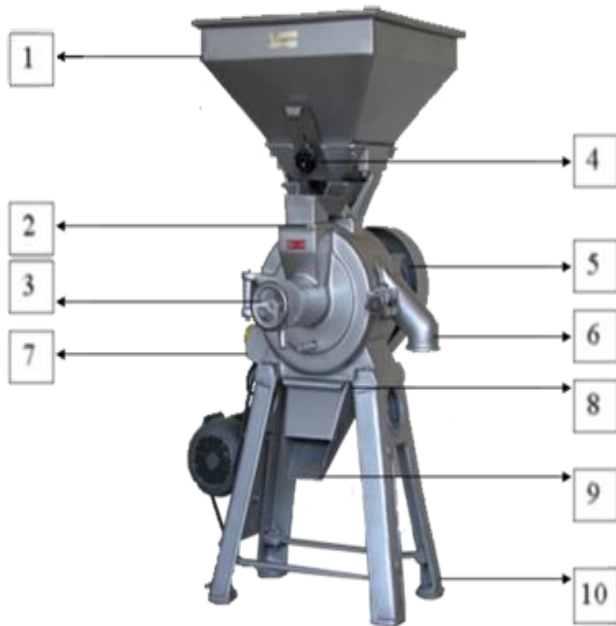
Nota. La figura muestra la Información Técnica Del Molino De Discos en el año 2013. Fuente: Arroyo, Medina, Franco y Vicaria (2013).

Diseño de molino de disco vertical

1. Tolva.
2. Frontal.
3. Manivela de rueda.
4. Válvula de carga.
5. Válvula de salida.
6. Derivación del molino.
7. El interruptor start (bakelite).
8. Válvula de descarga.
9. Boca de descarga.
10. Patas de soporte del Molino

Figura 9

Partes del Molino de Disco vertical



Nota. La figura muestra las Partes del Molino de Disco vertical en el año 2010. Fuente: Diaz (2010).

2.2.12. Procesos.

Tiene como concepto a la sucesión repetitiva de procesos que ejercen personas o equipos, con el fin de culminar en un producto destinatario por medio de que se emplean o que hacen cargo.

También se podría, decir que, son un grupo de fases que se desarrollan para transformar insumos en productos.

Figura 10

Procesos



2.2.12.1. Mejora del proceso.

Las metas que se consiguen con el estudio de un proceso son:

- Conocer el proceso
- Identificar las alteraciones del proceso
- Diagnosticar las causas que originan la alteración del proceso
- Planear la mejora del proceso

Con el fin de desarrollar mejoras en un procedimiento se debe:

- Precisar el modo de ejecución de la molienda.
- Delimitar los lineamientos para el desarrollo del proceso.
- Constatar que los procedimientos fueron ejecutados de acuerdo a lo previsto (de acuerdo a los lineamientos).
- Avalar que el siguiente proceso similar se ejecute conforme a los lineamientos.

2.2.12.2. Control del proceso.

Según López (2008) el control de proceso se basa principalmente en estimar las propiedades y calidad de un producto. La adquisición debe contemplar las especificaciones o requerimientos, en caso de existir divergencias, se ejecuta las acciones correctivas o alternativas de solución. El control de los procedimientos nos

aporta a desarrollar las estimaciones, evaluaciones y acceder a decisiones oportunas para un proceso idóneo. El control de procesos se puede ejecutar en dos panoramas: e primero en la fase de recepción de materiales o insumos y segundo en el proceso de fabricación de los productos.

2.2.13. Factores a considerar para un sistema de molienda.

Los factores que podrían servir para elegir de manera adecuada el molino que se utilizara para moler un alimento son (Menacho, 1988):

- Características del material. En cuanto al tamaño inicial del producto, parámetros de humedad, dureza y sensibilidad a la temperatura.
- Dimensión de la partícula. Para ello considerar trabajos previos de los nutricionistas, así como casos sucedidos en la práctica y en estudios científicos realizados.
- Alimentación. Tipo de alimentador respecto al componente que provea la flexibilidad de cambiar el insumo sin alteraciones del procesado.
- Capacidad de la molienda. Para este rubro se toma en cuenta la densidad, dureza y friabilidad del grano, del mismo modo considerar los requerimientos y la demanda proyectada para determinar la adquisición de más equipos.
- Área y espacio. Tomar en cuenta las dimensiones requeridas en cuanto a espacio para colocar los molinos considerando las medidas de seguridad, supervisión, aseo, mantenimiento y ergonomía.
- Operación. Los requerimientos de necesidad de electricidad, así como determinar cuánto personal calificado se requiere y determinar los puertos de muestreo durante el proceso.

- Seguridad. Hacerse responsable en las instalaciones de sensores que permitan el seguimiento y control del proceso, y tomar conciencia de la responsabilidad sobre la entereza de los trabajadores y maquinaria.
- Mantenimiento. Considerar la selección de equipos de mantenimiento de operación sencilla para poder presupuestar las refacciones necesarias y también considerar desde un principio la evaluación de la vida útil del equipo.
- Equipos auxiliares. Elegir adecuadamente componentes del molino como son: imanes, circuito de aire, elementos de transporte, ascensores, elementos de dirección, entre otros.
- Control y automatización. Hallar el nivel de operaciones automáticas y manuales. En donde la medición eficiente de cada uno de los procesos aportará a obtener mayor producción con menores mermas.

2.3. Definición de términos

Según la Asociación de Oficiales de Control de Alimentos de EE. UU (AAFCO, en inglés). nos dan las siguientes definiciones (AAFCO, 2000):

2.3.1. Alimentos medicados.

Comestible que tiene en su composición insumos medicinales, generado para asistir a sanar, aliviar dolencias inmediatas y de aportar en los tratamientos o prevención de enfermedades animales (no humanas), así como la intervención de aporte en la estructura o fisiología corporal.

2.3.2. Aditivo alimentario.

Insumos o mezcla adicionada a la mezcla madre del comestible con el fin de complacer un requerimiento específico. Generalmente se emplea en pequeños volúmenes, el cual necesita un buen mezclado y movimiento de cuidado.

2.3.3. Pre mezclas.

Mezcla homogénea de uno o varios ingredientes con el aporte de un soluto y/o un vehículo. Las premezclas se emplean para acceder la dispersión uniforme de los micro nutrientes en una mezcla de volúmenes grandes.

2.3.4. Suplemento.

Combinación de alimentos empleados para incrementar el balance nutricional, el cual se basa en:

- Empleo sin dilución, como suplemento de otro comestible;
- Ofertarlo individualmente conformante de la dieta aportante.
- Diluirlo y combinarlo con otros elementos y producir un alimento completo.

2.3.5. Alimentos compuestos.

Es la combinación de insumos vegetales o animales en estado natural (frescos o conservados), así como alimentos derivados producto de procesos agroindustrial, sustancias orgánicas o inorgánicas, presenten o no aditivos, los que van a conformar un alimento completo para provisión oral.

2.3.6. Alimentos compuestos completos.

Son alimentos que acuden a tener una nutrición óptima en animales. Alimento de formulación focalizada, el cual es consumido como única fuente de alimento y asiste a

mantener con vida al animal y asistir a la producción sin el acompañamiento asistido, pero si es necesario el suministro de agua.

2.3.7. Alimentos concentrados.

Alimento compuesto por varios insumos orgánicos e inorgánicos, siendo su propósito mantener y evolucionar el balance nutricional del concentrado, el cual para su ingesta es diluido y homogenizado con el fin de proveer un suplemento o un alimento completo.

2.3.8. Ración.

Es la cantidad de alimentos proporcionado en el lapso de un día.

2.3.9. Micro ingredientes.

Vitaminas, minerales, medicamentos, así como otros insumos en reducidas cantidades, los cuales se dosifican en miligramos, microgramos o partes por millón (ppm).

2.3.10. Alimentos zootécnicos.

La zootecnia es la especialidad que se encarga del mejoramiento de las condiciones de crianza y alimentación animal mejorando permanentemente los métodos de reproducción, higiene y alimentación, ajustando la disponibilidad de alimentos componentes y recursos económicos para hacerlo sostenible. Por lo que la alimentación zootécnica es la mezcla de alimentos de origen orgánico e inorgánico producidos para una óptima nutrición animal.

2.3.11. Alimentos simples o materia prima.

Son todos aquellos insumos alimenticios que son asistidos con procesos de transformación o manufactura física y/o química, para que luego puedan ser expendidos como productos terminados. Materiales que lo componen:

- Insumos adicionados de bases físicas o químicas al producto alimenticio producido.
- Insumos consumidos al producirse el alimento, sin ser parte del mismo, los cuales se denominan: materia prima directa e indirecta.

2.3.12. Alimentos simples de origen vegetal.

Según Casanueva et al., (2008), mencionan que **son** todos aquellos que crecen directamente de la tierra, como, por ejemplo: verduras de raíces tales como la zanahoria, jícama, rábano, o verduras de tallos como el apio, nopales, romerito, de hojas dentro de las cuales podemos mencionar la acelga, berros, las verduras de flores como la calabaza, alcachofa, coliflor, brócoli, etc. otras legumbres y cereales.

2.3.13. Alimentos simples de origen animal.

Por otra parte, los autores se refieren a que estos son los alimentos que comprenden a toda especie de ganado, ya sea ovino porcino, caprino o bovino, al igual que, las aves de corral y los mariscos y las distintas especies de pescados, con su contenido de hierro y otros nutrientes cuya participación en la combinación con alimentos de origen vegetal hace que la dieta sea equilibrada y completa.

2.3.14. Vehículo.

Según AEFA (2007). Menciona que es la sustancia que se usa para combinar y dispersar los nutrientes con la finalidad de que los animales lo recepcionen, son seguros y hacen posible que el alimento se mezcle de manera uniforme.

2.3.15. Nutriente.

Según la FAO (2013). Nos dice que un nutriente, es un componente químico que se encuentra en los alimentos que se necesitan para el desempeño y desarrollo normal del individuo, los seis principales tipos de nutrientes son: proteínas, carbohidratos, grasas, minerales, vitaminas y agua.

2.3.16. Vitaminas.

Según la FAO (2013). las vitaminas son elementos de tipo orgánico que se encuentran en mínimas cantidades en los alimentos, pero con funciones importantes en el metabolismo. Tienen comportamientos funcionales agrupado debido a que son elementos esenciales en la dieta alimenticia de los animales, y ya que su ausencia se relaciona con la presencia de enfermedades.

2.3.17. Micro elementos.

Según la Asociación Española de Fabricantes de Agro nutrientes (AEFA) en el año 2017 nos dan la siguiente definición: Se les llama indiferentemente como micro elementos, micronutrientes u oligoelementos. Son componentes nutricionales que, por ser indispensables, son empleados por los vegetales en concentraciones medianamente bajas o muy reducidas.

2.3.18. Alimentos granulados.

Según el (Church y Pond, 1990). Menciona que se refiere a productos y preparaciones para la cría de peces, pájaros, reptiles, anfibios y pequeños animales que se crían en el seno de las familias, particularmente de animales decorativos, el alimento es presentado en forma de copos extrusionados en diferentes formas como pastillas, grano, piensos

naturales secados y liofilizados que contiene componentes fundamentales nutritivos para estos animales.

2.3.19. Consumidor.

Según la FAO (2013). Es todo ser humano o entidad que consume bienes, así como contratar servicios, por medio de un pago monetario equivalente al servicio o bien, con el fin de satisfacer necesidades individuales o colectivas.

2.3.20. Costo de producción.

Según la FAO (2013). los costos de producción p denominados actualmente costos de operación, son todos aquellos gastos derivados de sostener un producto en producción en línea. El costo de producción está compuesto por dos características la primera que para producir un bien se debe gastar esto se entendería como el momento de generar costos y la segunda respecto a los costos que deben mantenerse tan bajos como se pueda y eliminar los que sean innecesarios esto se entiende como la eliminación de costos indiscriminadamente.

2.3.21. Demanda.

Según Arroyo et al., (1990), mencionan que el término demanda está referida a la cantidad de un producto que el consumidor está en la disponibilidad de comprar a un precio en el mercado. Asimismo, conceptualiza a la demanda el costo total que se define como la oportunidad de compra por parte de un grupo de personas.

2.3.22. Molino de martillos.

Maquinaria que consta de varios martillos de acero, estos martillos están ensamblados encima de un eje que gira en torno de un soporte a una determinada velocidad. Los

martillos son rígidos y la finalidad es que golpeen el material introducido y reduzcan su tamaño al grado que este pueda escapar por las rejillas. Asimismo, menciona que se pueden hacer variaciones en la velocidad rotativa del martillo y el diámetro de apertura de la rejilla para obtener la molienda deseada (Biswa, 1986).

Máquina empleada para triturar, moler, pulverizar alimentos, su mecanismo funciona mediante golpes de martillo para destruir y desintegrar el alimento o material introducido (Gil, 2019).

Según Micrón, menciona que este tipo de molino es propicio para el secado y molienda criogénica, además estos tipos de molino son muy eficientes y están diseñados con el propósito de minimizar el tamaño de un producto blando a semi duro mismo que puede estar disponible en varios tamaños (Arroyo et al., 2013).

Este molino es empleado en la industria de alimentos. El molino funciona como un eje que rota con gran rapidez llevando consigo un collar con secuencia de martillos insertos en su periferia. Cuando el eje gira las cabezas de los martillos siguen una trayectoria inercial de movimiento dentro de una armadura, contiguamente tiene un disco de ruptura endurecido, cuya dimensión es igual al área de desplazamiento de los martillos. Los elementos o insumos que inician el proceso circulan a la zona de molienda, impactando los martillos al producto a moler contra los discos de ruptura. Entonces se obtiene la fragmentación de las partículas, esencialmente por las fuerzas de impacto. Además, indican que los molinos de martillos son de utilidad general, por tener la capacidad de triturar partículas sólidas, cristales duros, partículas fibrosas, productos vegetales, gomosos, entre otros. Se emplea ampliamente en la agroindustria

en molienda de condimentos, especias, leche en polvo, entre otros (Perry y Green, 2001).

El molino de martillos, es empleado para labores de quebrado de granos y trituración de varios productos, sus beneficios son de que puede moler diversos tipos de materiales, moliendo y dando como resultante diversas partículas con distintos tamaños, con solamente variar el tamaño de la zaranda de salida (Bermeo, 2019).

El molino de tipo martillo funciona por acción del impacto o percusión, donde un eje rotatorio gira a gran velocidad, lleva un collar con varios martillos en su contorno. se usa principalmente en la industria alimenticia para moler materiales (Rueda y Sánchez, 2015).

2.3.23. Molienda.

La palabra molido se ha convertido en un sentido normal, el cual hace referencia a la pulverización y a la disgregación de materiales sólidos (Guzmán y Rabanal, 2006).

Particularmente, la disgregación se enfoca a la disminución del diámetro de los insumos.

Como otra definición de molienda, es un proceso de aminorar el diámetro de rocas y minerales de manera homogénea, y este proceso es parecido a la trituración. Los productos resultantes de la molienda son finos de conformación más definidas regular que los obtienen de la trituración. Habitualmente nos referimos a la molienda cuando se obtienen partículas con diámetros menores a una pulgada contemplando el nivel de desintegración superior a las actividades de trituración (Arroyo, Medina y Vicaría, 2013).

2.3.24 Tiempos de Molienda.

Los tiempos de molienda indica que el tiempo de molienda está referido a la cantidad de tiempo que permanece un material en la maquina hasta lograr el tamaño del material deseado (David, 2016).

Determinar el tiempo de molienda es sin duda un parámetro bueno que permite determinar el nivel de liberación y con diámetros de granos requeridos.

2.3.25. Motores

Según Maquinova (2019), indica que si el motor se encuentra con alta velocidad es más eficiente para producir moliendas finas y se permite la reducción del desgaste de la cabina.

2.3.26. Alimentación

La alimentación indica que el molino de martillo es usado mayormente en industrias alimentarias para triturar soja, trigo, maíz, arroz, harina, pan y cualquier otro alimento seco y de forma sólida (Industrial Mecánica, 2007).

Según Micron (2013), citado por (Arroyo et al., 2013) indica que la máquina puede abastecerse por medio de:

- El alimentador de tornillo de velocidad regulable.
- Por abastecimiento neumático.
- Por abastecimiento por gravedad

2.3.27. Tipo de Cabina

Según Maquinova (2019), un molino de martillos debe contar con una cabina lo bastante amplia dado que si esta es pequeña el molino es ineficiente y como consecuencia se produciría el calentamiento del material.

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1. Tipo de la investigación

Es una investigación cuantitativa en donde se pretende de modo intencionado aproximar la información midiendo con precisión las variables en estudio, en donde se hace el análisis de la realidad objetiva desde las estimaciones numéricas y análisis estadístico para hallar predicciones o patrones de comportamiento del problema planteado (Gil y Espinosa, 2019), en donde se determinará que molino es el más eficiente en la molienda de granos. Es comparativa, por que determina las causas de determinadas variables, en donde accede a comparar uno o varios grupos que contienen el mismo problema con el fin de hallar los factores que aportan al problema y es de tipo cuasi experimental porque es aplicado a condiciones reales en donde se permite la comparación de dos grupos del estudio, las cuales se inician en igualdad de condiciones (Hernández, Fernández y Baptista, 2003).

3.2. Diseño de la investigación

Método basado en la "ley de trituración" de Bond: Teoría que nace en el fundamento de que la energía consumida para labores de molienda es proporcional al largo de las grietas ocasionadas en la molienda; y en el supuesto de un material homogéneo

establece la siguiente relación empírica para el consumo de fuerza W_B en la trituración de una granulometría discrecional de entrada a una finura final dada (Thomas y Filippov, 1999):

$$W_B = \frac{10W_{iB}}{\sqrt{P}} - \frac{10W_{iB}}{\sqrt{F}} \quad (\text{kWh/t}) \dots\dots\dots [\text{ecuación 1}]$$

O considerando la relación de trituración $R = F/P$:

$$W_B = W_{iB} \left(1 - \frac{1}{R^{0.5}}\right) \left(\frac{100}{P}\right)^{0.5} \quad (\text{kWh/t}) \dots\dots\dots [\text{Ecuación 2}]$$

W_i (índice de trabajo): La constante del material definida como el requerimiento energético (en kWh/t) que se requiere para fraccionar un material de volumen de grano irregular hasta obtener un 80 % menos de 100 μ ; F y P son los valores de D_{80} de alimentación y producto molido, traducido, en los agujeros del tamiz (en μ) en donde el 80 % de producto en moliendas (F) o del alimento culminado (P) pueden traspasar el tamiz.

Si se tuviera insumos homogéneos, entonces el índice de trabajo W_i se da por la constante del material. Con insumos heterogéneos, como es el caso de minerales y rocas, los índices de trabajo se darán por la finura final de la molienda, entre otros factores.

Holmes, (3), toma en consideración como una variable el exponente de trituración que Bond lo valora como 0,5, con el propósito de que el Índice de trabajo W_i mantenga el sesgo de una constante real del material. La ecuación de Bond [2] la transforma en:

$$W_H = W_{iH} \left(1 - \frac{1}{R^r}\right) \left(\frac{100}{P}\right)^r \quad (\text{kWh/t}) \dots\dots\dots [\text{Ecuación 3}]$$

En ensayos de laboratorio los valores para el exponente r varían de 0,2 a 1,4. El ensayo de molienda de Bond, (4), que halla el índice de trabajo W_i , se ejecuta en un molino de paredes no rugosas y un cierto número de revoluciones en unidades de r.p.m. a la vez determinando al porcentaje de n_{crit} (velocidad crítica) y con una carga de tornillos definida exactamente, en número y tamaño en kilogramos en seco, adicionadas, en fracciones hasta alcanzar un trabajo de molienda constante determinado en el método bond.

El Índice de trabajo W_i se hallará para determinar el consumo energético específico para los molinos en estudio, que trabaja en húmedo, en situaciones determinadas respecto a la cantidad de revoluciones, carga del molino, altura de la carga, etc.

Para determinar la resistencia específica de molienda y el gasto de corriente eléctrica específica de los molinos, (Mittag, (6)), siendo considerados los intervalos regulares, toma de muestras de las partículas molidas que se evalúan respecto al nivel de finura. El consumo de energía específica (A) determina por:

$$A = \frac{M*n*z}{50*500*Q} (kWh/ t) \dots\dots\dots [Ecuación4]$$

Donde se tiene:

M = Momento de giro del molino (en m • kp);

n = Número de revoluciones del molino (en r.p.m.);

Q = Cantidad del producto a moler (en T.M.).

En el molino a evaluar que considere diámetros mayores a 800 mm, para adecuar los valores de gasto de corriente eléctrica determinados en los molinos industriales se usa la siguiente ecuación:

$$A = \frac{A_L}{Q_L} = \frac{A_B}{Q} \quad (kWh/t) \dots\dots\dots [Ecuación 5]$$

A_L = Energía absorbida por el molino. (en kW);

Q_L = La producción del molino del laboratorio (en t/h);

A_B = Energía absorbida por el molino industrial (en kW);

Q_B = La producción del molino industrial (en T.M./h).

Tabla 7

Protocolo de ensayo de una prueba de molienda en el molino de Bond

Finalidad del ensayo: molienda en mm, Producto a moler: Cereal y Peso de la carga: kg.					
Proporción — mm en la alimentación: % en peso.					
Proporción de la carga circulante: %.					
Período	N° de revoluciones	En el producto molido (kg)	En la alimentación (Kg)	Producido de nuevo (Kg)	Coefficiente de molturabilidad

Nota: Datos tomados de Thomas y Filippov, 1999

Tabla 8

Resultados de los ensayos de molienda en el laboratorio en el molino de Bond

Resultados de los ensayos de molienda en el laboratorio en el molino de Bond						
Ma t e r i a l	Finura de molido	Tamaño de grano del producto molido	Coefficiente de molturabilidad	índice de trabajo Bond	índice de trabajo Bond	índice de trabajo Holmes

Nota: Datos tomados de Thomas y Filippov, 1999

Comparación de los valores de gasto de corriente eléctrica obtenido en los ensayos con el molino de un tornillo con el gasto de energía específica efectiva respecto al molino de dos tornillos.

Los índices de trabajo se determinarán por el ensayo donde se estimó con el aporte de las ecuaciones de Bond

Comparación de los valores de consumo de energía obtenido en los ensayos con el molino de un tornillo con el consumo de energía específico efectivo respecto al molino de dos tornillos.

Los índices de trabajo se determinarán por el ensayo donde se calculó con ayuda de las relaciones básicas de Bond.

Tabla 9

Consumo específico de energía calculado y medido para la molienda industrial de los cereales analizados

Consumo específico de energía calculado y medido para la molienda industrial de los cereales analizados							
Cereal	Diámetro del molino Industrial D (mm)	Tamaño de grano de la alimentación F (ji)	Tamaño de grano del producto molido P (pt)	Consumo específico de energía según Bond W_B (kWh/t)	Consumo específico de energía según Holmes W_H (kWh/t)	Media de los valores W_H y W_B a igual finura de molienda (kWh/t)	Consumo específico de energía del molino de doble tornillo (kWh/t)

Nota: Datos tomados de Thomas y Filippov, 1999

3.2.1. Medición del Consumo de un Motor Eléctrico

De acuerdo al (Ministerio de Energía y Minas, 2017). Se determinará el consumo traducido en dólares y/o soles, teniendo en cuenta la premisa de que, si tiene un motor de 10 HP que mueve una máquina, y se reemplaza por uno de 15 HP, el motor eléctrico consumirá en dólares lo mismo que antes, pues el motor si bien es de 15 HP, está entregando solamente 10 HP.

Ahora en el caso de tener dos máquinas distintas, una de 10 HP y la otra de 15 HP y cada una consume esa potencia, entonces allí sí consumirá 1.5 dólares.

En Perú se tiene 360 volts trifásicos – 60 Hz

Entonces: Un motor de HP tendremos:

$$1\text{HP} = 0,75 \text{ KW} = 750 \text{ Watts.}$$

$$\text{Trifásicamente } P = 1.73 \text{ U. I. Cos Q} = P/1.73. \text{ U. Cos Q.}$$

Es decir: $I = 750/ 1.73 \cdot 0.8 = 1.23$ Amperes, eso es la corriente que tomará el motor a plena carga en cada fase.

Viendo el consumo en U\$. Si un motor de 1 HP = 0.75 KW si funciona 10 horas tendremos 7.5 KWH.

En Perú cada KWH vale :0.181 U\$/KWH.

Si multiplicamos $7.5 \times 0.181 = 1.363$ U\$, entonces ese motor gastaría esa cantidad de dólares con un funcionamiento de 10 horas.

En conclusión, un motor prácticamente consume la potencia que entrega. Es decir si se tiene un motor de 3 HP, donde el proceso requiere 1 HP, el aumento en el costo es ínfimo.

Un motor eléctrico se puede hacer más eficiente con un capacitor de servicio continuo, el cual trabaja el doble y consume la mitad de energía.

3.2.2. Medición de la eficiencia del molino de martillos

La eficiencia mecánica y la eficiencia de clasificación de los dos procesos se usa la siguiente relación (Osorio, Marín y Rastrepo, 2012):

$$\eta_m = \frac{E}{E_{\text{real}}} \times 100 \dots \dots \dots \text{ [Ecuación 6]}$$

En donde:

$\eta_m = (\%) =$ Eficiencia mecánica de la molienda.

$E =$ Energía necesaria para la reducción (calculada por la ley bond), en (kWh/Ton).

$E_{\text{real}} =$ Energía real consumida en todo el proceso (kWh/Ton).

$\eta = \frac{\text{Finos en el producto acabado}}{\text{Finos a la entrada del clasificador}} \times 100\%$

En donde η se determina como la eficiencia de clasificación.

3.3. Población y muestra

La población está determinada por 40 T.M. por día a procesar y el suministro de energía para los equipos impulsores de los molinos, siendo la muestra a evaluar de 2 T.M. de maíz amarillo duro en grano y soja en grano que serán molidos en cada ciclo de proceso y el equipo eléctrico impulsor de los molinos.

3.4. Descripción de instrumentos para recolección de datos

- Vernier
- Balanzas de precisión en decimas de gramos
- Analizador de partículas

- Tamices.
- Medidor de potencia PCE-PCM 1

El medidor de potencia PCE-PCM1 el cual determina la potencia absorbida, así como el consumo de corriente eléctrica. También calcula la corriente alterna y tensión, medidor que puede hallar la potencia absorbida actual en redes monofásicas o trifásicas, del mismo modo el gasto de energía (kWh) en redes monofásicas. Medidor de potencia para la medición TRMS a 750 V y 1000 A, capacidad de 750 kW, valor mínimo y máximo. (Ministerio de Energía y Minas, 2017).

- Contador de energía activa (kWh)
- Tensión (TRMS)
- Corriente (TRMS)
- Frecuencia
- Cronómetros.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación de Resultados

4.1.1. Evaluación de la calidad del grano: Maíz amarillo.

El maíz amarillo duro (MAD) es uno de los cereales que corresponden al tipo de maíz cristalino duro o semiduro, compuesta por una raíz fibrosa, siendo su sistema radicular adventicio con brotes a la altura de la corona del tallo, llegando a una altura de planta de 2.5 a 3 metros, siendo su periodo vegetativo de 4.5 a 5.5 meses, siendo su cosecha en todo el año (MIDAGRI, 2015).

En la Tabla 10 se tiene el análisis bromatológico, donde se muestran los componentes nutricionales en porcentajes óptimos que debe poseer el MAD como insumo esencial en la elaboración de alimento balanceado, el cual debe ser de un 50 a 60% del volumen total.

El porcentaje de humedad para los procesos de molienda deben ser inferiores a 14.5%, ya que se ocasionarían problemas de hongos y bacterias en la zona de almacenamiento y así como en el proceso de molienda.

Tabla 10

Análisis bromatológico del maíz amarillo duro

Contenido proximal	Valor
Humedad	13.35%
Materia Seca	86.65%
Proteína	8.80%
Grasa	3.70%
Fibra	2.10%
Cenizas	1.50%
Energía	3,649 kcal/kg

Nota: Datos tomados de Chachapoya, 2014

Figura 11

Maíz amarillo duro



Nota. La figura muestra el Maíz amarillo duro en el año 2020. Fuente: Ramos (2020).

En la etapa de evaluación e inspección de los granos de maíz adquiridos se les adopta un calificativo llamado grado, el cual es un índice de calidad del grano de maíz amarillo duro (Wong, 2016).

Para la evaluación de la calidad de grano se tomó un kilogramo de muestra de MAD para posteriormente realizar el tamizado con las mallas N° 04 y N° 06 con el fin de separar los granos en base a los siguientes preceptos (Cotecna, 2014):

- Grano entero: Se denominan así a los granos enteros, granos grandes con ausencia de partes, los que se detienen en la malla N° 04 luego de haber sido zarandeados para su separación.
- Grano partido: Aquel grano que perdió hasta el 50% de su tamaño integral.
- Granos infestados con enfermedades: Aquellos granos infestados con hongos (mohos o levaduras). Infestados con verdín (motas azuladas verdosas) y granos con infestación de hongos de fusarium (coloración rosa o morado).
- Granos infectados con plagas: Granos que tienen insectos vivos o muertos, así como otros tipos de plagas que afectan a la calidad del grano, afectaciones de los insectos en cualquiera de sus estadios de desarrollo (huevo, larva, pupa, oruga o adulto).
- Granos maduros con brotes de germinación: Aquellos granos que empezaron el proceso de germinación, el cual se ve por la apertura de la cubierta de germen por el cual emerge el brote.
- Grano deshidratado: Granos o fracciones de grano que no tienen el color característico de un grano de calidad o natural producto de auto calentamiento o deshidratado inadecuado y des uniforme.
- Presencia de subproductos del maíz: Contenido de tallos, hojas, pajillas, entre otros del mismo MAD.
- Presencia de materiales extraños: Presencia de impurezas como son arenilla, piedras, malezas, objetos extraños entre otros.

Teniendo en cuenta los aspectos anteriores se procedió a determinar la calidad de grano de acuerdo a la fórmula:

$$\% \text{ Granos} = \frac{W_m \times 100}{W_t} \dots\dots\dots \text{Ecuación 7}$$

En donde:

Wm: Peso del grano seleccionado en gramos.

Wt: Peso total de la muestra en gramos

$$\% \text{ Granos} = \frac{920 \text{ gramos} \times 100}{1000 \text{ gramos}}$$

$$\% \text{ Granos} = 92\%$$

Figura 12

Clasificación de los granos de maíz



Nota. La figura muestra Clasificación de los granos de maíz en el año 2014. Fuente: Cotecna (2014).

4.1.2. Diagrama de Flujo del Proceso de elaboración de Alimento Balanceado.

En la Figura 11 se muestra del Diagrama de Flujo del proceso de elaboración de alimento balanceado de la planta ewn estudio, en donde se tienen 13 porcesos definidos, los cuales contienen cuatro Puntos de Control de Calidad (PC) en los procesos, siendo los procesos:

4.1.2.1. Control de Calidad – PC1.

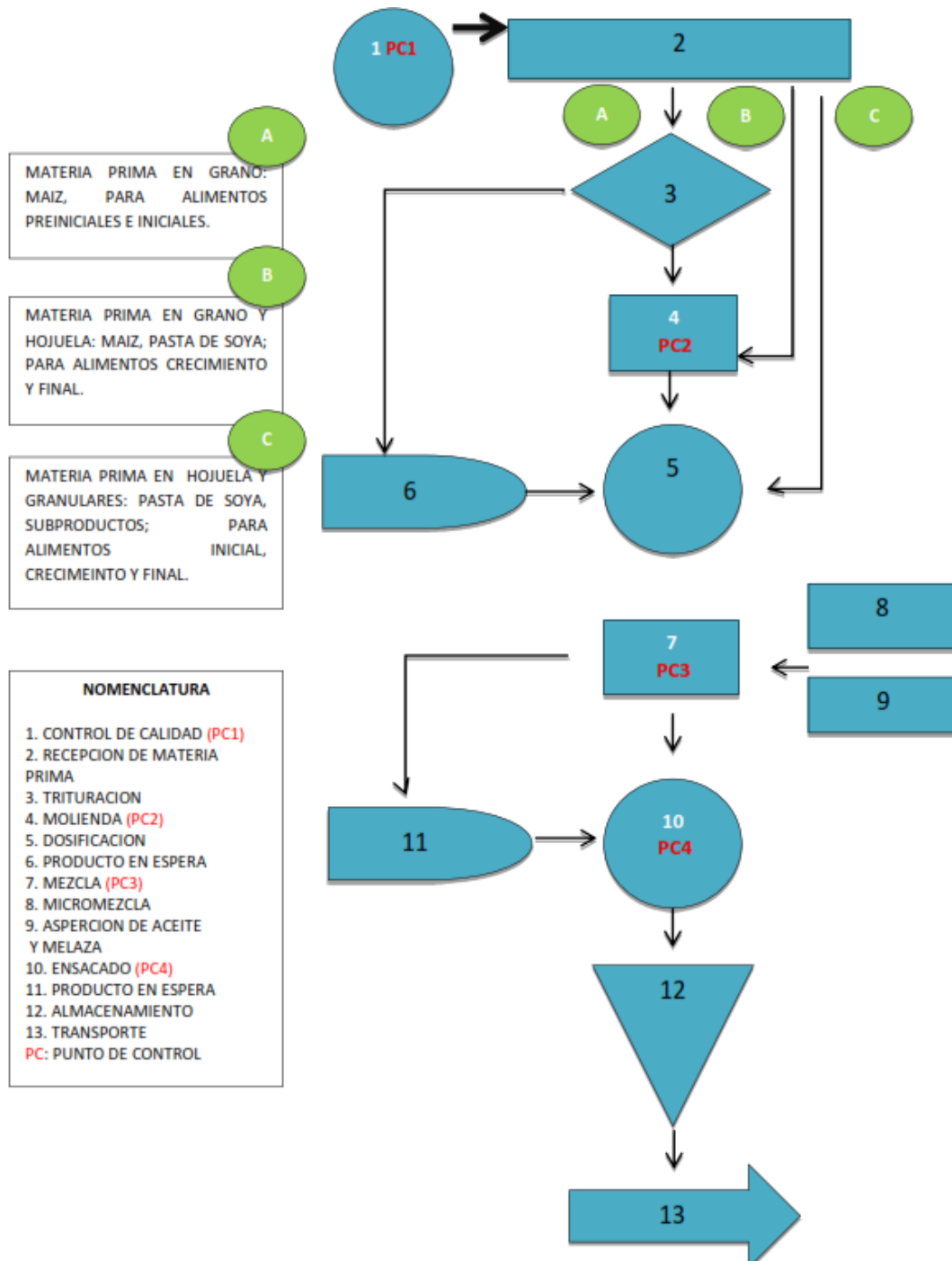
Todos los elementos constituyentes en la elaboración de alimento balanceado pasan por el primer control de calidad del producto adquirido (PC1) en cuanto a:

Materia prima en Grano, pasta:

- Calidad de producto: Tamaño, diámetro promedio, tiempo de cosecha de granos.
- Porcentaje de humedad.
- Control de impurezas, granos rotos, otros granos.
- Control sanitario (libre de contenido de bacterias, hongos, entre otros).
- Volúmenes requeridos.

Figura 13

Diagrama de Flujo del Proceso de Elaboración de Alimento Balanceado



Micronutrientes, harinas y hojuelas:

- Calidad de producto: Condiciones organolépticas admisibles, fecha de caducidad.
- Porcentaje de humedad.
- Control de impurezas, otros productos, polvos, arenizcas, etc.
- Control sanitario (libre de contenido de bacterias, hongos, entre otros).
- Volúmenes requeridos.

4.1.2.2. Recepción de materia prima.

La recepción de la materia prima, en el caso enfocado al estudio son los camiones que vienen cargados con maíz amarillo duro a granel procedentes del país de Bolivia.

Figura 14

Tolva de recepción de granos de maíz amarillo duro



Antes de la descarga del producto, el vehículo de carga es desinfectado (carrocería y neumáticos) al ingreso de la planta con paso previo del pediluvio, para que luego pueda ingresar a la zona de descarga, cargamento que es vertido en las rejillas de base en cuyo fondo se encuentran las tolvas o pozas de recepción de granos, rejillas que se tienen para que el vehículo de carga ingrese y que al verter la carga no se desperdicie granos, así como evitar que los granos de maíz no se contaminen con otros productos o contaminen (Figura 12).

4.1.2.3. Trituración.

Operación realizada por la chancadora o trituradora, la cual se encarga de reducir el diámetro de los productos para ser mezclados para la elaboración de un determinado tipo de alimento concentrado o para el paso a las operaciones de molienda.

4.1.2.4. Molienda - PC2.

El proceso de molienda es de mucha importancia respecto al tamaño de partícula obtenida, teniendo en consideración que para la elaboración de alimento concentrado para fases de inicio y crecimiento los tamaños resultantes de partículas de la molienda son menores que las partículas requeridas resultantes para elaborar alimento balanceado para desarrollo, acabado, producción y gestantes. Por lo que se considera el Punto de Control 2.

4.1.2.5. Dosificación.

Luego de tener los componentes para la elaboración del alimento balanceado reducidos de tamaño, y tener los demás insumos, se procede a determinar la dosificación de

acuerdo a la formulación para la elaboración de alimento balanceado, dosis que varía para cada estadio o etapa de desarrollo del animal.

4.1.2.6. Producto en espera.

Los productos en espera son la materia prima molida y/o triturada, la pasta de soya, hojuelas, subproductos entre otros productos en espera para su dosificación y empleo para la mezcla de insumos totales.

4.1.2.7. Mezcla – PC3.

Proceso de mucha importancia, ya que se requiere la mezcla homogénea de todos los insumos intervinientes en la dosificación para la elaboración de alimento balanceado, en donde cada porción de la mezcla debe contener la misma proporción y cantidad de nutrientes homogenizados.

4.1.2.8. Micromezcla.

Etapa adyacente de importancia en la mezcla los insumos de menor dosis, peso y tamaño como son los micronutrientes, minerales, aditivos entre otros, los cuales son adicionados a la mezcla integral, en donde de la misma manera cada porción de la mezcla debe contener la misma proporción y cantidad de nutrientes homogenizados.

4.1.2.9. Aspersión de aceite y melaza.

En los procesos de mezcla final se le adiciona por medio de aspersión los insumos que asisten a la palatabilidad del producto, además de proporcionar nutrientes y calorías como son el aceite de soya y la melaza, lo cual debe ser homogenizado.

4.1.2.10. Ensacado PC.

Luego de obtener una mezcla homogenizada con todos los insumos necesarios y requeridos de acuerdo a la dosificación y formulación determinada, se procede a

realizar el ensacado de cada uno de los tipos de producto, en donde el producto pasa a la zona de pesaje/volumen, el cual por medio de la balanza de sensor de peso llena los sacos de acuerdo a la calibración que se le da a la máquina de ensacado en sacos de 50 kilos y 25 kilos.

4.1.2.11.Producto en espera.

Etapa en donde la mezcla homogenizada se encuentra en las tolvas de espera para su pesado y ensacado.

4.1.2.12.Almacenamiento.

Todos los sacos envasados con el producto son movilizados a la zona de almacenamiento, los cuales son apilados de acuerdo al tipo de alimento balanceado producido, diferenciados por las áreas de carga y descarga. El almacenamiento se realiza en condiciones medio ambientales ventilados para el control de humedad y temperatura, con sombra y área de almacenamiento sanitizado libre de contaminantes ambientales y de patógenos, con el fin de preservar sus constituyentes y evitar la degradación o desnaturalización del producto obtenido.

4.1.2.13.Transporte.

El producto producido y almacenado, es trasladado en tres modos diferentes:

- A los diversos puntos de comercialización de tiendas de la empresa en estudio.
- Transporte de alimento balanceado producido de acuerdo a los requerimientos específicos a las diversas granjas y establos de producción animal.
- Transporte de alimento balanceado por parte de los clientes a cuenta propia, productos retirados y comprados a la empresa, recogiendo el alimento balanceado de la planta de producción.

4.1.3. Molienda de Granos.

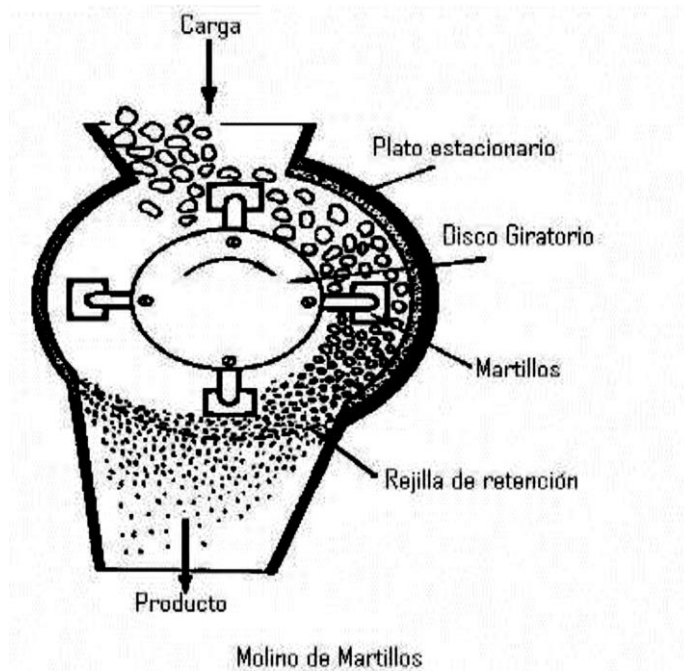
Enfocándonos al tema de investigación respecto a la molienda de granos tenemos.

La reducción de tamaño de grano es debido a:

- Explosión debido al impacto con los martillos.
- Corte por los bordes de los martillos.
- Acción de frotamiento o rozadura.

Figura 15

Molino de martillos



Nota. La figura muestra Molino de martillos en el año 2013. Fuente: Arroyo, Medina, Franco y Vicaria (2013).

La acción de frotamiento es importante con cereales, mientras que la acción de impacto es importante con maíz y materiales quebradizos.

La velocidad y volumen de alimentación de maíz hacia el molino se controla con una compuerta corrediza., tal como un tornillo sin fin.

A medida que el producto pasa a través de la malla una corriente de aire suministrada por un ventilador lo coge y lo lleva al separador de donde pasa al silo o al ensacado.

El molino de martillo se adapta bien para una molienda media y fina. La alta velocidad con que trabajan los martillos es excelente para una conexión directa con el motor eléctrico (Arroyo J., Medina, Franco y Vicaria, 2013).

La fuerza de la molienda depende del tamaño del molido requerido, esto reflejado con los agujeros de la malla y de la velocidad de circulación del material molido a través de la cámara de molino.

4.1.4. Volúmenes de Producción de Molienda.

Los volúmenes de producción de alimento balanceado de la empresa Candía Alimentos Balanceados van en crecimiento por la calidad de producto y formulación de las mismas.

La producción de alimento balanceado tiene dos modalidades:

- Producción de alimento balanceado con formulación genérica por etapas de inicio, crecimiento, desarrollo y producción, formulación para cerdos.
- Producción de alimento balanceado con formulación específica. Formulaciones preparadas de acuerdo a las necesidades y requerimientos específicos de cada granja porcicultura.

Las necesidades y volúmenes de molienda de maíz amarillo duro fueron reportados y determinados por su gerente de producción, siendo:

- Necesidad de molienda de maíz promedio de 30 toneladas métricas por día, para así cumplir con la demanda de mercado
- Número de horas de molienda por día: 10 horas
- Molienda por hora:

Molino de 1 tornillo: 3,220 kilos = 64.40 sacos de 50 kilogramos.

Molino tornillo doble: 4,140 kilos = 82.80 sacos. De 50 kilogramos.

Tabla 11

Demanda de Molienda Promedio Actual

Detalles	Molino Eje de tronillo	Molino Eje de tronillo
	simple	doble
Demanda de molienda (Kg/día).	15,000 kilos	20,000 kilos
Horas de molienda por día	10 horas	10 horas
Molienda por hora	1,610 kilos	2,070 kilos
	32.2 sacos de 50 Kg.	41.4 sacos de 50 Kg.

Nota: Datos tomados de Arroyo, Medina, Franco y Vicaría, 2013

4.1.5. Carga – Molienda – Descarga de Harina de Maíz.

4.1.5.1. Molino Industrial de Tornillo Simple.

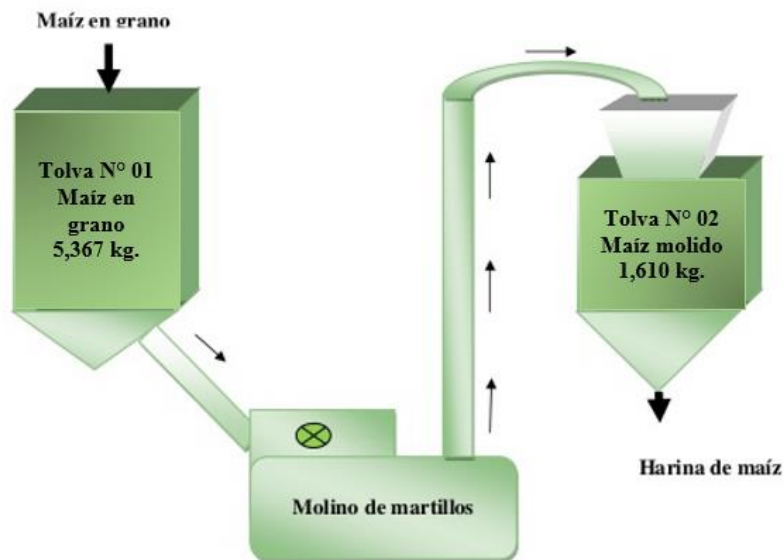
La tolva N° 01 de capacidad de 2 T.M., ingresa al molino de martillos, luego sale molida hacia la tolva N° 02, mediante sistema de tornillo, que luego es vertida al Mixer (Mezcladora), cuya capacidad es también de 2 T.M.

En esta área se le adicionan los demás insumos, vitaminas, micronutrientes y demás aditivos, donde lo homogeniza por recirculación del alimento balanceado, hasta

obtener una mezcla homogénea luego de ahí es vertido a los sacos de empaque con previo pesado, siendo cada saco con un peso de 50 kilogramos.

Figura 16

Flujo grama de Carga – Molido- Descarga



De acuerdo a la Figura 16, vemos el funcionamiento del mixer o mezcladora de elementos o componentes nutricionales para la elaboración de alimento balanceado, máquina que tiene un proceso recirculante, donde los elementos en mezcla circulan horizontalmente en la tolva y por gravedad baja hacia la zona inferior, donde se ve el material en mezcla (para determinar el grado de mezcla) y luego es conducido por elevador de tornillos a la tolva para su mezcla.

Figura 17

Mixer (mezcladora) en funcionamiento con recirculación.



Figura 18.

Pesado y ensacado de alimento balanceado



4.1.5.2. Molino Industrial de Tornillo Doble.

El producto en grano abastecido por los camiones de carga de maíz amarillo duro, es elevado por elevadores de tornillos hacia la parte superior y vertido a la tolva, el cual tiene una capacidad de 4 T.M., seguidamente por medio de in ingreso en embudo es derivado por gravedad al molino por medio de la dosificadora.

Figura 19

Molino industrial de tronillo doble



El producto molido que cumple con los diámetros requeridos pasa a la tolva del mixer por medio del elevador de tornillos, ahora el producto que aún no cumple

con los diámetros promedio requeridos es devuelto a la moledora para un segundo proceso hasta la obtención del producto requerido.

Figura 20

Molino industrial de tornillo doble: Elevadores y descensores



En esta área se realiza los procesos de mezcla, micro mezcla y aspersion de aceite y melaza, en donde se adicionan la materia prima molida de grano y hojuelas, pasta de soya, subproductos, vitaminas, micronutrientes entre otros aditivos, donde se homogeniza por recirculación de los insumos vertidos hasta obtener una mezcla homogénea para luego por un viaducto de candilones son derivados a la zona de

ensacado con labores de pesado, en sacos de 50 y 25 kilogramos. (Castillo, Melo y Boetto, 1996).

4.1.6. Sistema de Impacto Centrífugo con un Tornillo Simple de Martillos.

4.1.6.1. Molino de Martillo de Eje de Tornillo Simple.

Es un molino de impacto centrífugo con un tornillo simple de martillos, el rotor consta de un eje, perpendicular a éste, unas volantes o discos llamados discos porta martillos, separados, que van fijos (soldado) a un tubo de mayor diámetro del eje (como una camisa) sujeto fijamente (al eje) por unos pernos pasantes para evitar algún movimiento; entre disco y disco van unos pines (paralelos al eje) donde se encuentran los martillos, entre éstos últimos, unos separadores para distanciar uno de otro. (Jimenez, 2021)

Como se puede ver en la Figura 21 los martillos tienen movilidad en su plano.

A continuación, se muestra en la Tabla 12 y 13 las características del molino de un eje en esta planta:

Figura 21

Rotor de un molino de martillos movibles



Tabla 12

Molino de martillos de eje de tornillo simple – Candia Alimentos Balanceados

Molino de martillos de eje de tornillo simple (molienda de maíz)	
Aplicación	Molienda
Principio de molienda	Impacto
Granulometría inicial (mm)	< 40 (agroindustria)
Granulometría final	< 100 μm (agroindustria)
% de humedad del material a moler	Hasta el 20% (en molienda húmeda)
Material de los martillos	Acero al carbono (agroindustria)

Tabla 13*Molino de martillos – Candia Alimentos Balanceados*

Candia Alimentos Balanceados		
Molino de martillos de eje d tornillo simple (molienda de maíz)		
Características		Detalles
Caja de molino	Ancho o profundidad (cm)	20.320
	Diámetro (cm)	60.960
	Espesor de plancha (cm)	0.4760
	volumen aprox. (m3)	0.0593
Martillos	Número	40.000
	Ancho (cm)	3.810
	Espesor (cm)	0.635
Eje	Largo (cm)	12.00
	Diámetro (cm)	5.08
	Número	3.000
Discos porta martillos	Diámetro (cm)	45.72
	Espesor (cm)	1.270
	Número	8.000
Pines porta martillos	Diámetro (cm)	1.905
	Largo (cm)	19.05
Zaranda	Diámetro de hueco (cm)	0.635
	Espesor (cm)	0.476
Productividad aproximada	T.M./hora	1.610
Motor de molino	Potencia (kW)	22.38
	r.p.m	1800

a) Martillos.

Los martillos, los separadores y las palancas porta martillos conforman el sistema de desintegración de granos.

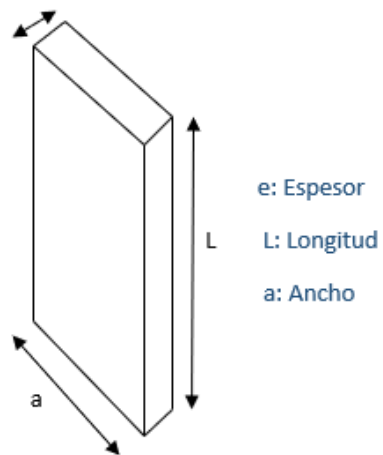
Figura 22

Rotor de molino de martillos fijos



Figura 23

Geometría del martillo



Dimensiones del martillo:

- Número: 40
- Espesor: 0.635 centímetros
- Ancho: 3.810 centímetros

- Largo: 10 centímetros

Materiales de fabricación:

- Platina acerada de ¼" x 1 ½" x 6 metros.

Mejoramiento de los materiales de fabricación, el empleo del acero AISI/SAE 1045 templado y con tratamiento térmico para elevar la dureza y resistencia mecánica, siendo una opción de mejoramiento, el cual contempla el tratamiento de dureza, el cual es económico, a comparación de martillos con aporte de metal, el empleo de material de SS316 es muy resistente al desgaste superficial, pero su elaboración es de alto costo.

Este tipo de acero de aplicación global el cual provee resistencia media mecánica y tenacidad a menores costos comparado con los aceros de baja aleación. Acero empleado en elementos constituyentes de maquinarias que necesitan dureza y tenacidad como son las manivelas, chavetas, pernos, bulones, engranajes, ejes, entre otros.

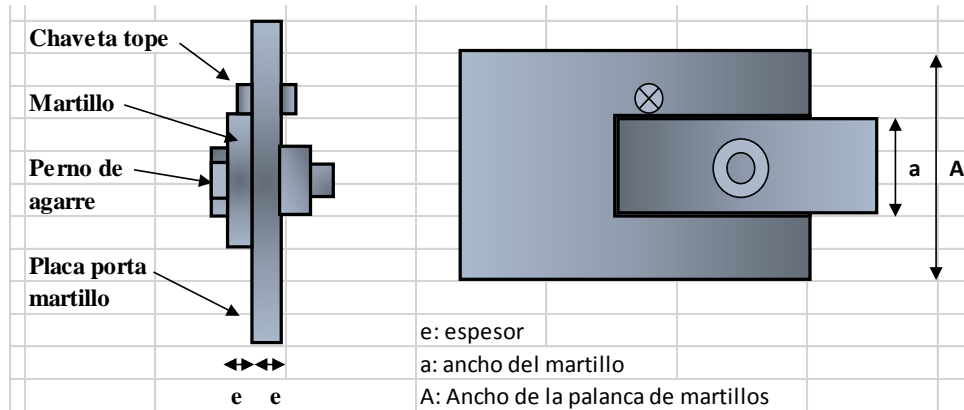
La maquinabilidad de este acero da como resultante excelente acabado de sus superficies, aportando a alargar la vida útil en los martillos (Aceromafe, 2020).

- *Espesor de palancas porta martillos.*

El espesor de las palancas es similar al espesor del martillo (0.635 cm).

Figura 24

Palanca porta martillos: Chaveta, martillo, pin y perno



- *Separador de palancas porta martillos,*

Elementos que se empotran entre los martillos, son de sección circular hueca, siendo sus propiedades mecánicas ASTM 500, resistencia a la tracción de 310 MPa, equivalente a 31 kN/cm².

El ancho del separador es el doble de tamaño del martillo.

4.1.6.2. Caja de Molino.

La caja de molino se cubica de acuerdo a las dimensiones del martillo, palanca porta martillos y el ancho del separador.

Figura 25

Distribución de palancas porta martillos, separadores, tope y tuerca

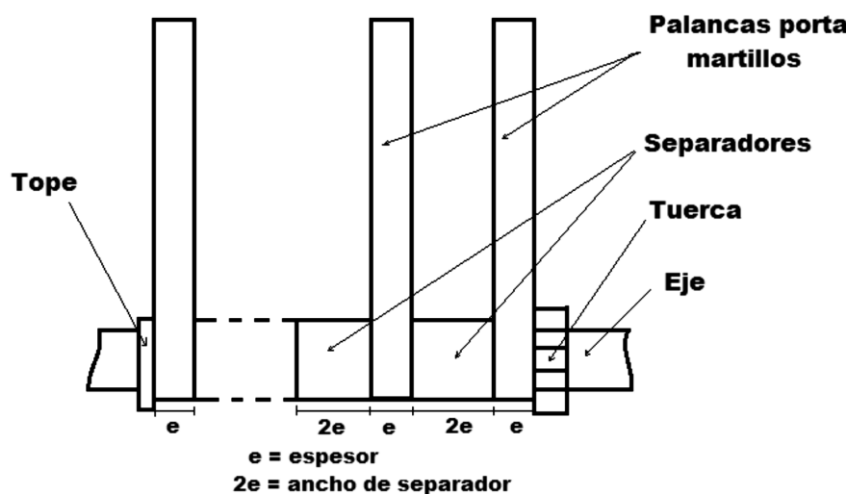


Tabla 14

Dimensiones, medidas y cantidad de los elementos

Ítems	Unidad de Medida	Medida (cms)	Número de Elementos
Palanca porta martillos	espesor	0.635	20
Separador	ancho	1.270	19
Tope	ancho	0.953	1
Tuerca	ancho	1.905	1
Distancia de luz a cada lado	longitud	1.270	2

Distancia de luz: Distancia que hay entre el extremo del rotor del molino a la cara interna de la caja, en este caso se ha definido 1.27 cm (Tabla 14).

Con las medidas y cantidades de los elementos se tiene la dimensión interna del ancho de la caja:

Tabla 15

Espacio ocupado por cada elemento

Palancas porta martillos	Separadores	Tope	Tuerca	Distancia de luz
11.43 cm	21.59 cm	0.953 cm	1.905 cm	2.54 cm

Medida interna del ancho de la caja del molino: 26.98 centímetros

Medida interna del diámetro de la caja: 60.96 centímetros.

a. Largo de las palancas porta martillos.

En el gráfico siguiente se nota la vista de perfil con la distribución de los elementos del rotor o sistema de desintegración de granos de maíz.

Donde:

i: Largo del martillo para impacto

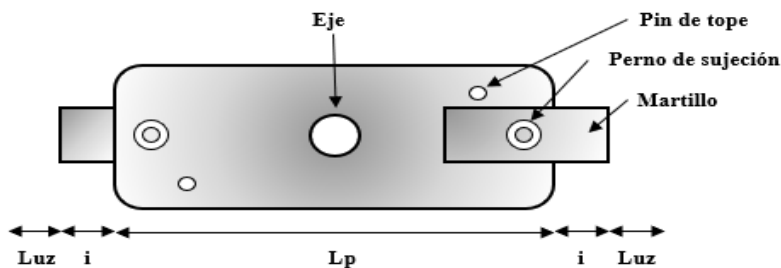
L_p: Largo de la palanca porta martillos

Luz: Distancia del extremo del martillo hasta la cara interna de la caja.

Medida de longitud de la palanca porta martillos para 40 martillos: 40.64 cms.

Figura 26

Vista de perfil de los elementos del rotor



b. Largo y diámetro del pin de tope para martillo

El pin de tope para martillo es un pasante por la palanca porta martillos, el largo está definido por el grosor de éste y el martillo, siendo la longitud de 2.54 cms.

Dimensiones del pin de tope para martillo:

Longitud: 19.05 cm.

Diámetro: 1.905 cm.

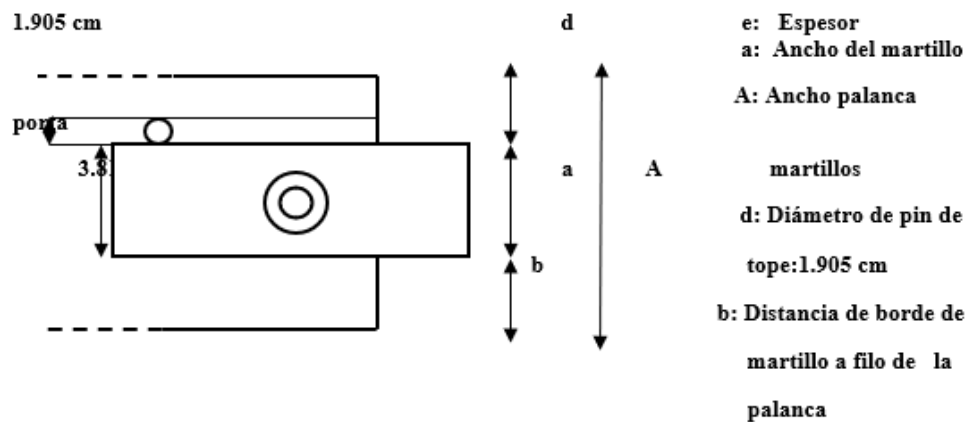
c. Ancho de las palancas porta martillos.

En el gráfico siguiente vemos la disposición del pin y el martillo en la palanca porta martillos, el ancho del martillo es igual a 3.81 cm y el diámetro del pin es de 1.905 cm.

Además, mostramos las dimensiones de cada elemento:

Figura 27

Disposición de palanca, martillo, perno y pin



Medidas de las dimensiones de la palanca porta martillos, donde el ancho de la palanca porta martillos es 7.622 cms.

Espesor: 0.635 cms.

Ancho: 7.622 cms.

Largo: 40.64 cms.

4.1.6.3. Potencia del Motor.

El motor del molino se esfuerza más si el diámetro de agujero de la zaranda es menor, la productividad en toneladas por hora disminuye cuando el diámetro del agujero también lo hace, esto es porque el producto permanecerá más tiempo en la cámara hasta conseguir pasar por los agujeros de la zaranda. (Atarama, 2018)

Tabla 16

Productividad de Molienda en toneladas/hora en molino de eje de tornillo simple

Molino de Martillos de Eje de tornillo simple		
Características	Número de martillos 40	
Productividad aprox. (t/h)	0.318 mm	1
según diámetro de hueco de zaranda	0.425 mm	1.2
	0.500 mm	1.61
Potencia de Motor	kW	22.38

4.1.6.4. Correas.

La transmisión de la potencia del eje del motor al eje del molino se da por las correas. Las correas son de forma en V, bandas comerciales y con especificaciones de uso definidas. En la tabla siguiente se presentan las secciones de correas en V estándar:

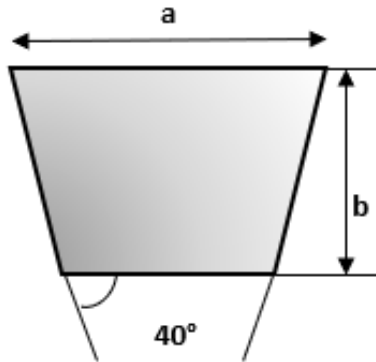
Tabla 17

Sección de las correas en V estándar

Sección de la correa	Ancho de (a), en pulg	Espesor de (b), en pulg.	Diámetro mínimo de la polea, en pulg	Intervalo de potencias (Hp), 1 o más correas
A	½	11/32	3.0	¼ - 10
B	21.32	7/16	5.4	1 – 25
C	7/8	17/32	9.0	15 – 100
D	1 ¼	¾	13.0	50 – 250
E	1 1/2	1	21.6	100 a más

Figura 28

Sección de corte de correa en V



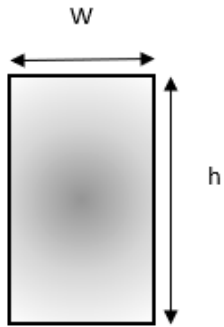
La banda en V es de tipo C, la potencia de los motores están en ese rango, de 15 a 100 Hp, según Tabla 17.

4.1.6.5. Cuñas y Chavetas.

Elementos que se encuentran en las palancas porta martillos y en los ejes. Se utilizó acero H-V945, con $S_y = 37 \text{ kg/mm}^2 = 362.85 \text{ MPa}$ y $S_u = 65 \text{ kg/mm}^2 = 637.43 \text{ MPa}$, y la geometría.

Las cuñas son rectangulares, a continuación, se presenta una tabla de las dimensiones w y h según el diámetro del eje. En nuestro caso el diámetro de eje es de 2" ó 5.08 cm.

Según la Figura 29, el tamaño de la cuña es de $w: \frac{1}{2}$ y $h: \frac{1}{2}$, y la profundidad del cuñero es de $\frac{1}{4}$.

Figura 29*Cuña rectangular***Tabla 18***Dimensiones en pulgadas de aplicaciones de cuñas cuadradas y rectangulares estándar*

Diámetro del eje		Tamaño de cuña		Profundidad del cuñero
Más de	Hasta (inclusive)	w	h	
5/16	7/16	3/32	3/32	3/64
7/16	9/16	1/8	3/32	3/64
		1/8	1/8	1/16
9/16	7/8	3/16	1/8	1/16
		3/16	3/16	3/32
7/8	1 1/4	1/4	3/16	3/32
		1/4	1/4	1/8
1 1/4	1 3/8	5/16	1/4	1/8
		5/16	5/16	5/32
1 3/8	1 3/4	3/8	1/4	1/8
		3/8	3/8	3/16
1 3/4	2 1/4	1/2	3/8	3/16
		1/2	1/2	1/4
2 1/4	2 3/4	5/8	7/16	7/32
		5/8	5/8	5/16
2 3/4	3 1/4	3/4	1/2	1/4
		3/4	3/4	3/8

Nota: Datos tomados de Budynas y Nisbett, 2015

Sistema de Impacto Centrífugo con Eje de Tornillo Doble de Martillos.

Molino de Martillos de Eje de Doble Tornillo.

En este molino, se basa en dos ejes contenidos cada uno de ellos un cierto número de grupos de martillos en disposición horizontal, dependiendo del giro del eje.

Tabla 19

Elementos y características del Molino de Eje de tornillo doble

Elementos	Detalles
Sistema de alimentación	Embudo
Carcaza	Acero SAE-1020
Elementos de impacto	Martillos Planos
Tamiz	Malla metálica acribada
Alineadores de grano	Placas paralelas
Sistema de salida	Cono truncado
Apoyos inferiores	Perfiles de deslizamiento
Transmisión de potencia	Engranajes
Fuente de energía	Motor eléctrico
Control de alimentación de granos	Deflectores
Movimiento del molino	Movimiento rotativo
Sistema de control de proceso	Control eléctrico por contactores

Esta disposición de los martillos da lugar al nombre de árbol de martillos. El principio fundamental es el impacto sucesivo producido por árboles al pasar el grano desde su tobera de alimentación hacia la zona inferior de la carcasa donde se halla el tamiz. (Delgado, 2019)

Tabla 20*Molino de martillos móviles – Candia Alimentos Balanceados*

Candia Alimentos Balanceados		
Molino de martillos móviles de doble eje (molienda de maíz)		
	Características	Detalles
Caja de molino	Ancho o profundidad (cm)	35.72
	Diámetro (cm)	60.96
	Espesor de plancha (cm)	0.318
	Volumen aprox. (m3)	0.1042
Martillos	Número	60.00
	Ancho (cm)	3.810
	Espesor (cm)	0.476
Eje	Largo (cm)	10.16
	Diámetro (cm)	5.08
	Número	6.000
Discos porta martillos	Diámetro (cm)	45.72
	Espesor (cm)	0.794
Pines porta martillos	Número	16.000
	Diámetro (cm)	1.905
	Largo (cm)	19.05
Zaranda	Diámetro de hueco (cm)	0.318
	Espesor (cm)	0.318
Productividad aproximada	T.M./hora	2.100
Motor de molino	Potencia (kW)	22.38
	r.p.m	2238

La disposición de las cuchillas es simétrica tanto en el eje horizontal como en sus dimensiones, ambos ejes son idénticos, entre los martillos radiales y el tamiz inferior, existe una luz o juego que permite a los martillos desplazar por impacto a los granos que aún no alcanzan las dimensiones requeridas por el tamiz. (Niño de Guzmán, 2006)

La luz o separación horizontal entre las cuchillas de cada árbol está supeditada al juego que se requiera para la molienda, basándose en el tamaño promedio del grano que ingresa (Niño de Guzmán, 2006).

Figura 30

Árbol de martillos con doble eje (tornillo doble)

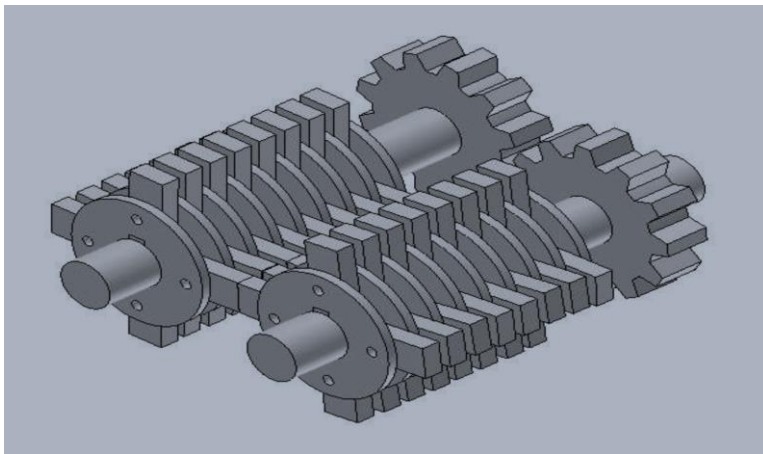
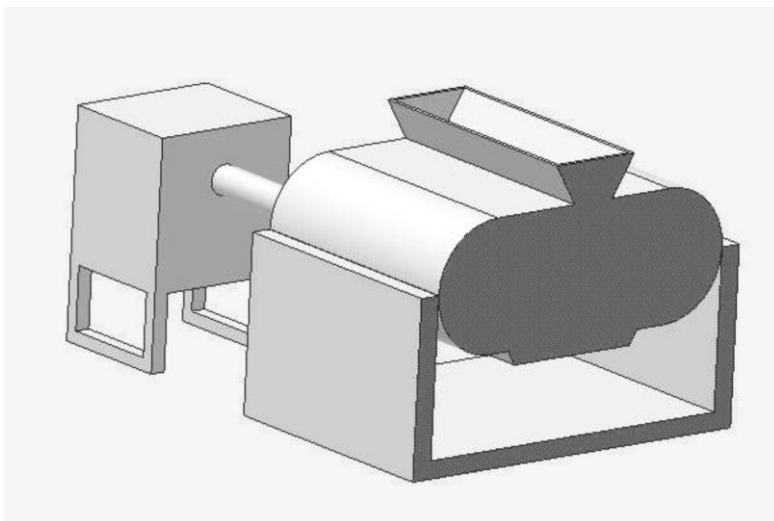


Figura 31

Molino con doble eje de martillo (tornillo doble)



La disposición del sistema de alimentación está en función a lograr una simetría durante el proceso de molido, donde los martillos, a la circular cerca al tamiz, llevan intrínsecamente los granos llevándolos nuevamente a la zona central entre los 2 ejes del doble tornillo. (PETFOOD, 2019)

En la transmisión de potencia, debido a que se cuenta con dos ejes se tiene un sistema de engranaje y piñón que distribuye en forma simétrica la rotación y potencia hacia cada eje de tornillo. (Sánchez Marín & Iserte Vilar, 2015)

Figura 32

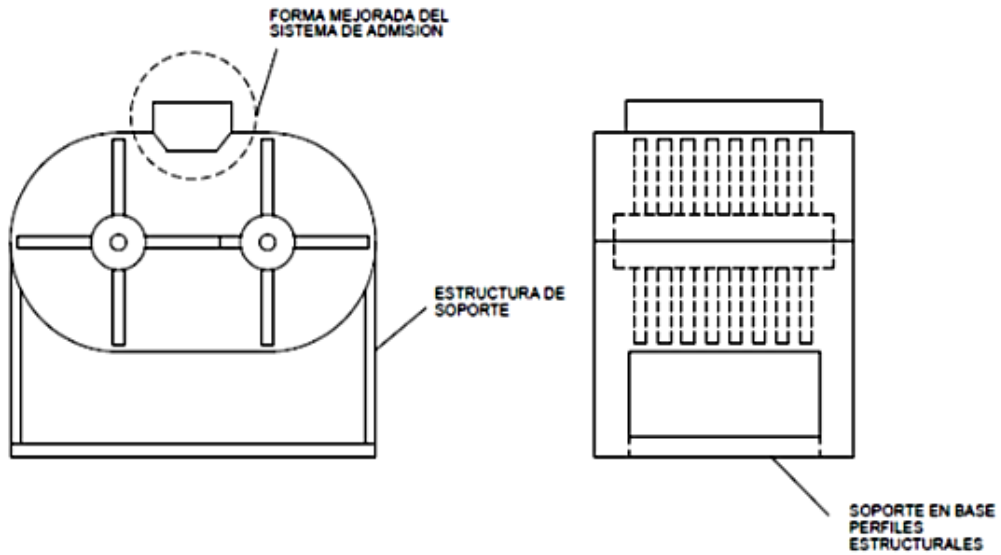
Molino con doble eje de tornillo de martillo



El sistema de transmisión de potencia (Figura 33), rota ambos ejes en sentidos contrarios utilizando solamente un eje motriz desde un motor.

Figura 33

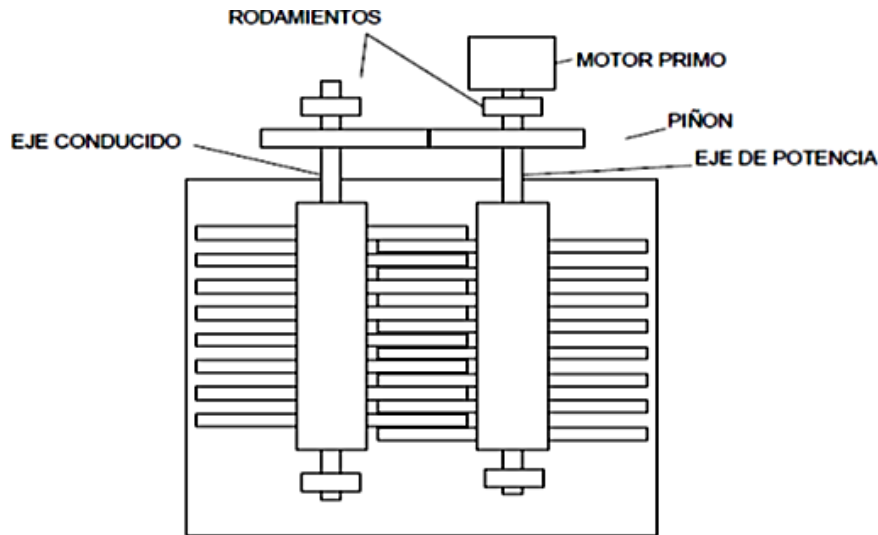
Vista de corte frontal, molino centrífugo con doble eje de tornillo de martillo



La forma de la carcasa en las cercanías a la circunferencia de impacto de los martillos está diseñada para evitar que los granos queden atrapados entre los martillos y la carcasa.

Figura 34

Transmisión de potencia.



4.1.6.6. Sistema de Transmisión del Molino.

La distancia que existe entre el extremo de los martillos (zona de impacto) y el tamiz en la parte inferior de la carcasa, esta dimensionado al tamaño de partícula mínimo promedio luego de la molienda, es decir que la distancia desde el martillo hasta el tamiz está calculada de tal manera que los granos que aún no alcanzan el tamaño requerido para pasar por la malla, retornan al circuito de impacto por medio del impulso del martillo (Adiveter, 2020).

El cálculo de resistencia y diseño de los ejes están dimensionados con las reacciones a la fuerza tangencial de impacto, peso de los martillos, fuerzas centrífugas debidas a la inercia de cada martillo, impacto de los granos que lleguen a acumularse sobre la superficie del eje. (Montoya Chunchu, 2021)

4.1.6.7. Potencia del Motor.

Tabla 21

Productividad de Molienda en toneladas/hora en molino de dos ejes de tornillo

Molino de Martillos Ejes de Doble Tornillo		
Características	Número de martillos 60	
Productividad aprox. (t/h)	0.318 mm	1.29
según diámetro de hueco de	0.425 mm	1.54
zaranda	0.500 mm	2.07
Potencia de Motor	kW	22.38

4.1.6.8. Diseño del Molino.

Máquina fabricada con láminas y perfiles de acero, una tolva de ingreso con válvula reguladora de volumen en la parte superior, rotor en acero calibrado y montado sobre dos rodamientos. En el eje están montados los discos por medio de un canal chavetero. Entre disco y disco están los martillos templados de dureza 60 RC.

En el primer eje de rotación viene montado con un engranaje helicoidal con la finalidad de conducir al segundo eje que a su vez tiene otro engranaje igual al anterior para obtener las mismas RPM, prácticamente de este modo se duplica la producción de harina.

Producto: Harina pulverizada con granulación según el tamiz que se emplee.

Variables de acuerdo a la capacidad, número de martillos y motor eléctrico.

Para la tolva de ingreso, se tuvo en cuenta 3 dimensiones:

- Área en el ingreso del grano a los martillos.
- Tamaño de la base superior de la tolva

- Longitud total de la tolva.

a. Tolva.

Como vemos en la figura 32, se tiene:

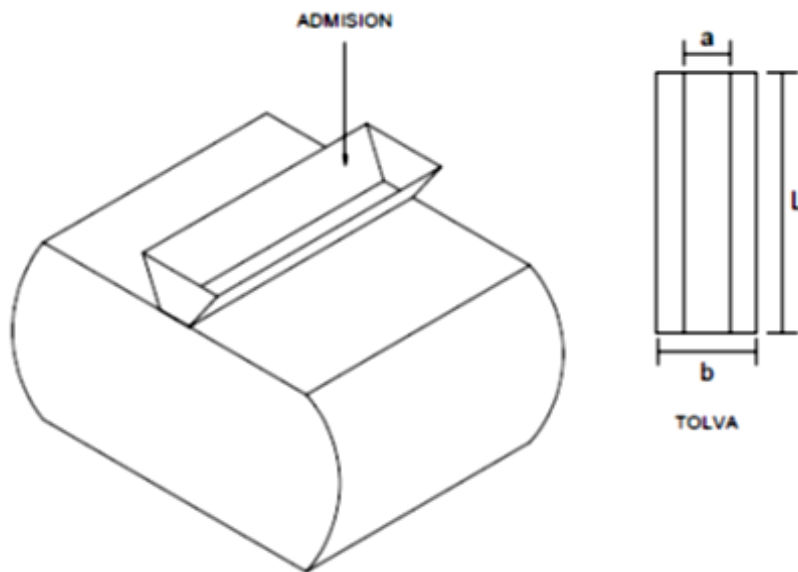
a: Espaciamiento de ingreso del grano a los martillos.

b: Ancho de la base superior de la tolva.

L: Longitud total de la tolva.

Figura 35

Tolva: Admisión del grano de maíz



Dimensiones de componentes:

- Grosor de cada martillo: 12.7 milímetros
- Longitud de cada martillo: 78 milímetros
- Número de martillos por cada eje: 32 unidades
- Grosor de cada disco: 6.35 milímetros

- Número de discos en cada eje: 9 discos

- Longitud de la tolva de alimentación:

$$\Rightarrow 9 \times 6.35 \text{ mm} + 8 \times 12.7 \text{ mm} = 158.75 \text{ mm}$$

4.25 mm adicionales por la holgura de discos y martillos.

Lo que nos da una longitud de tolva de alimentación de: 163 mm

Número de granos aproximado:

- Por ciclo / segundo = 30 granos / ciclo de 1 segundo.

- Diámetro medio de cada grano = 0.4"

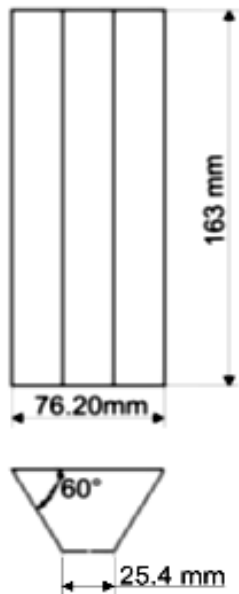
- Espaciamiento para el ingreso de granos = $a = 1''$

Ancho de la base superior de la tolva:

Relación 3/1, entonces: $b/a=3$, donde $a = 1''$ y $b=3''$

Figura 36

Ancho de la base superior de la tolva de alimentación



b. *Disco del Molino y Cargas en las Cuchillas.*

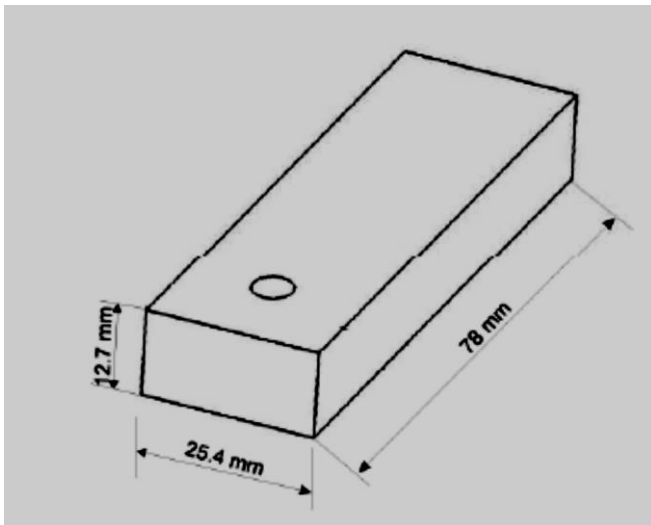
Las cargas en las cuchillas de cada eje de tornillo son producto de la fuerza de impacto producidas por los granos, estas cuchillas están sostenidas por un eje de diámetro 5/8 que atraviesa los discos del molino. Los martillos están hechos de acero templado de dureza 60 RC; de acuerdo al desgaste y el tiempo de uso, se podrán invertir para continuar usándola y finalmente serán cambiadas por otras nuevas. (Engormix, 2017)

- *Martillos y Discos.*

Cargas que soportan, Volumen y peso.

Figura 37

Dimensiones del martillo



$$Vol_1 = 12.7 \times 25.4 \times 78$$

$$Vol_1 = 25161.24 \text{ mm}^3$$

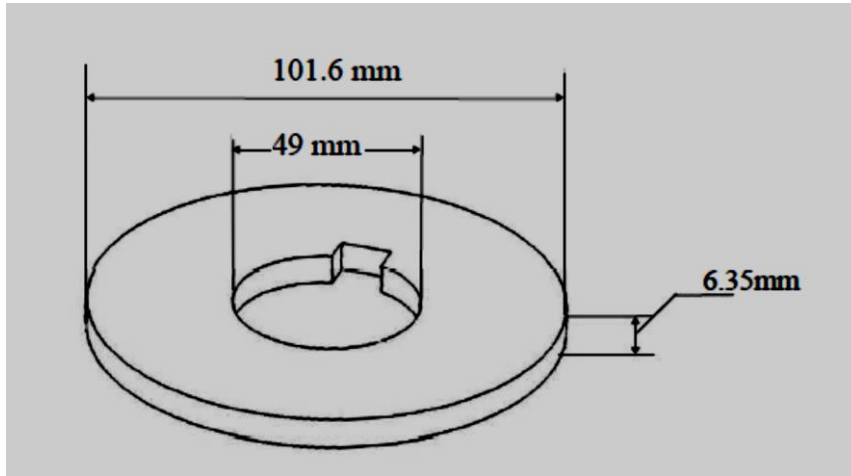
$$w_1 = \text{peso del martillo} = vol_1 \times \gamma_{\text{acero}}$$

$$w_1 = 0.000029032 \text{ m}^3 \times 78480 \text{ N/m}^3$$

$$w_01 = 1.9746 \text{ N.}$$

Figura 38

Dimensiones del disco



- *Barras.*

Longitud de barra: 163 mm.

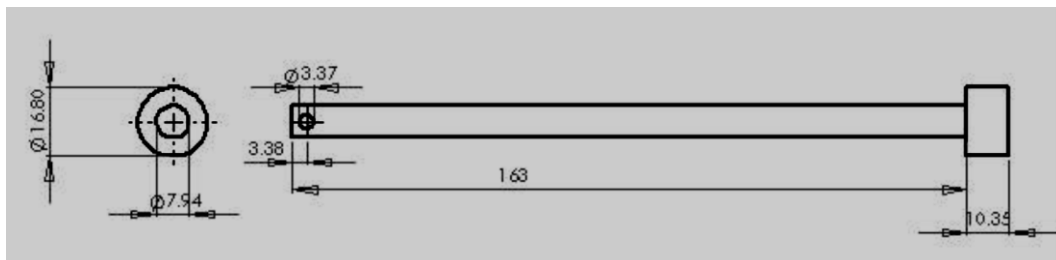
Diámetro de varillas: 7.94 mm.

Diámetro/grosor base varilla: 16.80 mm / 10.35mm.

Diámetro inserto: 3.37 mm.

Figura 39

Dimensiones de las barras



- *Torque producido por las fuerzas de impacto*

Figura 40

Torque reactivo de las fuerzas de impacto

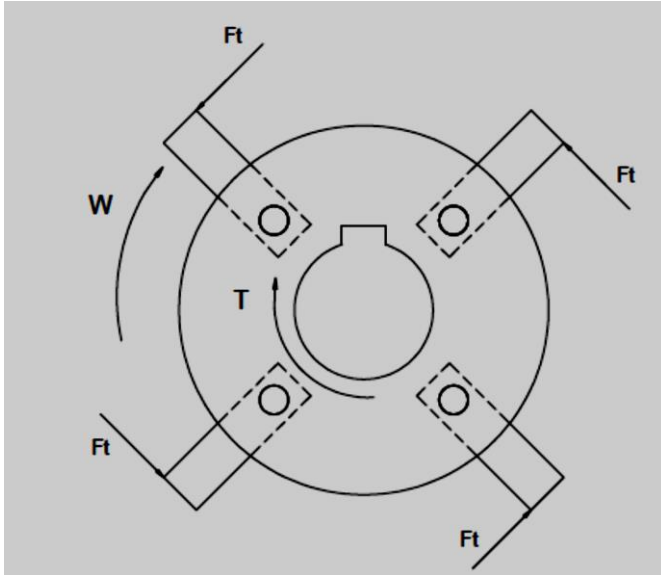
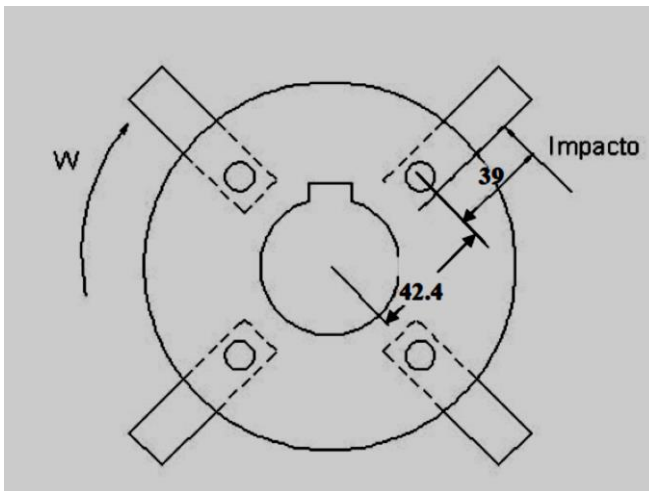


Figura 41

Torque reactivo de las fuerzas de impacto



Utilizando el concepto de par de fuerzas, y de acorde a la figura el torque reactivo por el impacto es:

$$\text{Torque de impacto} = (42.40 \text{ mm} + 39.00 \text{ mm}) \times (8 \times 260 \text{ N})$$

$$\text{Torque de impacto} = 169.312 \text{ N}$$

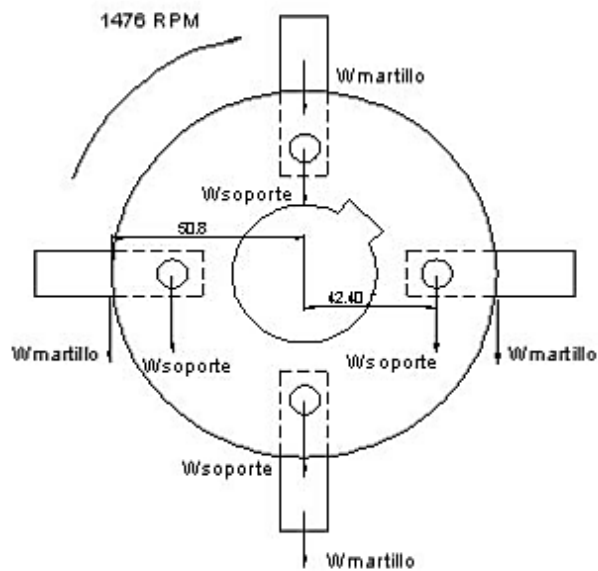
- *Torque resistivo inercial de la masa rodante.*

Evaluamos los 3 elementos que ayudan al aumento de resistencia en la inercia (masa), todo referido al circuito de impacto:

- 32 martillos de impacto por eje (1" x 1/2" x 78 mm).
- 04 ejes de sujeción por rotor ($\Phi 5/16"$ x 163 mm).
- 09 discos de sujeción por eje ($\Phi 4"$ x 1/4").

Figura 42

Torque resistivo inercial de la masa rodante



$$\Sigma M_o = (W \text{ martillo}) (73\text{mm}) + 2(W \text{ soporte}) (42.40\text{mm})$$

$$\Sigma M_o = 2 (1.9746\text{N}) (73\text{mm}) + 2 (0.8391\text{N}) (42.40\text{mm})$$

$$\Sigma M_o = 0.359 \times 8 = 2.875 \text{ N-m}$$

- *Malla de tamiz de fondo.*

El proceso de molienda tiene que ver con el tamaño de grano inferior a la abertura de malla del tamiz de fondo, pasa por el mismo y cae en el recipiente colector. El aire aspirado a través de la tolva por el efecto de giro del rodete de palas acelera la evacuación del material molido. Un sistema de filtro intercalado separa las partículas más finas acarreadas por el aire. (Agroindustria, 2013)

Para granos se usa generalmente los tamices con agujeros de 0,20, 0,25, 0,5 y 0,75 que dan buenos resultados en cuanto a capacidad y tamaño de grano molido. (Agroindustria, 2013)

Este molino puede reducir la partícula hasta 100 μm . El tamaño de partícula depende de la velocidad del rotor, tamaño del tamiz, y velocidad de introducción del material. El uso de tamices gruesos produce partículas de menor tamaño porque estas atraviesan tangencialmente el orificio debido a la alta velocidad del motor. (Agroindustria, 2013)

Figura 43

Tamiz: 0.212 mm.



Figura 44

Tamiz: 0.250 mm.



Figura 45

Tamiz: 0.300 mm.



Figura 46

Tamiz: 0.425 mm.



Figura 47

Tamiz: 0.500 mm.



Figura 48

Tamiz: 0.600 mm.



Figura 49

Tamiz: .710 mm.



4.1.6.9. Sistema de Transmisión del Molino.

Se realiza la descripción y características de los componentes de la transmisión.

a. *Engranajes.*

El cálculo se aproxima al valor requerido de potencia, por lo que se tomaron en cuenta las dimensiones siguientes:

- Diámetro de paso del engranaje = 170 mm.
- Ancho del diente del engranaje = 95 mm.
- Número de dientes del engranaje = 26 dientes.
- Angulo de la hélice $\Psi = 23.41^\circ$
- Velocidad del engranaje = 1476 RPM.
- Angulo de presión en el plano norma $\Theta_n = 25^\circ$
- Material = fierro fundido.

$$S_{at} = 3 \text{ Kgf} / \text{mm}^2$$

$$S_{ac} = 34 \text{ Kgf} / \text{mm}^2$$

b. *Rodamientos.*

Rodamientos rígidos de bolas.

Tabla 22

Características de los Rodajes en el molino de martillos

Propiedades	Características de Diseño
Utilizado en diámetros relativamente pequeños.	Diámetro del Eje = 45 mm
Rodamiento de una hilera de bolas.	Limitación axial en el diseño debido a las dimensiones de la carcasa
Soportar cargas moderadas	Fuerza impacto máxima = 2546.95 N
Rodamiento doble efecto	Soporte del eje en ambos extremos de la carcasa para cargas axiales en ambos sentidos.

Con los valores de las capacidades dinámicas y estáticas de los rodamientos, comparamos con las tablas de rodamientos marca SKF de una hilera de bolas con contacto angular (SKF , 2019) (Tabla 23):

Tabla 23

Tabla de rodamientos SKF

Tabla de rodamientos SKF												
N°	d mm	D mm	B mm	d ₁ mm	D ₁ mm	r mm	r ₁ mm	a mm	CAPAC KN		RPM _{MAX}	
									C	C ₀	Grasa	Aceite
7209B	45	85	19	60.6	70.2	2.0	1.0	37	27.50	21.20	6300	8500
7309B	45	100	25	66.4	79.6	2.5	1.2	43	45.00	33.50	5600	7500

Para el 1er. Apoyo “A” ya que $C_1 = 24.45 \text{ KN} < 27.50 \text{ KN}$

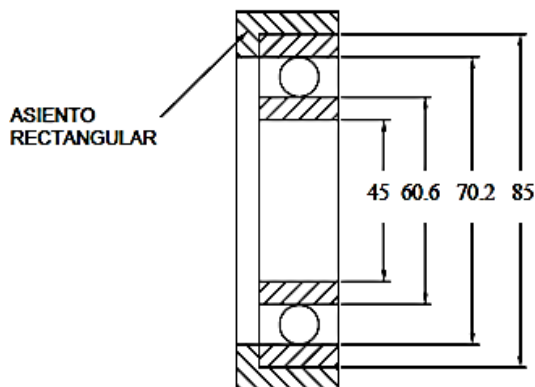
Para el 2do. Apoyo “D” ya que $C_2 = 22.62 \text{ KN} < 27.50 \text{ KN}$

c. Asiento de rodamientos

Dimensiones del asiento del rodamiento

Figura 50

Dimensiones del asiento de rodamiento



Diámetro interno mínimo = 82.1 mm

Diámetro interno máximo = 85mm

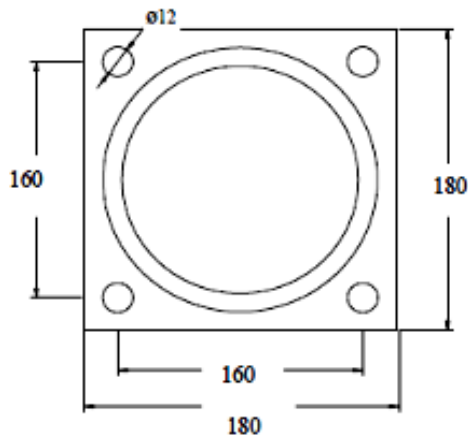
Espesor mínimo necesario = 1,12 mm

Espesor del asiento = 5 mm

Dimensiones lineales del cubo del asiento para el ajuste por pernos a la carcasa:

Figura 51

Dimensiones lineales del cubo del asiento



d. Dimensionamiento del canal chavetero

Altura de la chaveta = 9 mm

Ancho de la chaveta = 14 mm

La chaveta está colocada por ajuste a presión en el eje, con las siguientes dimensiones:

Profundidad de la chaveta = 0,5 x (altura del canal chavetero)

Profundidad de la chaveta = 4.5 mm

Longitud de la chaveta = Longitud del eje de sujeción

Longitud de la chaveta = 163 mm.

e. Sistema de potencia.

Torque neto en el eje = 172.1850 N-m

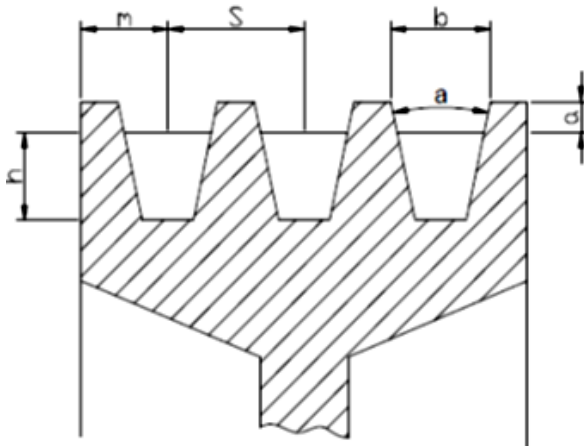
Potencia al eje mínima necesaria: 4.235 KW = 5.758 HP

f. Fajas y Poleas.

- Transmisión por fajas en V.
- Velocidad del eje del molino = 1 476 RPM.
- Velocidad del eje del motor = 1 740 RPM.
- Velocidad del eje del molino: 1 476 RPM < 1 740 RPM, menor a la que posee el motor propulsor, con lo cual se hace necesaria una transmisión por fajas en V.

Figura 52

Fajas en V 3V335

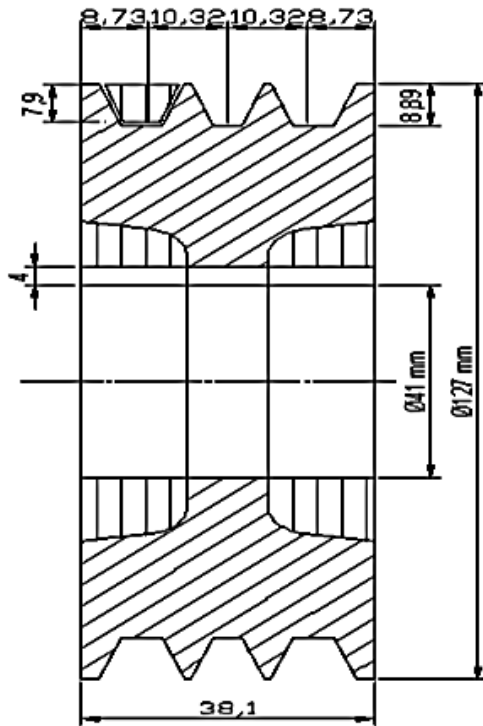


- Tipo de faja y las dimensiones de las poleas: Servicio normal de 8 a 10 horas por día, lo habitual para la producción.
- Numero de fajas = se puede usar 2 fajas, pero para mayor seguridad colocaremos poleas con 3 fajas 3V335.

Por los diámetros que tiene la máquina, tenemos que las dimensiones de las poleas para el eje de molino son:

Figura 53

Vista Isométrica de la Polea Mayor.



- Diámetro de polea menor = 4.12"

- Diámetro de polea mayor = 5"

- 3 fajas 3V335

g. *Motor*

- Potencia: 40 HP.

- Voltaje: 230 V.

- Frecuencia: 60 Hz.

- Fase: 3.

- Corriente a plena carga: 16 A.

- Velocidad: 1740 RPM.

- Factor de servicio: 1.15.
- Clase de aislamiento: F.
- Eficiencia a plena carga: 82.5%.
- Factor de potencia: 0.9.
- Tipo de montaje: F1.

El motor de 40 HP que tiene 1,740 RPM, esta es la velocidad de giro del eje de potencia.

4.1.7. Evaluación Granulométrica Comparativa.

El objetivo de la tesis es evaluar sobre los efectos del tamaño de partícula molida en la homogenización de los insumos. Por lo que se realizó comparativos de tiempos de molienda. Así, la planta procesadora busca nuevas prácticas que aseguren la optimización de la molienda con costos operacionales óptimos.

El método aplicado para reducir el tamaño de partícula es el molino de martillo (MM).

4.1.7.1. Características de la partícula de maíz molido.

- En el proceso de molienda, al reducir de tamaño el grano de maíz en partículas, resultan partículas de tamaños grandes a pequeñas.
- El tamaño resultante y requerido varía por su gran superficie, forma y/o tamaño.
- En función del tamaño de partícula resultante, las propiedades físicas y químicas del maíz molido van a diferir.
- La molienda, siendo un proceso mecánico, el producto resultante final de la molienda no tendrá un tamaño igual y uniforme. Tendrá una variedad de tamaños

- El requerimiento de tamaño de partícula es determinado por las etapas de crecimiento y desarrollo de los animales, los cuales tendrán un requerimiento de finura para inicio y en acabado con requerimiento de partículas más groseras.

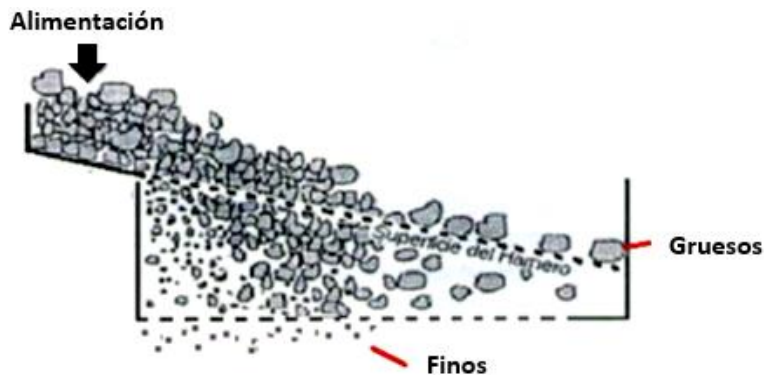
4.1.7.2. Tamaño de Partícula de maíz molido.

El tamaño de partícula molida influye sobre el consumo medio diario de los cerdos.

- Material Fino: Grano de maíz molido, cuyo tamaño es inferior a la dimensión de la criba de paso.
- Material Grueso: Grano de maíz molido, cuyo tamaño es superior a la dimensión de la criba de paso.

Figura 54

Tamaño de molido resultante de molido de maíz



4.1.7.3. Factores que determinan el Tamaño y Homogeneidad de la Partícula obtenida.

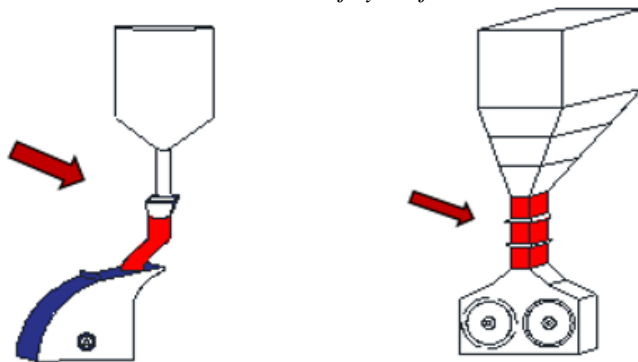
a. Operación de Proceso Mecánico.

- Tiempo de proceso
- Tamaño del tamiz o criba.
- Velocidad rotacional del motor:

- ✓ Molino de un eje: 1,800 rpm
- ✓ Molino de dos ejes: 2,238 rpm
- Inclinação del embudo de alimentación: Determinará en forma parcial la fuerza y acción de los martillos ejercidos sobre al grano de maíz y determinando el tamaño de partícula.

Figura 55

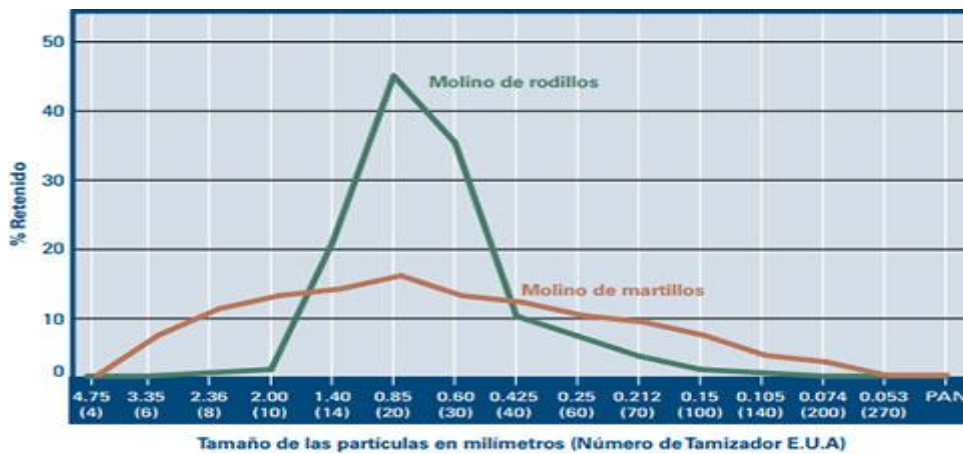
Embudos de los Molinos de 1 Eje y 2 Ejes



- Tamaño medio de partícula (TMP): Metodología descrita por ASAE (1995).

Figura 56

Diferencia en la distribución de partículas entre un molino de martillos y un molino de rodillos. Generalmente, el molino de rodillos produce partículas de un tamaño más uniforme.



4.1.7.4. Velocidad de Giro del Motor.

La velocidad de giro del rotor aplicado por el motor, afecta y determina la distribución de los tamaños de las partículas de maíz obtenidos en el proceso de molienda.

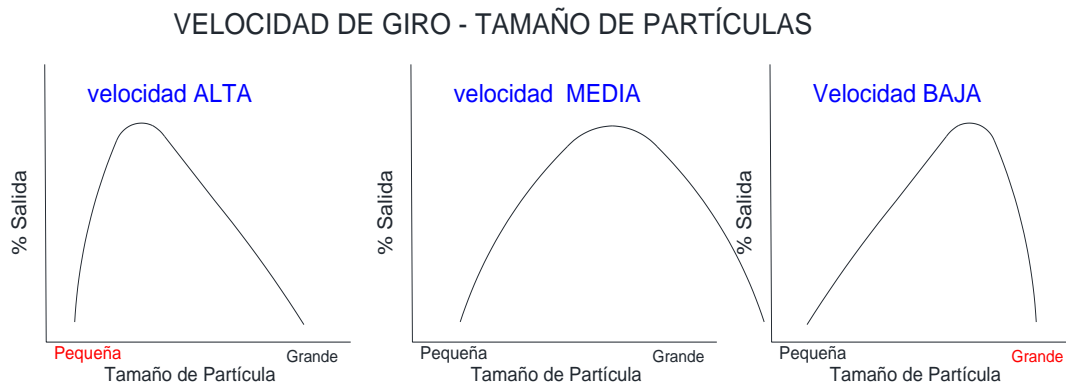
Figura 57

Motor eléctrico de molino de un eje



Figura 58

Velocidad de Giro del Motor determina el tamaño de las partículas

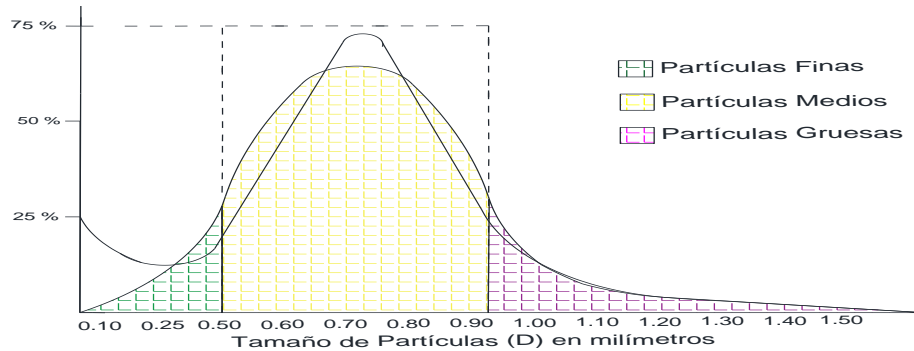


4.1.7.5. Zaranda, Criba o Tamiz.

La zaranda determina el tamaño de las partículas deseadas, el molino tiene zarandas que van a reducir el tamaño del elemento (grano de maíz).

Figura 59

Cantidad en porcentaje por tamaño de partículas resultantes de la molienda



Las zarandas además de la reducción del tamaño de partícula, también controla el tamaño de la partícula en el egreso y a la vez las partículas que nos da el tamaño de los agujeros de la zaranda, recirculan en el molino para su molienda y ajusta al equipo a la menor cantidad de producción de partículas finas.

Clasificación de los tamices.

En el presente trabajo, nos enfocamos a la molienda de maíz para la producción de alimento balanceado para porcinos, donde en la tabla siguiente presentamos los tamaños de apertura de huecos (de forma redondeada).

Tabla 24

Tamaño de abertura de huecos en zarandas

Malla N° (TYLER)	Tamaño de abertura (mm)
25	0.710
30	0.600
35	0.500
40	0.425
50	0.300

60	250
70	212

Tabla 25

Tamaño de Zaranda por Etapas de Crecimiento de Porcinos

Etapa de Crecimiento	Aperturas de la Zaranda(mm)
Cerdos Inicio	0.425
Cerdos Crecimiento - Engorde	0.500
Cerdos Reproductores	0.600

4.1.7.6. Influencia del Tamaño de Partícula en la alimentación de Cerdos.

En la crianza de cerdos leña fuente de energía primaria son los granos de cereales.

El 70% de los costos de producción en una granja de cerdos son los alimentos, es por esto que es importante el mejorar la eficiencia alimenticia, lo cual repercutiría en reducir los gastos y costo de producción. (L. Steinhart, 2012)

- Una molienda demasiado fina aumenta: Problemas de polvo, costo de procesamiento del alimento, y la incidencia de las úlceras gástricas en los cerdos. Es por esto que para mejorar la eficiencia alimenticia mediante la reducción del tamaño de partícula debe ser compensada por estas desventajas. (L. Steinhart, 2012)
- Cerdos jóvenes se benefician en menor medida con el tamaño de la partícula que cerdos de engorde. (L. Steinhart, 2012)

Investigaciones realizadas demuestran los efectos del tamaño de partícula en el suministro de alimento balanceado respecto al rendimiento y crecimiento de cerdos de granja:

- *Cerdos en Crecimiento y Engorde.*

La reducción de tamaño de partícula de 900 micras a más, mejora la eficiencia alimenticia en un porcentaje de 1 a 1,2% por cada reducción de 100 micras de tamaño de partícula.

La reducción en el tamaño de partícula no influye en la ganancia diaria, pero reduce el consumo diario de alimento resultando en una mejor eficiencia alimenticia.

El coste de energía para reducir el tamaño de partícula puede ser compensado con la mejora en la eficiencia alimenticia, siempre y cuando el equipo disponible pueda satisfacer las necesidades de procesamiento de grano.

Cerdos en crecimiento al reducir el tamaño de partícula de los ingredientes, se incrementa el área de superficie del grano. Esto permitirá una mayor interacción con enzimas digestivas.

- *Cerdos de Acabado.*

En cerdos de acabado, la molienda menor a 500 micras continúa mejorando la eficiencia alimenticia hasta el tamaño de partícula más bajo probado.

- *Cerdas.*

En cerdas lactantes con partículas e tamaño de 700 a 600 micras. La reducción de tamaño de partícula de 1200 a 400 micras mejoró el peso promedio de la camada en 1,3% por cada reducción de 100 micras en el tamaño de partícula.

El consumo de alimento se incrementa con la disminución del tamaño de partícula. Por lo tanto, los cereales para dietas de cerdas lactantes deben tener un tamaño de partícula similar cerdos en precebo y finalización, sin embargo, los productores quizás prefieran un mayor tamaño de partícula para cerdas gestantes.

Efecto del tamaño de partícula en la dieta sobre el rendimiento de crecimiento y engorde de los cerdos de granja

Tabla 26

Efectos del tamaño de partícula en el crecimiento - engorde de cerdos

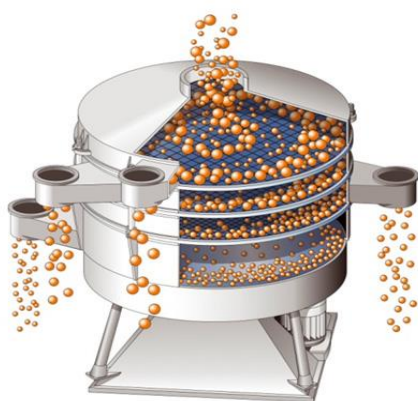
Efectos	Tamaño de partículas, micras			
	900	700	500	300
Ganancia promedio diaria	0.84	0.80	0.85	0.78
La ingesta media diaria de alimento	1.29	1.21	1.23	1.19
Eficiencia de alimentación	1.55	1.52	1.46	1.53
Molino de 1 eje: Tasa de producción (T.M./hora)	3.92	2.80	1.61	0.89
Molino de 2 ejes: Tasa de producción (T.M./hora)	5.04	3.60	2.07	1.14

- *Evaluación Granulométrica.*

Se realizó la evaluación de tamaño de partículas molidas, para lo cual se realizó con la ayuda de tamices giratorios, con zarandas de los diversos tamaños paramétricos en la producción requerida. La evaluación se realizará de la manera que se da en la figura 23, y a continuación en la figura se muestra la técnica de evaluación granulométrica:

Figura 60

Tamices giratorios, Evaluación de % de tamaño de partículas



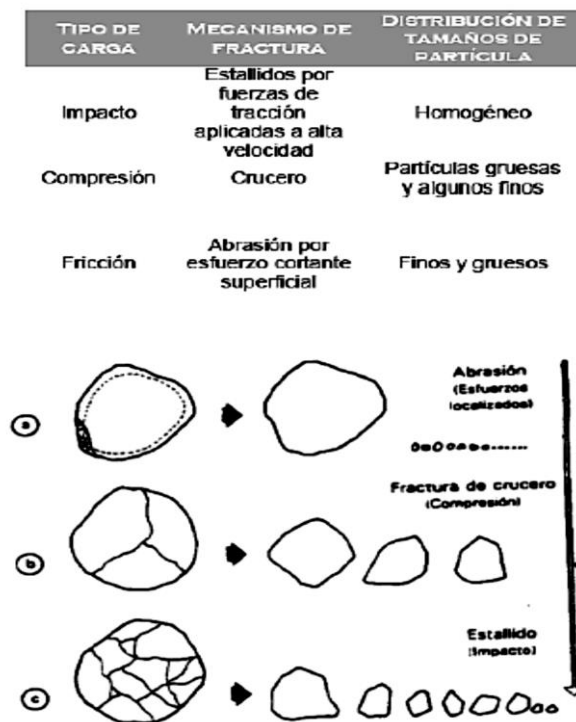
Se realizó la evaluación de tamaño de partículas molidas, para lo cual se realizó con la ayuda de tamices giratorios, con zarandas de los diversos tamaños paramétricos en la producción requerida. La evaluación se realizará de la manera que se da en la Figura 60, y a continuación en la figura se muestra la técnica de evaluación granulométrica:

- *Formas en la Fractura de partículas.*

Las formas de fractura o reducción de tamaño de los granos dependerán del esfuerzo y la forma en que se aplica. Se aplicará el siguiente mecanismo de fractura:

Figura 61

Mecanismo de Fractura



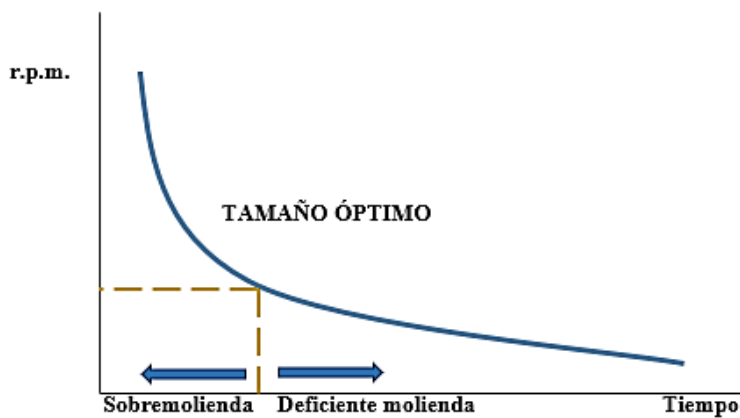
Fractura por estallido, Ocurre por la disgregación por la aplicación de fuerzas de tracción, las cuales se dan a alta velocidad y dando como resultado un gran número de partículas de diversos tamaños.

4.1.7.7. *Proceso de Molienda.*

La molienda debe ser controlada para garantizar el tamaño óptimo de molienda. La Figura 62, nota una curva de optimización para un tamaño óptimo de molienda que coadyuve en la homogenización de productos en la producción de alimento balanceado.

Figura 62

Curva de optimización de molienda



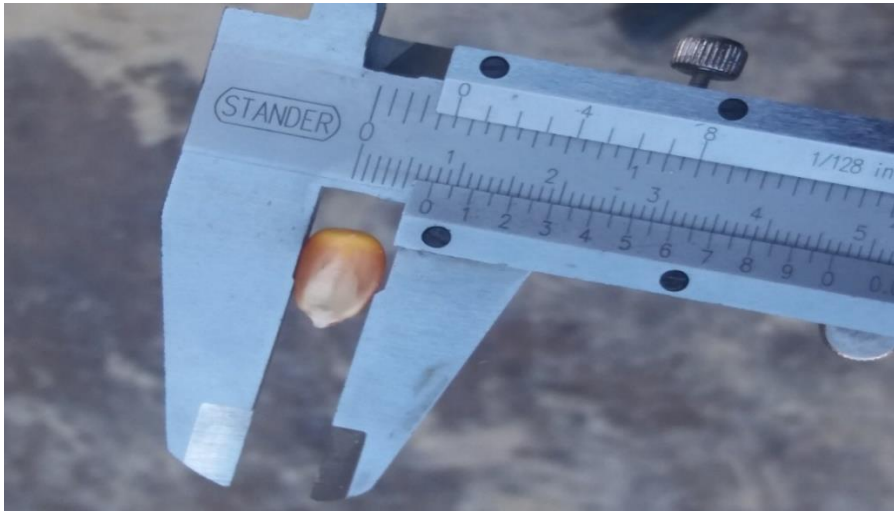
En la figura 62, de acuerdo a la línea punteada, nos indica que si aumentamos el tiempo de molienda hacia la izquierda se produciría la sobre molienda, obteniendo maíz molido de tamaño muy fino, pero los costos son muy elevados debido a la pérdida de energía. En caso de disminuir el tiempo de molienda, la desviación sería hacia la derecha, donde los costos de molienda se reducirán, pero tendremos un tamaño de molido grosero. Por lo tanto, cualquier desviación hacia un extremo u otro es indeseable para la obtención de un tamaño óptimo de molienda a un precio razonable.

a. *Tamaño de Grano de maíz amarillo duro.*

Se considera el tamaño promedio de granos de un volumen de 500 kilos, donde se tomó muestras representativas al azar y contrastándolas y se obtuvo un tamaño promedio:

Figura 63

Medición de tamaño de grano de maíz con vernier – Grano promedio.



Tamaño de 7.6 milímetros de ancho de grano de maíz amarillo duro.

- Molino de martillos de 1 eje y de 2 ejes
- Potencia del molino: 2,2 kw/h
- Tiempo de molienda: 8:28 min
- Tamices Tyler
- Torre de tamices
- Vernier
- Balanza analítica
- Palas o espátulas
- Reloj
- Maíz amarillo duro

Procedimiento Experimental.

- Pesaje en la balanza analítica por sacos de 50 kilos, cantidad a trabajar 1,000 gramos.
- Toma de muestra representativa del lote 56, determinación de tamaño mediante el tamizado en zarandas de medición durante 2 minutos
- Procedimiento de vaciado de maíz a la poza cubicada de 2 T.M. y 3T.M. respectivamente para su elevación por tornillo hacia la tolva N° 01 y 02 respectivamente para su posterior remisión al molino.
- Pesos de maíz grano y maíz molido (T.M./h):

Tabla 27

Peso de maíz grano, molido y pérdidas por molienda

	1 eje de tornillo	2 ejes de tornillo
Peso de Maíz grano antes del molido (kilos)	1,616	2,074
Peso de maíz luego de la molienda (kilos)	1,610	2,070
Pérdidas en la molienda por causa del pulverizado (kilos)	6.00	4.00

Determinación de la Energía requerida para la Molienda

Ley de Bond en molienda: Tercera teoría o Ley de Bond

$$E = 10 \times W_i \times \left(\frac{1}{\sqrt{P80}} - \frac{1}{\sqrt{F80}} \right) \dots\dots\dots [Ecuación 7]$$

E = Consumo Específico de Energía, Kwh/T.M. molida

Trabajo para reducir un grano de maíz.

F80 = Tamaño 80% pasante en la alimentación, µm

P80 = Tamaño 80% pasante en el producto, μm

Wi = Índice de Trabajo de Bond, indicador de la Tenacidad del grano, Kwh/ton

F80 y P80 son denominados la tarea de molienda, siendo la relación de conversión, donde se da el cambio de tamaño del grano de maíz (F80) a tamaño de partículas de maíz molido (P80).

Con la anterior ecuación podemos medir el índice de Bond, en la que podemos calcular cuanta energía en kW/h necesitamos para moler una tonelada (T.M.) de maíz amarillo duro.

Wi: (Índice de trabajo del maíz) = 1.21168 - ref. Laboratorio de molienda y tamizado.

$$E = 10 \times 1.21168 \times \left(\frac{1}{\sqrt{0.50}} - \frac{1}{\sqrt{7.6}} \right) =$$

F80=7.6mm y P80=0.50 mm

$$E = \mathbf{12.7405176 \text{ kwh/ton}}$$

Índice de molturabilidad: (M); $M = P/E$

$$M = \frac{0.09 \text{ mm}}{35.994109} = 0.0025 \text{ ---- } 0.2111$$

Contenido de humedad del grano de maíz: 11%

Peso específico (relación masa - volumen) de maíz: 720 kg/m³.

- Se realizó las moliendas comparativas por tiempos de molienda con los r.p.m. de 1,800 r.p.m. en el molino de 1 eje y 2,250 r.p.m. en molino de 2 ejes. (Tablas N° 03 y 10), calculamos los gastos de energía:

$E = \text{Consumo Específico de Energía, Kwh/T.M. molida}$

Trabajo para reducir un grano de maíz.

$$E = 12.7405176 \text{ kwh/ton.}$$

La potencia según las especificaciones del equipo es de 40 HP, al hacer los ensayos, vemos que el tamaño del motor es sobredimensionado, en donde solo requiere la potencia de 22,38 kW en promedio, osea 29.84 H.P. que redondeado es de 30 HP, se le sobredimensiona el motor para que no tenga problemas en el arranque del molino.

Figura 64

Amperímetro de pinza empleado



Realizando el cálculo del Consumo Específico de energía (E) por la cantidad procesada tenemos que:

Tabla 28

Costos de la energía consumida por hora de trabajo del molino

Ítems	Molino de 1 Eje	Molino de 2 Ejes
Peso de Granos de Maíz a moler (T.M.)	1.61	2.07
R.P.M.	1,800	2,250
Tiempos de Molienda	60 minutos	60 minutos
Tamaño de partículas:	500 micrones	500 micrones
Consumo de energía (kwh)	20.5122	26.3726
Costos (S/.)	12.25	15.75

Nota: En Perú 1 kWH cuesta 0.181 U.S.\$, = 0.5973 soles

4.1.7.8. Análisis Granulométrico en Laboratorio.

Figura 65

Análisis Granulométrico. Porcentajes



Es la técnica de evaluación de una muestra de grano molido de maíz, donde se le somete al tamizado por las zarandas de diversos tamaños, de tal forma que se pueda determinar la cantidad en peso o porcentaje de cada tamaño de la abertura de la malla que constituye el total de la muestra.

a. Clasificación de las Zarandas o Tamices

En la Empresa Candia Alimentos Balanceados, para el molido y tamizado del maíz amarillo duro y específicamente para la producción de alimento balanceado de cerdos, se tiene las zarandas de las características siguientes:

Tabla 29

Número de Zaranda y Tamaño de abertura de Zaranda en milímetros

ETAPA DE DESARROLLO EN CERDOS	ZARANDA N° (US STD ó TYLER)	ABERTURA DE LA ZARANDA (mm)
Cerdos Inicio	40	0.425
Cerdos Crecimiento - Engorde	35	0.500
Cerdos Reproductores	30	0.600

b. Toma de Muestra representativa de la Molienda.

- Toma de muestra representativa aleatoria y de cantidad representativa de maíz molido. Cantidad: 1 kilo.
- La muestra de maíz molido fue tamizada con zarandas de diferentes diámetros de abertura de malla, ensamblados en una columna y luego se procede a movimientos vibratorios.
- Luego de 4 minutos se realizó el pesaje del material resultante de cada uno de los tamices, donde al sumar todos los pesos de los tamices, dieron el peso total del producto inicial. (Tablas 30 y 31).

Figura 66

Tamizado, con diferencia diametral en vibración



Tabla 30*Curva granulométrica. Tamaño de Partícula Molino de 1 eje (Tornillo simple)*

Tamiz n°	Tamaño de Partícula (µm)	Peso retenido (g)	Porcentaje de Tamaño de Partícula	Porcentaje acumulado de tipificación	Tipificación de tamaños
70	212	3	0.3		
60	250	55	5.5	5.8	Finos
50	300	110	11		
40	425	220	22		
35	500	490	49	82.0	Medios
30	600	110	11		
25	710	12	1.2	1.2	Gruesos

Nota: Masa de muestra 1000 gramos**Tabla 31***Curva granulométrica. Tamaño de Partícula Molino de 2 ejes (Tornillo doble)*

Tamiz n°	Tamaño de Partícula (µm)	Peso retenido (g)	Porcentaje de Tamaño de Partícula	Porcentaje acumulado de tipificación	Tipificación de tamaños
70	212	5	0.5		
60	250	45	4.5	17.0	Finos
50	300	120	12		
40	425	225	22.5		
35	500	495	49.5	82.2	Medios
30	600	102	10.2		
25	710	8	0.8	8.0	Gruesos

Nota: Masa de muestra 1000 gramos

c. *Tamaño de Partículas retenidas por cada Tamiz.*

Para calcular el tamaño de las partículas retenidas en cada tamiz, se toma el promedio de los tamaños de las partículas de tamaño máximo y mínimo de cada uno de los tamices.

$$D_n = \frac{t_{n \text{ min}} + t_{n \text{ max}}}{2} \dots\dots \text{Ecuación 8}$$

Donde:

D_n = Diámetro o tamaño de las partículas retenidas en el tamiz “n”

$t_{n \text{ min}}$ = Apertura de malla del tamiz “n”

$t_{n \text{ max}}$ = Apertura de malla del tamiz “n-1”

De acuerdo a las tablas 12 y 14. Tenemos el cálculo:

Cerdos Inicio:

$$D_n = \frac{0.425 + 0.300}{2} = 0.3625 \text{ mm}$$

Cerdos Crecimiento – engorde:

$$D_n = \frac{0.500 + 0.425}{2} = 0.4625 \text{ mm}$$

Cerdos reproductores:

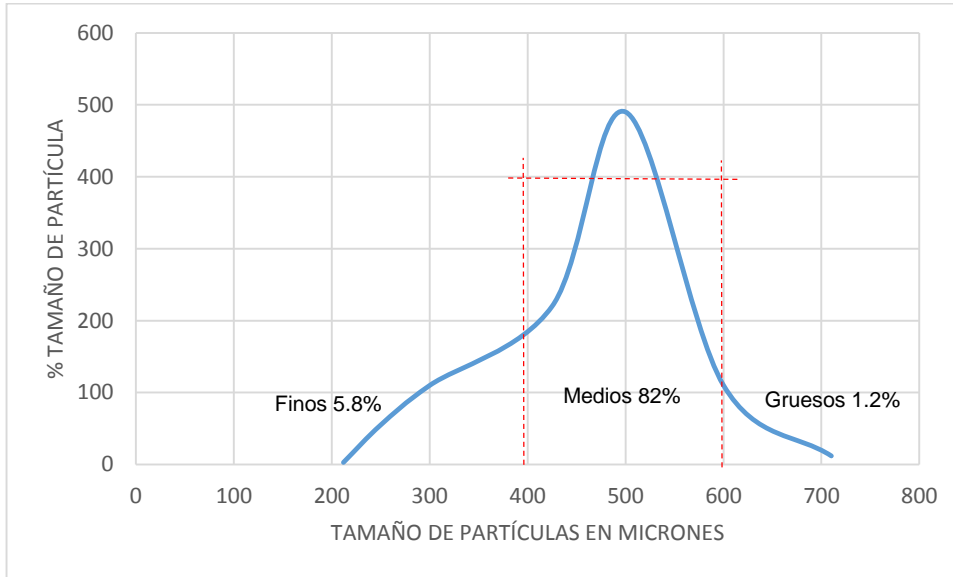
$$D_n = \frac{0.600 + 0.500}{2} = 0.5500 \text{ mm}$$

d. *Curva granulométrica.*

Para determinar el tamaño de partícula, se expresó como el porcentaje relativo de su peso en cada tamaño que se dio en las zarandas.

Figura 67

Curva granulométrica. Molino de 1 eje o tornillo simple



Conforme a la Figura 66, de acuerdo a la granulometría obtenida con el molino de un eje, se tiene que el tamaño de partícula mayoritario es de medios con un 82% del total de volumen molido, con un 5.8% de partículas finas y un 1.2% de partículas gruesas (Figura 68).

Figura 68

Granulometría obtenida en el molino de un eje ó tornillo simple

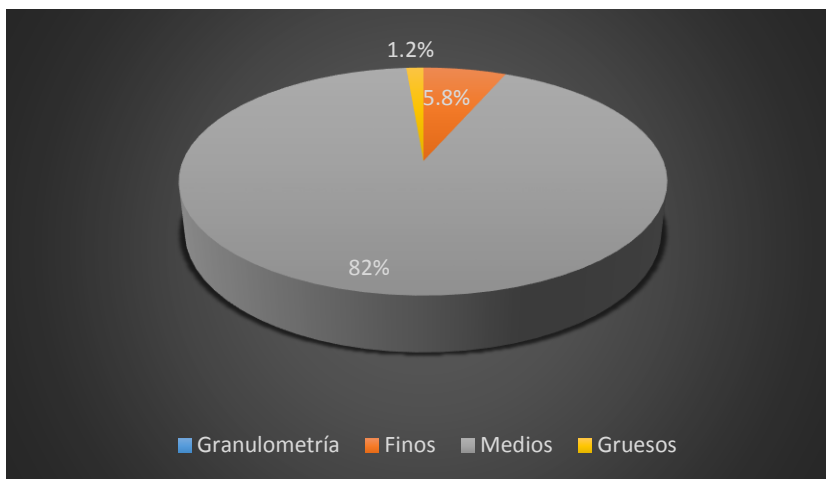
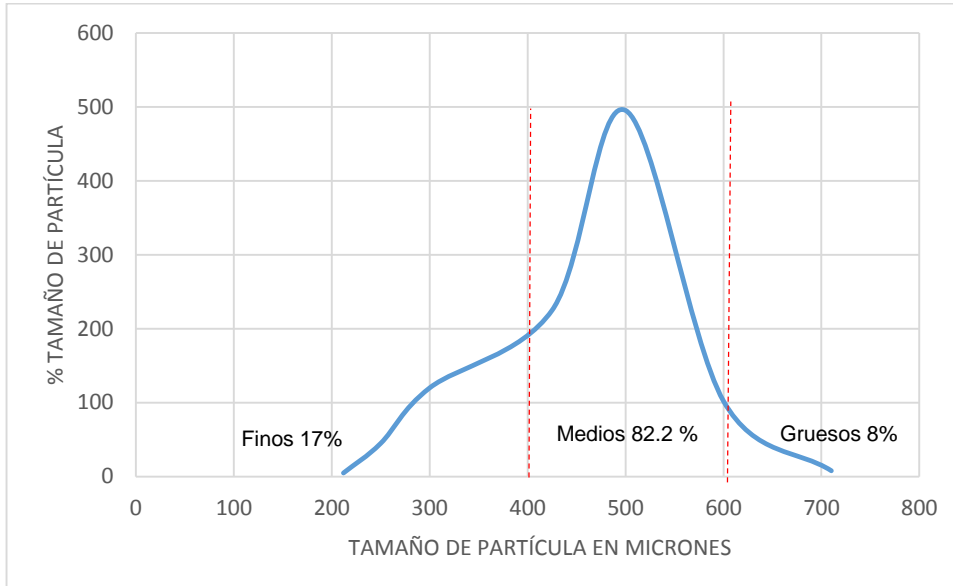


Figura 69

Curva granulométrica. Molino de 2 ejes ó de doble tornillo



De acuerdo a la Figura 68, de acuerdo a la granulometría obtenida con el molino de dos ejes, se tiene que el tamaño de partícula mayoritario es de medios con un 82.2% del total de volumen molido, con un 17% de partículas finas y un 8% de partículas gruesas (Figura 70).

Figura 70

Curva granulométrica. Molino de Tornillo doble (2 ejes)

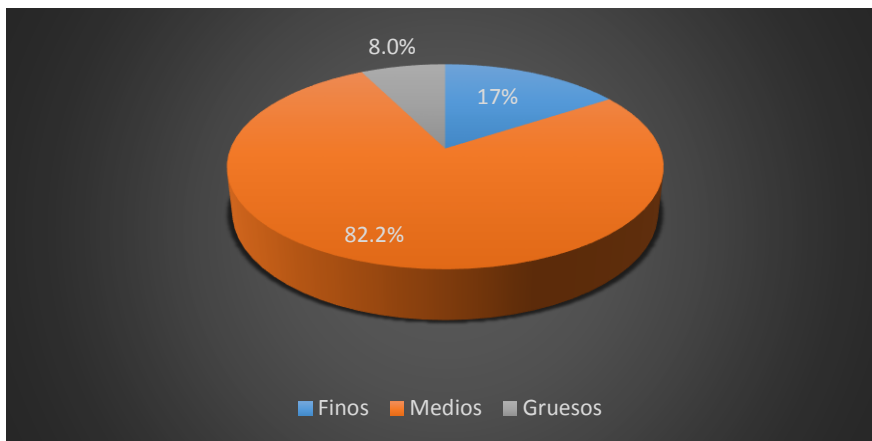


Tabla 32*Comparativo granulométricos molinos de tornillo simple y doble*

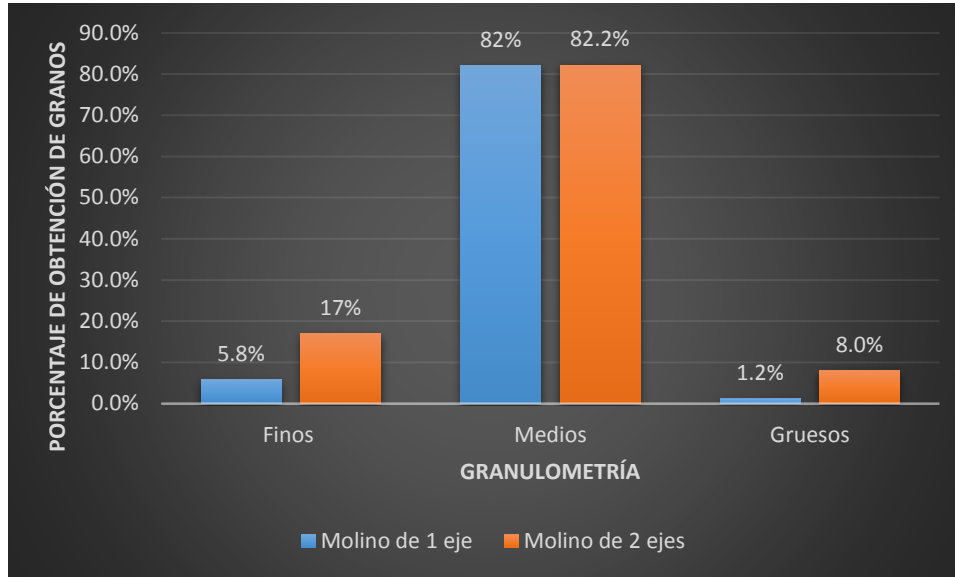
Granulometría	Molino de 1 eje	Molino de 2 ejes
Finos	5.8%	17%
Medios	82%	82.2%
Gruesos	1.2%	8.0%

De acuerdo a la Tabla 32, podemos determinar que ambos molinos producen granos o partículas medias en porcentajes de 82 a 82.2%, siendo el molino de tornillo doble (2 ejes) el que produce mayores partículas medias por un estrecho margen, sin embargo, el molino de tornillo doble (2 ejes) produce mayor porcentaje de partículas finas (17%) en comparación del molino de tornillo simple (1 eje) (5.8%) por la razón de contar con dos ejes y ser más eficiente en la trituración fina de molienda de granos.

Ahora en cuanto a la producción de granos o partículas gruesas se tiene que el molino de tornillo doble produce mayor porcentaje de gruesos (8%) en comparación del molino de tornillo simple (1.2%), esto debido a la mecánica propia de molienda del molino de tornillo doble que la velocidad de giro y proceso produce mayor proporción de granos finos, así como gruesos (Figura 71).

Figura 71

Comparativo granulométrico en molienda



4.2. Contrastación de hipótesis

4.2.1. Hipótesis general

Comparativo en los procesos de molienda con dos tipos de molinos de tornillo simple (1 eje) y tornillo doble (2 ejes):

Tabla 33

Comparativo de procesos de molienda

Molino de Martillos de T. Simple	Molino de martillos de T. Doble
En los martillos de un solo tornillo, el rendimiento del proceso invariablemente disminuye cuando aumenta el desgaste del tornillo), menores tiempos de inactividad.	Mayor productividad de los procesos, mediante la acción de bombeo positivo de los tornillos, la capacidad de gestionar una más amplia variedad de materias primas y de formulaciones de mezcla, entre las que se incluyen las recetas complejas, tornillos con velocidad que compensa el desgaste de los mismos

4.2.2. Hipótesis específicas

“Probablemente el molino de tornillo doble produce una granulometría menor, pero con mayor desnaturalización del grano, con menores tiempos de molienda; en relación al tornillo de tornillo simple”:

- El molino de tornillo simple produce 1,610 kilos por hora de grano molido a comparación del molino de tornillo doble que es de 2,070 kilos por hora.
- El molino de 1 tornillo produce 82% de partículas de tamaño medio y el molino de tornillo doble eje produce 82.2 % de partículas de tamaño medio.

La diferencia se tiene en la producción de partículas finas en donde el molino de doble tornillo produce mayor cantidad de finesa (17%) con un mayor porcentaje frente a un 5.8% del molino de tornillo simple.

- Tenemos que el molino de doble tornillo, produce más kilos por hora, y teniendo un mayor consumo de energía poco significativo.

“Probablemente en cuanto a la aptitud de y mayores consumos de energía molienda y consumo específico de energía comparativo el molino de doble tornillo difiere comparativamente al de un tornillo simple”.

- El molino de doble eje tiene mayor consumo de energía (5.8604 kW), lo cual no es muy significativo y es compensado con la mayor productividad en la molienda.

Probablemente se pueda elaborar un manual de reparación y mantenimiento para cada tipo de molino.

Se realizó un plan de mantenimiento de los molinos.

4.2.2.1. Prueba de hipótesis general.

a. Hipótesis alterna.

Existe una relación entre los procesos de molienda con dos tipos de molinos de tornillo simple (1 eje) y tornillo doble (2 ejes).

b. Hipótesis nula

No existe una relación entre los procesos de molienda con dos tipos de molinos de tornillo simple (1 eje) y tornillo doble (2 ejes).

Prueba de correlación “r” de Pearson

Tabla 34

Correlación de las variables

Correlaciones		
Ítems	MTS	MTD
Producción kg/hora	1.61	2.07
Producción partículas medias	82.00	82.20
Producción partículas finas	5.80	17.00

Tabla 35

Valores de correlación "r" Oearsin

r = 1	Correlación perfecta
0.8 < r < 1	Correlación muy alta
0.6 < r < 0.8	Correlación alta
0.4 < r < 0.6	Correlación moderada
0.2 < r < 0.4	Correlación baja
0 < r < 0.2	Correlación muy baja
r = 0	Correlación nula

Nota: Datos tomados de Tabachnick & Fidell, 2013

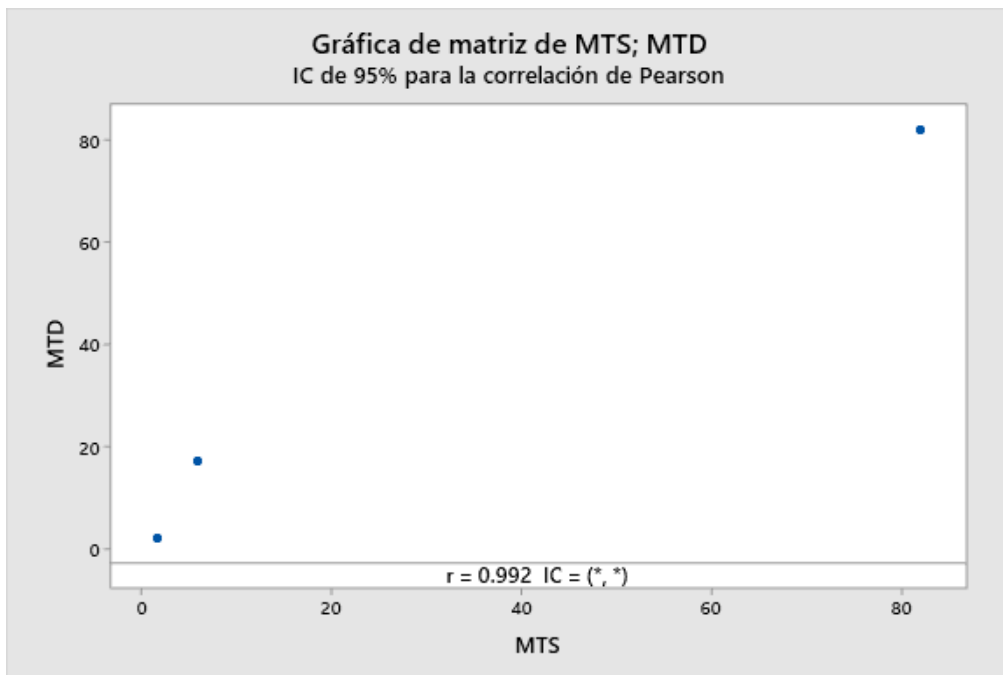
De acuerdo al valor determinado por la prueba de “r” de Pearson hallado entre las variables de estudio de comparativo de los procesos de molienda con dos tipos de

molinos de tornillo simple ((MTS) y tornillo doble (MTD); podemos mostrar que la correlación entre ambos molinos es de $r=0.992$, lo que conforme a los valores establecidos por (Tabachnick & Fidell, 2013), corresponde a un tipo de correlación muy alta.

Gráfico de dispersión de datos

Figura 72

Dispersión de datos de las variables



Prueba IC y Prueba T pareada: MTD; MTS

Tabla 36

Estadísticas descriptivas

Estadísticas descriptivas				
Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
MTD	3	33.8	42.6	24.6
MTS	3	29.8	45.3	26.1

Tabla 37

Estimación de la diferencia pareada

Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para la diferencia_μ
3.95	6.28	3.62	(-11.64; 19.55)

Nota: diferencia_μ: media de (MTD - MTS)

Tabla 38

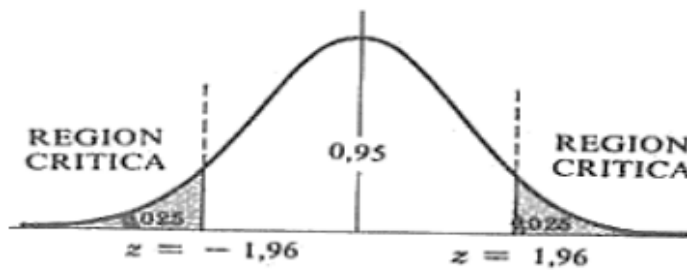
Prueba

Prueba	
Hipótesis nula	H_0 : diferencia = 0
Hipótesis alterna	H_1 : diferencia \neq 0
Valor T 1.09	Valor p 0.389

Obteniendo un valor T de 1.09, que ubicándolo en la curva de Gauss (Figura 73), se encuentra en la zona de aceptación:

Figura 73

Curva de Gauss



Nota: La figura muestra la curva de Gauss en el año 2010. Fuente: García (2010).

c. Decisión estadística

Luego de haber hallado el nivel de correlación de las variables con una resultante de $r = 0.992$, el cual es de correspondencia muy alta y hallando la prueba decisión de $T = 1.09$, y de acuerdo al posicionamiento en la curva de Gauss, y la tabla 38, se encuentra fuera de la zona de aceptación de la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, por lo que se concluye que hay una relación estrecha entre el molino de tornillo simple y tornillo doble.

4.3. Discusión de resultados

4.3.1. Producción y Granulometría.

- Necesidad de molienda de maíz promedio de 15 toneladas métricas por día en el molino de tornillo simple y de 20 T.M. en el molino de tornillo doble, para así cumplir con la demanda de mercado
- Número de horas de molienda por día: 10 horas
- Molienda por hora:

Molino de tornillo simple: 1,610 kilos = 32.20 sacos de 50 Kg.

Molino tornillo doble: 2,070 kilos = 41.40 sacos.

- Tamaño de Zaranda: 0.500 mm.

La reducción de tamaño de partícula de 900 micras a más, mejora la eficiencia alimenticia en un porcentaje de 1 a 1,2% por cada reducción de 100 micras de tamaño de partícula.

Los efectos fisiológicos que se dan en los porcinos, al obtener partículas de maíz molido de 500 micrones es:

- Tienen una ganancia promedio de peso de 0.85 kilos.

- La ingesta media diaria de alimento es de 1.23
- La eficiencia de alimentación es de 1.46

Las pérdidas en la molienda propiamente dicha, como son la pulverización, factores de clima, entre otros, nos da una pérdida de material molido de 6 kilos de un total de 1,616 kilos que entraron a proceso. Y una pérdida de 4 kilos en el molino de tornillo doble.

Curva granulométrica:

- Molino de tornillo simple: Porcentaje de tamaño de partículas obtenidas
 - o 5.8 % de partículas finas
 - o 82 % de partículas medias
 - o 1.2 % de partículas gruesas
- Molino de tornillo doble: Porcentaje de tamaño de partículas obtenidas
 - o 17 % de partículas finas
 - o 82.2 % de partículas medias
 - o 8.0 % de partículas gruesas

4.3.2. Energía Requerida para la Molienda.

Determinamos el consumo específico de Energía (E), Kwh/ton molido. (Trabajo para reducir un grano de maíz). $E = 12.7405176$ kwh/ton

- La molienda fue de 60 minutos en ambos molinos.
- Los R.P.M. de cada motor de molino son: de 1,500 r.p.m. en el molino de un eje y de 2,250 r.p.m. en el molino de tornillo doble.
- El tamaño de partícula a obtener fue de 500 micrones
- El consumo de energía fue:

- ✓ 20.5122 kW en el molino de tornillo simple.
- ✓ 26.3726 en el molino de tornillo doble.
- Costos en soles de consumo de energía:
 - ✓ 12.25 soles en el molino de tornillo simple.
 - ✓ 26.37 soles en el molino de tornillo doble.

4.3.3. Plan de mantenimiento

Se desarrolló la ficha técnica de mantenimiento de molino de martillos, el cual precisa la técnica de molienda con respecto a (Anexo 1):

- Motor
- Transmisión de correas
- Lubricación
- Piezas que se desgastan: Previsión de mantenimiento, reparación y remplazo.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Primera. Como conclusión general, se aplicó teorías de diseño, de máquinas y mecánicas de materiales, lo que permite evaluar los valores y componentes de un molino de martillos fijos para grano de manera justificada, considerando la función que cumplen dentro del sistema. Los molinos de martillos, son utilizados para este fin, molienda que se encuentra orientado mayormente al mercado de alimentos, como alimento para cerdos, aves, vacunos y harinas variadas procedentes de maíz, soya, entre otros granos.

Segunda. Se midió la producción de molienda/hora: Molino de 1 eje = 1.61 T.M. con desperdicio de 6 kilos. Molino de doble eje = 2.070 T.M. con un desperdicio de producto de 4 kilos. Granulometría en el molino de un eje y dos ejes: Producción de partículas medias de 82 y 82.2 %. Partículas finas del molino de doble eje con mayor producción con un 17% frente a un 5.8% del molino de un solo eje, esto debido a tener doble eje.

Tercera. Se aplicó teorías de diseño, de máquinas y mecánicas de materiales, evaluando los valores y componentes de un molino de martillos fijos, considerando la función que cumplen dentro del sistema. Se evalúa la potencia de motor del molino de tipo de martillos fijos para molienda de grano, aplicando las leyes para calcular la energía y potencia en equipos de reducción de tamaño, ley de Bond para la evaluación de los molinos. La molienda fina también puede aumentar el consumo de electricidad, disminuir la tasa de producción de alimento, aumentar úlceras, y aumentar la formación de polvo y la disminución de la capacidad de flujo de la dieta.

Cuarta. Es sabido que la reducción del tamaño de partícula del grano mejora la digestibilidad y la eficiencia alimenticia. Sin embargo, la molienda fina también puede aumentar el consumo de electricidad, disminuir la tasa de producción de alimento, y aumentar la formación de polvo y la disminución de la capacidad de flujo de la dieta. Debido a que el tamaño óptimo de partícula está influenciado por muchos factores, nutricionistas, veterinarios y directores de fábricas de alimento deben trabajar juntos para determinar el tamaño de partícula óptimo para un sistema de producción.

Quinta. La reducción de tamaño de partícula de 900 micras a más, mejora la eficiencia alimenticia en un porcentaje de 1 a 1,2% por cada reducción de 100 micras de tamaño de partícula. En el proceso de molienda, pudimos medir en el lapso de una hora la producción que se tenía: En el molino de tornillo simple, la producción es de 1.61 toneladas métricas con un desperdicio de material de 6 kilos.

Sexta. Tenemos que las potencias de los motores son de 40 HP, potencia suministrada por el fabricante de los molinos. Luego de realizar los cálculos, vemos que el requerimiento de potencia es de 22,38 kW en promedio, o sea 29.84 H.P. que redondeado es de 30 HP, se le sobredimensiona el motor para que no tenga problemas en el arranque del molino.

5.2. Recomendaciones

Primera. Realizar moliendas de grano para alimentación de inicio con el molino de doble eje, por producir mayor cantidad e de partículas finas. Que es el tamaño requerido para esa etapa de crecimiento.

Segunda. Utilizar el molino de tornillo simple para la producción de alimento para cerdos de reproductoras, por su tamaño grosero.

Tercera. Realizar los mantenimientos preventivos en los molinos, como son el ajuste de sujeción y demás partes del molino, así como el cambio de piezas en su momento oportuno, así como verificar el amperaje que se tiene de suministro. De tal manera de elaboró una ficha técnica de mantenimiento de molino de martillos, para así evitar posibles paradas en el proceso.

Cuarta. Mantener en capacitación permanente con los operarios en las labores de manejo y manipulación de la maquinaria y cuidados en el proceso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AAFCO (2000). *Reglamento de venta y distribución de alimentos para animales y remedios de medicamentos animales*. California, USA: Asociación de Oficiales de Control de Alimentos de EE.UU.
- Aceromafe (2020). *Acero 1045: Características y usos mas frecuentes en la industria*. Tomada de: <https://www.aceromafe.com/acero-1045-caracteristicas-usos/>
- AEFA (2017). *Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes*. Recuperado de <https://aeфа-agronutrientes.org/glosario-de-terminos-utiles-en-agronutricion/biofertilizantes>
- Alcántara, J., Avalos, J., Pozo, S., Vargas, M. y Yarlequé, M. (2016). *Alimentos Balanceados Yoli*. Piura: Universidad de Piura. Tomada de: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2834/PYT_Informe_Final_Proyecto%20YOLI.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Arroyo J., Medina, M., Franco, S. y Vicaria, P. (2013). *Molienda: Equipos, Características y Operación*. Bogotá, Colombia: Fundación Universidad de América. Tomada de: <https://es.slideshare.net/ivanramma/molienda-1>.
- Atarama, L. (2018). *Sistematización de Diseño de Molino de Martillos Fijos para Grano*. Piura: Universidad de Piura. Tomada de: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3625/IME_240.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Balcázar, M y Guamba, J. (2009). *Diseño de un Triturador de Cacao*. Quito, Ecuador: Recuperado de: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1393>

- Bermeo, D. (2019). *Diseño y construcción de un molino de martillos triturador de granos para granjas avícolas*. Quito, Ecuador.
- Biswa, G. (1986). *Maquinaria para el Procesamiento de Cosechas*. San José Costa Rica: IICA.
- Bortone, E. (2001). *Diseño de plantas de alimentos balanceados especializadas para peces y crustáceos (en línea)*. Monterrey, México: Curso Lance en Acuicultura. Tomada de: <http://www.los-seibos.com/teoria/peces.pdf> .
- Budynas, R. y Nisbett, K. (2015). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. México: Mc Graw Hill Octava Edición.
- Caravaca, F. y Castel, J. (2006). *Bases de la Producción Animal*. Sevilla - España: Universidad de Sevilla.
- Casanueva, E., Kaufer, M., Pérez, A., y Arroyo P. (2008). *Nutriología médica. 3.a ed.* México DF, México: Fundación Mexicana para la Salud, Panamericana.
- Castillo, A., Melo, O. y Boetto, G. (1996). *Cálculo de Requerimientos Energéticos y Protéicos del Ganado Bovino Lechero*. Córdoba, Argentina: INTA-UCA.
- Chachapoya, D. (2014). *Poroducción de Alimentos Balanceados en una Planta Procesadora en el Cantón Cevallos*. Quito, Ecuador.
- Church, D. y Pond, W. (1990). *Fundamentos de Nutrición y alimentación de animales*. Ciudad de México, México: Limusa.
- Cotecna (2014). *Programa de capacitación de granos almacenados*. Lima, Perú.
- Cuadrado, I. y Rueda, J. (2009). *Diseño y Construcción de un Molino de Martillos*. Quito, Ecuador: Universidad San Francisco de Quito. Recuperado:

<https://1library.co/document/zk7rro1q-diseno-y-construccion-de-un-molino-de-martillos.html>.

David (2016). *Categorías: Molienda*. Recuperado de <https://www.911metallurgist.com/metalurgia/determinacion-del-tiempo-optimo-de-molienda/>.

Díaz, E. (2010). *Service Process Engineer*. Recuperado de <https://www.engormix.com/balanceados/foros/molino-martillo-t11587/>

Ecometales (2013). *Capacitación en conceptos básicos, control de procesos y lazos*. Antofagasta, Chile: Ecometales Limited. Recuperado de <https://docplayer.es/74861434-Capacitacion-molino-de-bolas.html>.

FAO (2013). *Revisión del Desarrollo Avícola*. Recuperado de: www.fao.org/publications.

Flórez, E., Cardona, N., y Clavijo, C. (2014). *Diseño de un Molino de Martillos para la Producción de Pegamento Cerámico*. Recuperado de <http://die.ufpso.edu.co/images/revistas/238-883-1-PB.pdf>

Frap (1932). *The composition and utilization of Texas feeding stuffs*. Texas, USA: Agricultural Experiment. Station Bulletin 461.

García, J. (2010). *La curva de distribución normal o campana de Gauss*. Tomada de: <https://jesusgarciaj.com/2010/01/22/la-curva-de-distribucion-normal/>.

Gil, S. (2019). *Optimización del martillo de un molino para reducir el consumo de potencia en la molienda de bagazo de caña panelera*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

- Gil, S. y Espinosa, A. (2019). *Evaluación de la potencia de un molino de martillos al procesar bagazo de caña de azúcar*. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.193601.101>
- Guzmán, S y Rabanal, M. (2006). *Influencia de las condiciones de molienda mecánica en diferentes tipos de coques de petróleo*. Madrid, España: Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio.
- Hall, C. y Salas, F. (1968). *Equipo para Procesamiento de Productos Agrícolas*. Costa Rica: IICA.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2003). *Metodología de la Investigación*. México: Editorial Mc Graw Hill. Sexta Edición.
https://www.ingebook.com/ib/NPcd/IB_BooksVis?cod_primaria=1000187&codigo_libro=6572
- Industrial Mecánica (2007). *Molino de Martillos*. Recuperado de: <http://www.industrialmecanica.com.ar/Molinos.htm>.
- Llaguno, D y Masabanda, V. (2007). *Influencia de tres dietas alimenticias balanceadas en el engorde y calidad de carne de la tilapia (oreochromis sp)*. Quito, Ecuador: Quito ERN.
- López, L. (2008). *Intervención Psicológica en la Empresa*. Madrid - España: Ediciones Pirámide.
- Maquinova (2019). *Molino de Martillos*. Recuperado de <https://www.mezcladorasymolinos.com.mx/productos/molinos/de-martillos/>
- Maya, S. (2016). *Procesos de Producción de Alimentos balanceados Planta de Concentrados COLANTA*. Itagui, Caldas: Corporación Universitaria Lasallista.

- Menacho, G. (1988). *Diseño y optimización de sistemas industriales de molienda convencional y semiautógena - [Boletín G 4]*. Lima, Perú: INGEMET.
- MIDAGRI (2015). *MAíz Amarillo Duro*. Lima, Perú: Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. Tomada de: <https://www.midagri.gob.pe/portal/30-sector-agrario/maiz/250-maiz?start=2#:~:text=El%20ma%C3%ADz%20amarillo%20duro%2C%20es,cosechas%20en%20junio%20y%20diciembre>.
- Ministerio de Energía y Minas (2021). *Guía de Orientación del Uso Eficiente de la Energía y de Diagnóstico Energético Sector Comercial, Dirección General de Eficiencia Energética*. Recuperado de https://minem.gob.pe/_legislacionM.php?idSector=12&idLegislacion=1130
- Niño de Guzmán, D. (2006). *Diseño de un molino de martillo de doble eje*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Perez, A., Frikha, M, Mohiti, M., Martín, A., Garcia, J., Herrera, J. y Gonzalez, G. (2013). *Molino de martillos vs. Molinos de rodillo si efectos de l a molienda del cereal principal de la dieta sobre la productividad y la calidad del huevo en gallinas ponedoras rubias*. Recuperado de http://www.wpsa-aeca.es/seccion.php?id_seccion=99
- Pérez, A., Frikha, M., Mirzaie, S., Garcia, J. y Mateos G. (2011). *Effects of the main cereal and type of fat of the diet on productive performance and egg quality of brown-egg laying hens from 22 to 54 weeks of age*. *Poult. Sci.* 90, 2801-2810. Toledo España: Congreso Científico de Avicultura - Universidad Politécnica

de Madrid. Tomada de: https://www.wpsa-aeca.es/aeca_imgs_docs/perez-bonilla.pdf.

Perry, R. y Green, D. (2001). *Manual del Ingeniero Químico*. México: McGraw-Hill. 4 tomos. Tomada de:

Ramos, E. (2020). *Perú aumenta cada vez más su producción de maíz amarillo duro, pero también importa gran cantidad*. Lima, Perú: Agencia Agraria de Noticias. Tomada de: <https://agraria.pe/noticias/peru-aumenta-cada-vez-mas-su-produccion-de-maiz-amarillo-dur-22010> .

Retsch (2021). *Molino de discos DM 200. Milling Sieving Assisting*. Recuperado de https://www.retsch.es/es/productos/molienda/molinos-de-discos/dm-200/funcionamiento-caracteristicas/?gclid=CjwKCAiAs92MBhAXEiwAXTi254uDjstbywoD68LLg4OZeVq3xKNf53awYKflR6eppfIHpD6Fp_hkZxoCdZ0QAvD_BwE

Rueda, D. y Sánchez, G. (2015). *Siseño y construcción de una máquina para adicionamiento final de chocolate*. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional. Tomada de: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10381/4/CD-6179.pdf>.

Salas, C. (2012). *Diseño de un Molino de Rodillos para Molienda de Granos, destinado al Área de Alimentos del CESTTA-ESPOCH*. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Tomada de: <https://1library.co/document/yr303jpy-diseno-molino-rodillos-molienda-granos-destinado-alimentos-cestta.html>.

- Sharapin, N. (2000). *Fundamentos Tecnológicos de Productos Fitoterapéuticos*. Bogotá, Colombia: CYTED (Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo) Editorial Azucena Martínez Santa Fé de Bogotá.
- SKF (2019). *Rodamientos*. Lima, Perú: SKF Rodamientos Perú. Tomada de: <https://www.skf.com/pe/products/rolling-bearings>.
- Tabachnick, B. & Fidell, L. (2013). *Using Multivariate Statistics. 6ta edición*. Boston, U.S.A.: Boston, MA: Pearson. Tomada de: [https://www.scirp.org/\(S\(351jmbntvnsjt1aadkposzje\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1541229](https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkposzje))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1541229).
- Thomas, A. y Filippov, L. (1999). *Fractures, fractals and breakage energy of mineral particles*. Boston, U.S.A: International Journal of Mineral Processing.
- Uribe, J. (2014). *Desarrollo, construcción y pruebas de funcionamiento de un prototipo de molino de martillos para la trituración en estado seco de cascara de cacao y similares*. Bogotá, Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana.
- Wondra, K., Hancock, J., Behnke, K., Hines, R., y Stark, C. (1995). *Effects of particle size and pelleting on growth performance, nutrient digestibility, and stomach morphology in finishing pigs*. Pockville, USA: National Library of Medicine.
- Wong, A. (2016). *Incidencia del tiempo y adición de insumos sobre la homogeneidad de alimentos balanceados en mezcladores de cintas*. Lima, Perú: Universidad San Ignacio de Loyola. Tomada de: <https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/7414e7bb-0fd5-4585-94af-19d4fd4d0efe/content>.