



**Universidad Central de Venezuela**  
**Facultad de Agronomía**  
**Comisión de Estudios de Post Grado**  
**Postgrado en Estadística**

**Especialización en Gerencia de Calidad y Control**  
**Estadístico de Procesos**

**PROPUESTA PARA INCREMENTAR LA DURABILIDAD DEL**  
**PELET EN UN ALIMENTO CONCENTRADO PARA POLLOS DE**  
**ENGORDE EN FASE DE TERMINACIÓN (21-42 DÍAS).**

Carmen Amelia Padrón Suárez

Maracay, Diciembre 2013

Trabajo Especial de Grado para optar al Título de **Especialista en Gerencia de la Calidad y Control Estadístico de Procesos**

Comité Consejero:

---

M.Sc. Brenda Odremán Delgado

Tutor

---

M.Sc. Jorge Flores

---

Dr. Vasco De Basilio

## Contenido

<b>TITULO.....</b>	<b>I</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>III</b>
<b>LISTA DE CUADROS .....</b>	<b>IV</b>
<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS DEL TRABAJO.....</b>	<b>4</b>
OBJETIVO GENERAL.....	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
<b>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>5</b>
RESEÑA DE LA EMPRESA .....	5
BASES TEÓRICAS.....	6
ANTECEDENTES.....	41
<b>DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....</b>	<b>43</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>47</b>
UBICACIÓN.....	47
MATERIAL EXPERIMENTAL.....	47
DISEÑO EXPERIMENTAL .....	48
MEDICIONES.....	54
DATOS DE DURABILIDAD DEL PELET DE LA EMPRESA.....	56
<b>RESULTADOS Y DISCUSION.....</b>	<b>57</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>69</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>71</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>72</b>

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Influencia de la presentación del pienso en el rendimiento del pollo de carne a los 42 días.</i>	8
<i>Figura 2. Tolva de recepción de materia prima a granel</i>	13
<i>Figura 3. Molino de martillos con alimentador rotativo y placa magnética.</i>	15
<i>Figura 4. Mezcladora Horizontal de cintas</i>	16
<i>Figura 5. Diseño de tolva de abastecimiento.</i>	18
<i>Figura 6. Alimentador y acondicionador</i>	19
<i>Figura 7. Peletizadora</i>	20
<i>Figura 8. Dado y ensamble del rodillo</i>	22
<i>Figura 9. Dado de la peletizadora</i>	22
<i>Figura 10. Terminología de un dado</i>	24
<i>Figura 11. Diagrama de fuerzas</i>	25
<i>Figura 12. Enfriador horizontal</i>	26
<i>Figura 13. Sistema de adición de grasa post-pelet (Coater)</i>	27
<i>Figura 14. Esquema de planta de alimento balanceado para animales.</i>	28
<i>Figura 15. Efecto de la temperatura en la calidad del pelet</i>	37
<i>Figura 16. Efecto del tipo de grasa y porcentaje en la calidad del pelet.</i>	38
<i>Figura 17. Efecto de la inclusión de humedad en la calidad del pelet</i>	40
<i>Figura 18. Durabilímetro de 50 rpm de acuerdo a la norma S269.1 de la A.S.A.E.</i>	56
<i>Figura 19. Gráfico de las probabilidades normal de los residuales estandarizados.</i>	59
<i>Figura 20. Gráfico de Homocedasticidad de los residuos</i>	59
<i>Figura 21. Gráfico de interacción del % de grasa en el coater (factor B) y el % de humedad en la mezcladora (factor C).</i>	62
<i>Figura 22. Gráfico de interacción de la relación largo-diámetro (factor A) y el % de grasa en el coater (factor B).</i>	63
<i>Figura 23. Gráfico de la interacción de la relación largo-diámetro del dado (factor A) y el % de humedad en la mezcladora (factor C).</i>	64
<i>Figura 24. Gráfico de trazado de perfil de la relación largo-diámetro del dado en su nivel alto (factor A 58/5mm), el% de grasa de coater (factor B) y el % de humedad de la mezcladora (factor C).</i>	65
<i>Figura 25. Gráfico de trazado de perfil de la relación largo-diámetro del dado en su nivel bajo (factor A 60/4mm), el % de grasa de coater (factor B) y el % de humedad de la mezcladora (factor C).</i>	67

## LISTA DE CUADROS

<i>Cuadro 1. Efecto del tamaño de partícula en el crecimiento y consumo de pollos de engorde de 21 a 39 días .....</i>	<i>9</i>
<i>Cuadro 2. Efecto de las formas físicas y niveles energéticos de los alimentos balanceados en el desempeño de los pollos de corte de 21 a 42 días de edad ...</i>	<i>10</i>
<i>Cuadro 3. Efecto de la relación pelet:harina en la dieta sobre el comportamiento productivo de gallinas de postura (promedios <math>\pm</math> error estándar) .....</i>	<i>11</i>
<i>Cuadro 4. Efecto de la temperatura de granulaci3n sobre el contaje de enterobacterias en alimento granulado. ....</i>	<i>12</i>
<i>Cuadro 5. Efectos de las fuentes minerales en la tasa de producci3n de la peletizadora, en la eficiencia el3ctrica y en la durabilidad del pelet. ....</i>	<i>31</i>
<i>Cuadro 6. Efecto de la velocidad del dado en las tasas de producci3n de la peletizadora y la eficiencia el3ctrica .....</i>	<i>33</i>
<i>Cuadro 7. Efecto del tama1o de partícula sobre la dureza del pelet. ....</i>	<i>34</i>
<i>Cuadro 8. Efecto de las temperaturas de acondicionamiento y peletizaci3n sobre la gelatinizaci3n del almid3n .....</i>	<i>37</i>
<i>Cuadro 9. Resumen de informaci3n de un estudio de KSU acerca del efecto de controlar con precisi3n la humedad dentro de la mezcladora en la producci3n de pelets.....</i>	<i>40</i>
<i>Cuadro 10. F3rmula para pollo de engorde en fase de terminaci3n utilizada .....</i>	<i>47</i>
<i>Cuadro 11. Esquema de aleatorizaci3n de los factores .....</i>	<i>49</i>
<i>Cuadro 12. Esquema de los factores y niveles en estudio.....</i>	<i>50</i>
<i>Cuadro 13. Esquema ANAVAR para el dise1o bloques al azar con arreglo de parcelas divididas.....</i>	<i>53</i>
<i>Cuadro 14. Datos de durabilidad (%) del pelet de la empresa durante el a1o 2011 .....</i>	<i>56</i>
<i>Cuadro 15. Resumen estadístico de las medias descriptivas de la variable dependiente % Durabilidad del Pelet. ....</i>	<i>57</i>
<i>Cuadro 16. Verificaci3n de los supuestos del ANAVAR.....</i>	<i>58</i>
<i>Cuadro 17. Análisis de Varianza para el % de Durabilidad del pelet.....</i>	<i>60</i>
<i>Cuadro 18. Medias de cuadrados m3nimos de los niveles de los factores .....</i>	<i>61</i>

## INTRODUCCION

La alimentación en la producción animal es un proceso muy importante y decisivo en la calidad final del producto, representando entre el 50 y 70% de los costos, porcentajes con una tendencia al alza debido a la crisis energética y a la creciente demanda mundial de granos que genera aumento en el precio de materias primas. El déficit energético y alimentario mundial obliga a la industria de alimento balanceado ejecutar proyectos en pro de un aprovechamiento óptimo de los recursos, para ello, una de las herramientas más eficientes es el proceso de peletización de alimentos para consumo animal.

La peletización consiste en la aglomeración de pequeñas partículas de mezcla en unidades largas y comprimidas densas, mediante un proceso mecánico combinado con la humedad, el calor, y la presión, convirtiendo una mezcla finamente molida en pelets, asegurando la homogeneidad de nutrientes en cada pelet elaborado.

El alimento peletizado es una excelente alternativa en la producción animal ya que su proceso cuenta con una serie de ventajas en comparación al típico alimento en polvo o en harina, para ello es necesario la calidad e inocuidad del alimento al ser administrado al animal, obteniendo ventajas tales como: óptima adhesión y menor desperdicio del alimento, menor gasto energético por parte del animal en el consumo del alimento, incremento de la densidad (peso específico)

del alimento, mejor palatabilidad que se refleja en un mayor consumo de la ración por parte del animal, no hay poder de selección del alimento por parte del animal  
ingestión uniforme de nutrientes en la población de aves y mejor digestibilidad y absorción de nutrientes por parte del animal.

Todos estos beneficios pueden reducir dramáticamente el costo de producción ya que habría una menor conversión alimenticia.

La calidad física de los pelets en alimentos balanceados se refiere a la durabilidad de éstos; definiéndose durabilidad como la integridad física de los alimentos balanceados acabados en pelet, en el manejo y transporte con una mínima generación de polvo y de pelets quebrados. Típicamente esto se mide a través del llamado "Índice de Durabilidad del Pelet" (IDP), que no es más que el cociente entre el peso del pellet sobre el peso del pelet que sobrevive a la prueba estándar de durabilidad.

Esta calidad física se ve afectada por muchos factores durante todo el proceso de producción del alimento, tales como: los ingredientes utilizados en la formulación, el tamaño de partícula de las materias primas, la humedad y cantidad de grasa del alimento antes de su llegada a la peletizadora, la temperatura del acondicionamiento, características del dado de la peletizadora, entre otros.

En este trabajo estudiaremos el efecto de tres de ellos en el proceso de producción del alimento en la planta de alimentos balanceados para animales

PRONACA C.A. a fin de conseguir mejoras en la calidad del pelet y por ende todos los beneficios que esto conlleva para la empresa.



## **OBJETIVOS DEL TRABAJO**

### **Objetivo General**

Evaluar el efecto de la humedad, la cantidad de grasa y la relación largo–diámetro del dado de la peletizadora sobre el proceso de calidad física del pelet de un alimento concentrado para pollos de engorde, en fase de terminación (21—42 días), en PRONACA C.A.

### **Objetivos Específicos**

1. Evaluar el efecto de dos relaciones largo-diámetro sobre la durabilidad del pelet.
2. Evaluar el efecto de dos porcentajes de humedad en la fase de mezclado, sobre la calidad del pelet.
3. Determinar la proporción de grasa más apropiada a aplicar en la fase post-pelet, para obtener una alta durabilidad del alimento concentrado.
4. Estudiar el efecto de la interacción de la relación largo-diámetro, el porcentaje de humedad en la fase de mezclado y la proporción de grasa en la fase post-pelet sobre la calidad física del pelet en el alimento concentrado.

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### RESEÑA DE LA EMPRESA

PRONACA C.A (Productos Avícolas Nacionales C.A.), es una empresa de autoabastecimiento perteneciente al grupo SERAVIAN C.A. donde se elaboran alimentos concentrados para aves, de acuerdo a la etapa de crecimiento y desarrollo.

La empresa está ubicada en la calle Valencia Sur nº 13, Zona Industrial San Miguel, Maracay, Estado Aragua

Esta fue fundada hace aproximadamente 25 años por la Productora de Leche SILSA, donde elaboraban el alimento para su propio ganado vacuno para la producción de leche. Luego fue vendida en el año 1984 donde tomo el nombre de Granjas CONGRAPECA, y se elaboraban alimentos para ganado vacuno, aves y cerdos. Posteriormente la planta fue alquilada a Nutrimentos Purina, la cual se retiro aproximadamente en el año 1993.

En el año 1994 fue alquilada al Grupo Seravian C.A., adquiriéndola como su propiedad, dos años más tarde, tomando el nombre de “PRONACA” (Productos Avícolas Nacionales, C.A), que funciona hasta la actualidad, dedicándose a la

producción de Alimentos para pollos de engorde y gallinas reproductoras para autoabastecimiento de la integración Grupo Seravian C.A.

## **BASES TEÓRICAS**

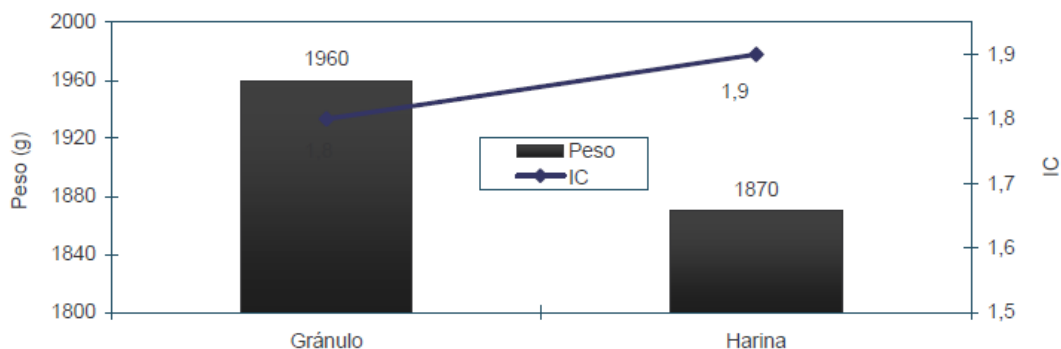
El peletizado es una operación de moldeo termoplástico en el que partículas de una ración, finamente divididas, se integran en un pelet compacto y de fácil manejo, el cual incluye condiciones específicas de humedad, temperatura y presión. Una vez que el alimento ha sido acondicionado con humedad y temperatura, es forzado a pasar, mediante un rodillo, por un dado de diámetro específico, después del cual sale el alimento en forma de “tallarín” para ser cortado al tamaño adecuado. Finalmente, el pelet debe ser secado para evitar que la humedad afecte al producto final. Al realizar el peletizado, se asegura que los ingredientes previamente mezclados se compacten para formar un comprimido con tamaño y dureza variable de acuerdo al animal que se desee alimentar, facilitando así su manejo y mejorando la aceptación y aprovechamiento de éste por parte del animal.

Las principales ventajas de tener un alimento peletizado son:

- Se produce un grado de gelatinización de los almidones, mejorando la conversión del alimento, esta ventaja es particularmente evidente en la industria avícola.

- Se evita la selección de alimentos o ingredientes favoritos en formulaciones.
- Evita la segregación de ingredientes en el manejo y/o la transportación (hay que evitar las concentraciones excesivas de micro-ingredientes).
- Se aumenta la densidad del producto, esto es útil para el almacenaje y el transporte.
- Pelets cilíndricos y densificados permiten un fácil manejo a granel.
- Se reducen las pérdidas naturales como las pérdidas debido al viento

A los pollos de hoy, generalmente, se les administra una dieta que ha pasado por un proceso de peletizado. El peletizado de las raciones suministradas a los pollos incide tanto en el aumento de peso como en la eficacia de dicha alimentación, si se le compara con las dietas basadas en harinas no procesadas (figura 1). Esta mejora en el rendimiento del ave se debe, en parte, al aumento en la ingesta de pelet. Las aves que se alimentan con pelets también gastan menos energía para alimentarse, por lo que la energía disponible para su crecimiento se incrementa.



*Fuente: Munt et al. (1995)*

**Figura 1. Influencia de la presentación del pienso en el rendimiento del pollo de carne a los 42 días.**

Jean-Jacques Trevidy de Hubbard Europe (2005) publicó un artículo titulado “Mash or Pellet?” (¿Harina o Pelet?) Donde nos comenta que en muchos experimentos donde se obtienen mejores resultados con pelets, las características del producto en harina no los da. De hecho, los pelets siempre producen mejores resultados en comparación con la misma masa o harina que se utiliza para hacer un buen pelet, más aún cuando el nivel de energía es bajo. Esto confirma que el principal efecto de la peletización, está en la mejora de la ingestión.

Sin embargo, una fuente de alta energía presentada en forma de harina gruesa que contiene granos enteros, o un pelet de calidad media, debido a su contenido de grasa, dará resultados muy similares en el crecimiento, conversión alimenticia y depósito de grasa.

**Cuadro 1. Efecto del tamaño de partícula en el crecimiento y consumo de pollos de engorde de 21 a 39 días**

	HARINA			PELET		
	Fino	Promedio	Grande	Fino	Promedio	Grande
<b>Sorgo(mm)</b>	0.53	0.97	1.25	0.53	0.97	1.25
<b>Alimento (mm)</b>	0.48	0.77	0.90	0.48	0.77	0.90
<b>Ganancia de peso (g/d)</b>	48.5	56.0	58.6	61.3	61.4	60.5
<b>Consumo (g)</b>	2,006	2,273	2,371	2,470	2,483	2,412

*Fuente: B Leclercq INRA (1998)*

Los pollos de engorde también pueden mostrar una alta sensibilidad a la dureza del pelet. Un pelet duro se pueden comer con menos facilidad que uno más suave, teniendo este último más probabilidades de producir las partículas más finas. Sin embargo, la ingestión de cereales de grano entero permanece fácil (Cuadro 1).

En un estudio publicado por Walter de Albuquerque Araújo D.V.M. en el 2004, observamos las tablas siguientes, donde el cuadro 2 muestra que los pollos alimentados con alimentos balanceados que fueron sometidas al proceso de peletización, independientemente del nivel de energía, lograron mejores ganancias de peso comparados con aquéllos alimentados con el mismo alimento en la forma harina (Klein,1999).

En el Comunicado Técnico de Embrapa Puercos y Aves, de marzo de 1983, BELLAYER et al. relata el resultado de pesquisa destinada a evaluar las pérdidas de alimentos balanceados en comederos y tipos de alimentos balanceados. En la comparación de las formas de alimentos, se observó que las pérdidas fueron del 2,31% en la harina y 0,56% en la peletizada, mostrando así la ventaja de la peletización con relación a alimentos en harina.

**Cuadro 2. Efecto de las formas físicas y niveles energéticos de los alimentos balanceados en el desempeño de los pollos de corte de 21 a 42 días de edad**

Forma física del alimento balanceado	Energía met. (kca/kg)	Gan. diaria de peso (g)	Consumo de alimento (g)	Conversión alimenticia	Peso corporal (g)	Peso carcaza (g)
Harina	2900	1280	2745	2,15:1,00	2096	169
Peletizado	2900	1646	3357	2,04:1,00	2340	1894
Triturado	2900	1566	3242	2,07:1,00	2236	1802
pel + tritu	2900	1617	3302	2,05:1,00	2257	1785
Harina	3200	1442	2830	1,96:1,00	2223	1809
Peletizado	3200	1703	3130	1,84:1,00	2303	1886
Triturado	3200	1632	3083	1,89:1,00	2271	1853

*Fuente: Klein, C. H. et al. Comunicado Técnico – Embrapa – Suínos e Aves (1999)*

Aureliano Juárez-Caratacheaa, Luis Sarmiento-Francob, Jose Segura-Correab (2010) concluyeron en un estudio que la calidad del peletizado no tuvo efecto ( $p > 0.05$ ) sobre el peso vivo final de las gallinas, el diámetro polar y ecuatorial del huevo, peso, espesor e índice de cascarón, así como pigmentación de la yema. Sin embargo, la producción de huevos por semana, el peso del huevo y la masa de huevo mostraron efectos ( $p < 0.05$ ) atribuibles a los tratamientos (Cuadro 3), dejando como conclusión que es posible incrementar los indicadores de producción, mejorar la conversión y abaratar los costos de producción de huevo con mejor calidad del peletizado.

**Cuadro 3. Efecto de la relación pelet:harina en la dieta sobre el comportamiento productivo de gallinas de postura (promedios  $\pm$  error estándar)**

Variable	Pelet:Harina		
	100:0%	75:25%	50:50%
Peso Inicial, Kg	1883 $\pm$ 113	1925 $\pm$ 57	1823 $\pm$ 161
Peso final, Kg	1996 $\pm$ 105 <sup>a</sup>	2029 $\pm$ 49 <sup>a</sup>	1961 $\pm$ 190 <sup>a</sup>
Huevos/semana/gallina	6.1 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	5.5 $\pm$ 0.3 <sup>b</sup>	4.8 $\pm$ 0.5 <sup>c</sup>
Peso del huevo, g	49.3 $\pm$ 2 <sup>b</sup>	47,5 $\pm$ 0.8 <sup>ab</sup>	47.9 $\pm$ 2 <sup>a</sup>
Masa de huevo, Kg	1.930 $\pm$ 0.078 <sup>a</sup>	1.829 $\pm$ 0.030 <sup>b</sup>	1.622 $\pm$ 0.066 <sup>c</sup>
Diámetro polar, cm	4.1 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	4.1 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	4.1 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>
Diámetro ecuatorial, cm	5.3 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	5.4 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	5.4 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>
Peso cascarón, g	4.4 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>	4.4 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	4.5 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>
Espesor cascarón, mm	0.38 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	0.38 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	0.37 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>
Índice de cascarón, mm	9.7 $\pm$ 1 <sup>a</sup>	9.7 $\pm$ 2 <sup>a</sup>	9.7 $\pm$ 1 <sup>a</sup>
Pigmentación de yema	7.05 $\pm$ 0.9 <sup>a</sup>	7.05 $\pm$ 0.9 <sup>a</sup>	7.55 $\pm$ 1 <sup>a</sup>

*a.b Medias distintas en una misma fila son diferentes ( $P < 0.05$ ).*

*Fuente: Rose (1997)*

En un artículo escrito por Williams, Peter E. sobre la higiene del pelet como factor de calidad, comenta que los tratamientos térmicos del alimento para animales, tales como granulación y extrusión, reducen la incidencia de la contaminación, fúngica y bacteriana, en alimentos compuestos (Cuadro 4)

El efecto de las condiciones de granulación en la reducción de la contaminación microbiana se centra en la eliminación de Salmonella y otras enterobacterias en el alimento.



La eficiencia del peletizado en la reducción de la Salmonella depende de la duración del mismo, de la temperatura y la humedad presente en el alimento.

El uso del contaje total de enterobacterias se admite como indicador de la higiene general del alimento, la cual es un factor clave en la calidad del mismo.

**Cuadro 4. Efecto de la temperatura de granulación sobre el contaje de enterobacterias en alimento granulado.**

TEMPERATURA	NUMERO DE MUESTRAS	ENTEROBACTERIAS (Log 10 CFU/g)	Salmonella (N° positivas)
<60	18	3.3	1
60-65	17	3.4	1
65-70	33	3.0	0
70-75	44	2.5	1
75-80	34	1.7	0
>80	24	1.1	0

*Fuente: Veldman et al. (1995)*

**Partes de una planta de alimento balanceado**

A continuación, se indican las partes de una planta de alimento balanceado:

*I. Zona de recepción de materias prima:*

En la fabricación de alimentos para animales se entiende por Materias Primas todos aquellos ingredientes de origen vegetal, animal, mineral o sintético que conformen la fórmula básica del alimento específico para cada especie animal en diferentes etapas de desarrollo y producción.

Las materias primas pueden venir ensacadas o a granel, en canecas o en carrotanques para líquidos.

La recepción de un ingrediente se hace por una báscula de camiones bien calibrada. Se hace el muestreo de las materias primas y son enviadas al departamento de Control de Calidad para su revisión y aprobación de recepción.

El material a granel se descarga en una tolva de recepción de acero que se encuentra localizada debajo del paso para los camiones, y este material fluye de las aberturas inferiores del camión. El material se lleva a través de un transportador hasta los silos de almacenamiento.

El material en sacos se coloca sobre paletas de madera y se llevan al almacén en montacargas adecuados.

La materia prima líquida se descarga a un contenedor separado para eliminar cualquier contaminación que pudiera haberse asentado en el fondo durante el traslado. Luego es bombeada al tanque de almacenamiento respectivo.



**Figura 2. Tolva de recepción de materia prima a granel**

## *II. Zona de almacenamiento de materias primas:*

Se utilizan silos cerrados conformados con planchas corrugadas galvanizadas. Los silos pueden ser de fondo plano o de fondo cónico elevado; para almacenar grandes cantidades de producto, se usan los silos de fondo plano.

Se utilizan almacenes mecanizados para almacenaje de soya, la cual no puede ser almacenada en silos, debido a que se compacta. La carga se realiza por la parte superior, a través de un transportador de cadena y la descarga por medio de una faja que va por un túnel, construido en la parte central baja del almacén. Otra forma de almacenar los ingredientes es en bodegas, sobre todo cuando estos se encuentra en sacos o costales.

Cuando el cliente importa sus insumos como son la soya o el maíz, es imprescindible contar con un adecuado sistema de almacenaje, ya que se compra en lotes grandes, el diseño de las áreas de almacenamiento debe permitir que las materias primas y productos terminados se mantengan a la temperatura y humedad adecuadas, para conservar la integridad de los productos.

## *III. Zona de molienda*

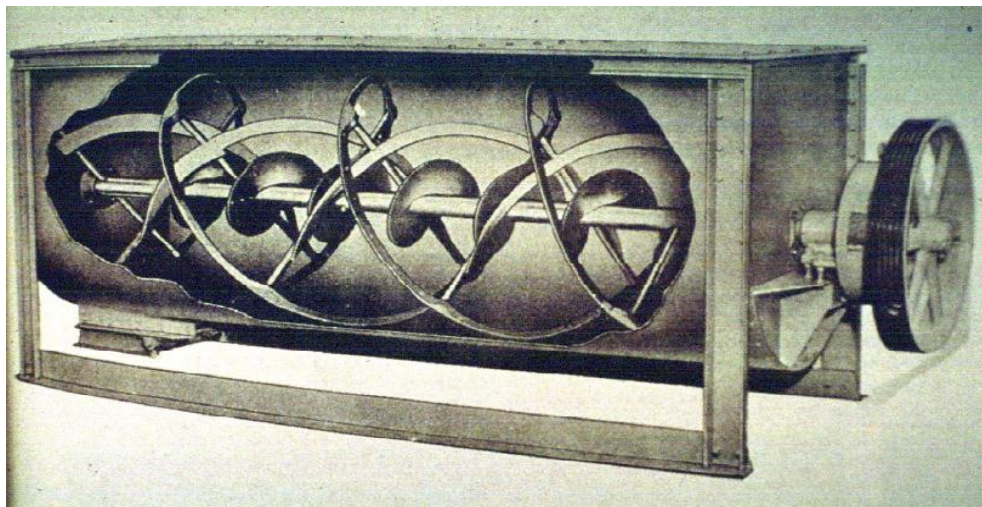
El área de molienda es donde los ingredientes son fraccionados al tamaño adecuado, dependiendo del tipo de alimento que se desee hacer, de las materias primas y del tipo de molino; el cual podría ser de martillos (ver figura 3 ) o de rodillos, presentando mayores ventajas los de martillos.



**Figura 3. Molino de martillos con alimentador rotativo y placa magnética.**

#### *IV. Zona de dosificación y mezclado*

Una vez que los ingredientes han sido molidos, el siguiente paso es mezclarlos adecuadamente, para que el alimento quede perfectamente homogéneo; primero, se adicionan los ingredientes sólidos: maíz y soya, luego las pre-mezclas de minerales y vitaminas y finalmente se adicionan los ingredientes líquidos. Existen mezcladoras verticales, horizontales y de flujo continuo. Las mezcladoras horizontales son las más utilizadas y constan de una o dos cintas que llevan el producto de un extremo a otro, mezclándolo uniformemente (ver figura 4).



*Fuente: Benhke (2011)*

**Figura 4. Mezcladora Horizontal de cintas**

*V. Zona de peletizado*

El alimento de trabajo fluye dentro del alimentador y es ingresado uniformemente al acondicionador, para la adición controlada de vapor y/o melaza, ingresando luego a la prensa de peletizado saliendo los pelets al enfriador (vertical, horizontal, contra flujo), se zarandea el producto, aplicándose posteriormente grasa en un aplicador (también llamado coater) y finalmente el producto terminado va a las tolvas. (Más adelante se desarrolla mejor este punto)

*VI. Zona de producto terminado*

El alimento terminado (harina, pelet, croqueta), dependiendo de cómo se distribuirá podrá pasar a ser ensacado o pasara a tolvas de donde se podrá ensacar o despachar a granel en unos camiones especialmente acondicionados,

para llevar el alimento a granja donde se recepcionará y almacenará en unos silos pequeños.

### **Proceso de Peletización:**

La función básica de una peletizadora es formar un pelet. Esto ocurre realmente en el contacto entre el dado y los rodillos de la peletizadora. Todas las demás fases de este proceso son en realidad actividades de apoyo a las actividades que ocurren en esta área crítica. Veamos todas las partes que conforman el proceso de peletización:

1. Tolva de abastecimiento

2. Alimentador

3. Acondicionador

4. Peletizadora

- 4.1 Cámara de peletizado

- 4.2 Dado

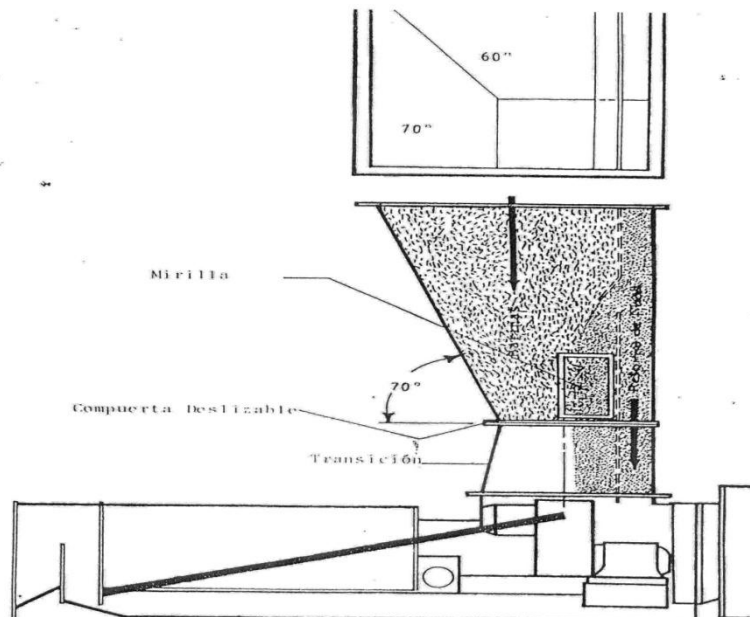
- 4.3 Rodillos

5. Enfriador

6. Aplicación externa de grasa (Coater)

### Tolva de abastecimiento:

Las tolvas de suministro o abastecimiento deben ser del tamaño adecuado para proveer el abastecimiento continuo de alimento a la peletizadora. El tamaño de las tolvas de abastecimiento también se debe coordinar con el sistema de mezclado de la planta para asegurar una operación general eficiente.



**Figura 5. Diseño de tolva de abastecimiento**

### Alimentador:

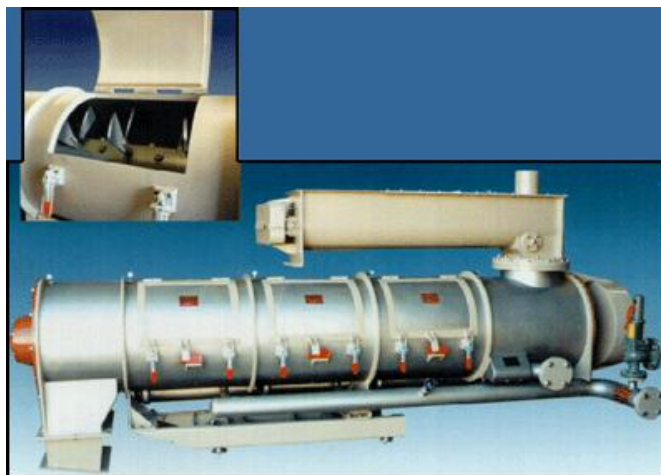
Es el regulador de la peletizadora. Por lo general se usa un transportador de tornillo de acero inoxidable y velocidad variable para controlar la cantidad de alimento para la peletizadora. El tornillo debe tener un área de entrada cónica o de paso variable para jalar el alimento de manera uniforme de la tolva de abastecimiento. También, el resto del tornillo debe tener hélices con paso

constante hasta el final para minimizar la retención del alimento de la descarga cuando gira el tornillo.

### **Acondicionador:**

El acondicionador de la peletizadora es el mecanismo de mezclado para que se introduzcan aditivos en el alimento. Consiste de una cámara con un agitador para mezclar aditivos en el alimento, como melaza y vapor. Por lo general, los componentes del acondicionador se fabrican de acero inoxidable para garantizarle larga vida.

Durante el acondicionamiento las partículas de harina del alimento absorben vapor y otros líquidos, haciéndolo flexible para la peletización. El calor y la humedad proporcionados durante el acondicionamiento también promueven la gelatinización de los componentes del alimento.

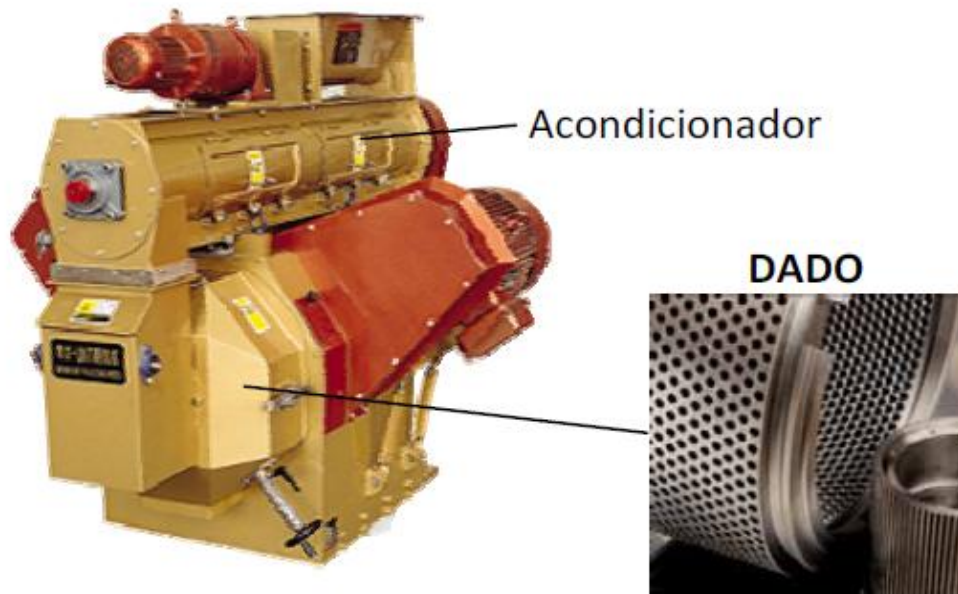


**Figura 6. Alimentador y acondicionador**



**Peletizadora:**

Las peletizadoras de producción presentan un amplio rango de tamaños, desde 20 caballos de fuerza hasta 700 caballos de fuerza. Dependiendo del tipo de formulación o ingredientes usados, requisitos de capacidad y requisitos de calidad de pelet, se establecerá el tamaño adecuado de peletizadora a usar.



**Figura 7. Peletizadora**

Los siguientes términos junto con la figura 2 nos explicarán en qué consiste el proceso:

a.- Ensamble de rodillos: Este es simplemente un cilindro que gira libremente sobre rodamientos, muy parecido a la rueda delantera de un carro. La única fuerza

motriz en el conjunto del rodillo es la fuerza de fricción procedente del contacto con una capa muy delgada de mezcla entre el dado y el rodillo.

b.- Dado: Es el componente motriz que obtiene su fuerza del motor principal de la peletizadora. El dado esta perforado con agujeros a través de los cuales el material fluye a la densidad de pelet, esto es, en forma compacta. Tanto esto como el grosor del dado determinan el tamaño final del pelet y sus características.

Es el corazón de la operación de peletización. Sus características pueden ser variadas para obtener los resultados deseados en una formulación en particular que se desee peletizar (ver figuras 8, 9 y 10)

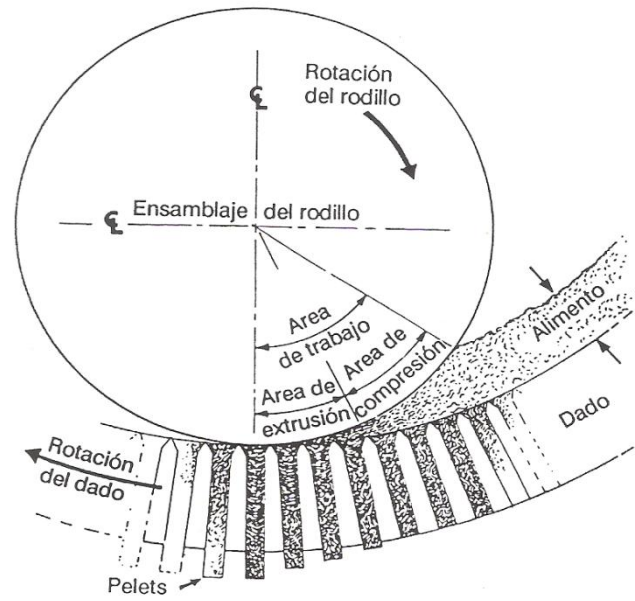
c.- Alimento o masa: es el producto que se va a peletizar al penetrar a la peletizadora.

d.- Area de trabajo: El área de trabajo dentro de la cámara de peletizado es el área donde se recibe la masa con su densidad original, se comprime y se fuerza a través de los agujeros del dado mismo. Por lo tanto hay tres fases en el área de trabajo.

e.- Area de compresión: En esta fase la masa se comprime hasta obtener la densidad del pelet.

f.- Area de extrusión: En esta fase la masa ha alcanzado la densidad del pelet y empieza a fluir a través del dado.

g.- Cuchillas: Estas están montadas en la tapa de la peletizadora y son las que cortan el pelet tan pronto como son extruidos del dado.



**Figura 8. Dado y ensamble del rodillo**



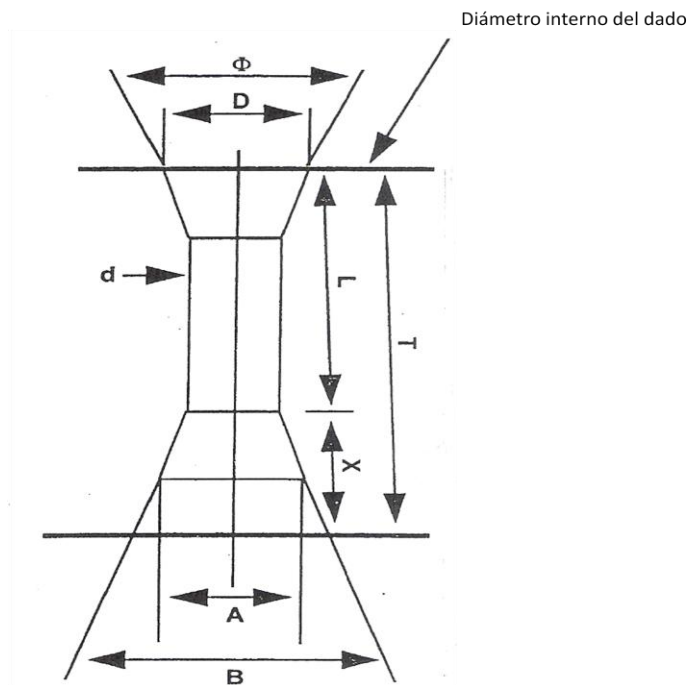
**Figura 9. Dado de la peletizadora**

### Terminología de un dado:

1.  $d$ = diámetro del pelet
2.  $L$ = longitud efectiva: Se refiere a la longitud del dado que realmente está trabajando en el material.
3.  $T$ = grosor total: Se refiere al grosor total del dado. Este se relaciona con los esfuerzos del dado durante la peletización, por lo tanto, mientras más grueso sea el dado, más resistente será.
4.  $D$ =diámetro de entrada: La mayoría de los diámetros que se producen tienen una entrada cónica para facilitar el flujo del material en el agujero. Esta conicidad empieza a comprimir el material tan pronto entra en el agujero.
5.  $\Phi$ = ángulo de entrada: Generalmente es un ángulo de 30 grados en dados de agujeros pequeños, que facilita la entrada del alimento en el agujero.
6.  $X$ = alivio: Es la diferencia entre longitud total y la longitud efectiva del dado.
7.  $B$ = ángulo de alivio:
8.  $A$ = diámetro de alivio

9. Radio de compresión =  $\frac{D^2}{d^2}$  : Es la relación entre el área de entrada y el área de pelet. Esto es simplemente una indicación de cómo se comprime el material una vez que entra en la cámara de peletización del dado.

10. Relación largo-diámetro =  $\frac{L}{d}$ : Proporción de rendimiento. Relaciona el espesor efectivo de un dado con el diámetro del pelet. Este factor es la fuente de resistencia del dado que se observa en la figura 11 del diagrama de fuerzas que se muestra más abajo.

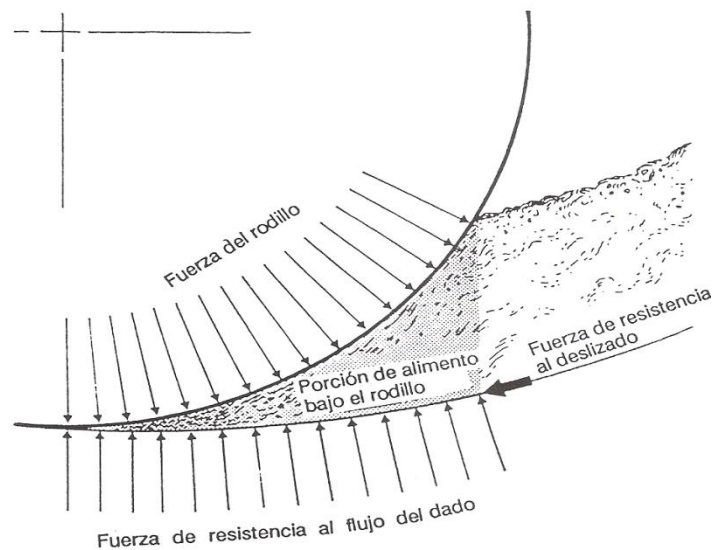


**Figura 10. Terminología de un dado**

En la figura 11 observamos el diagrama de fuerzas del trabajo de peletizado.

Estas fuerzas son:

- Fuerza del rodillo: esta es la fuerza que actúa sobre el material, en relación con el punto de contacto con el dado para comprimir y extruir el material.
- Fuerza Radial: es la fuerza que genera el dado, que resiste el flujo de material a través de los agujeros del dado.
- Fuerza tangencial: Es la fuerza en la cara del dado constante. Está relacionada con la presión que ejerce el rodillo y las características de fricción de la masa misma.



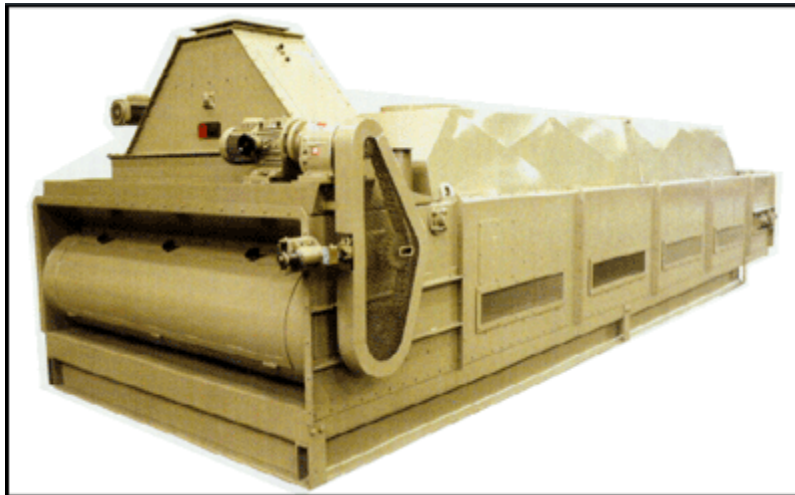
**Figura 11. Diagrama de fuerzas**

**Enfriador:**

Luego de la salida del dado el pelet está en su estado más frágil. Se ha formado pero es un producto suave y fácil de deformar. Desde el punto de vista de un sistema, el pelet debe caer directamente de la peletizadora al enfriador porque cualquier tipo de manejo mecánico generará finos.

El enfriador de pelets realiza dos funciones en estos. Conforme estos entran en el área de trabajo, tanto la humedad y el calor son eliminados al mismo tiempo de una manera ordenada.

Pueden ser horizontales o verticales.

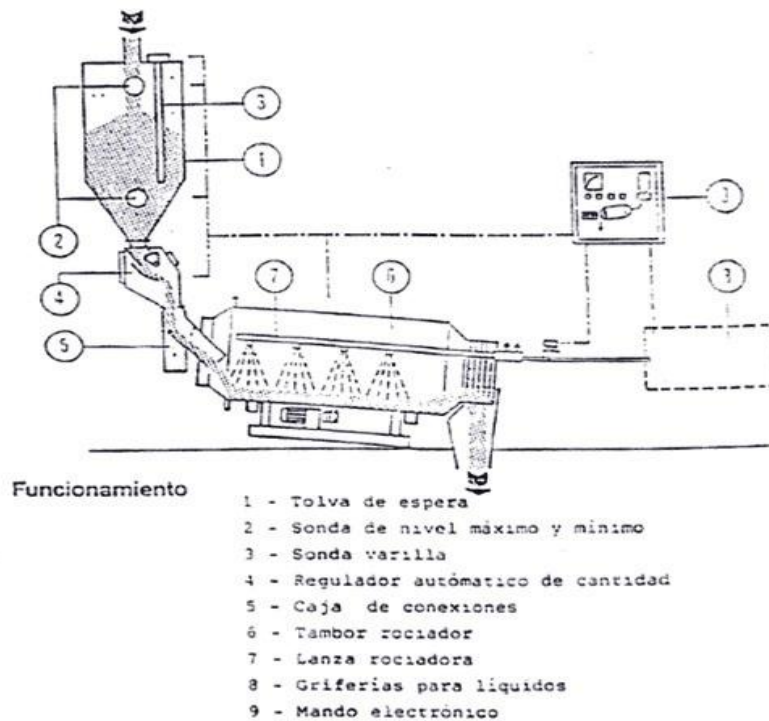


**Figura 12. Enfriador horizontal**

**Aplicación externa de grasa (coater):**

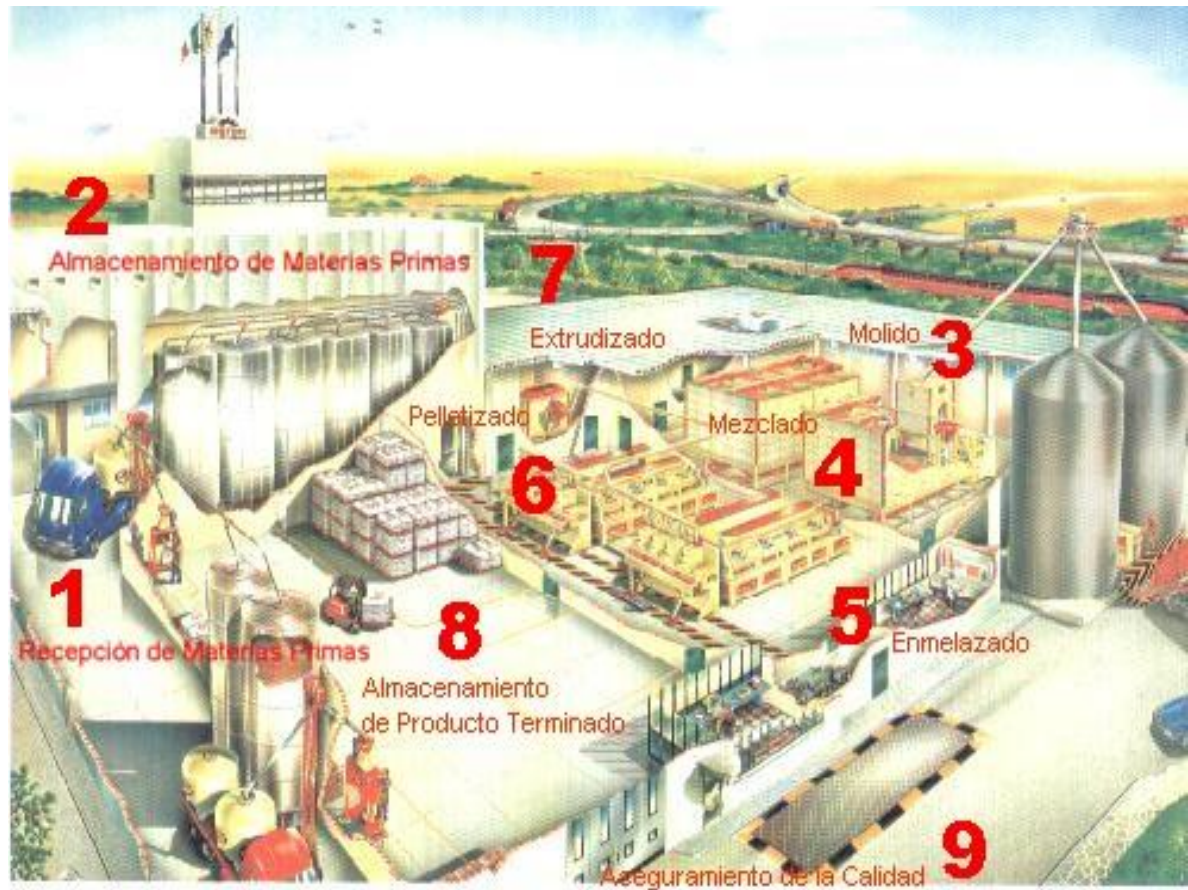
La importancia de conservar la dureza y durabilidad del pelet ha originado la investigación de métodos para añadir grasa a los pelets después de su formación.

Consiste en que una unidad después del proceso de enfriado, donde los pelets se descargan en una tolva pequeña de retención, equipada con indicadores de nivel bajo y alto en la tolva. La tolva de retención alimenta un alimentador de flujo variable. Este descarga en la cámara de rocío que por lo general se calienta con serpentines de vapor y que está aislada. La grasa se rocía en la corriente de los pelets en la cámara de rocío y el producto final se descarga en un transportador térmico de templado para una mayor absorción de la grasa (Figura 13).



**Figura 13. Sistema de adición de grasa post-pelet (Coater)**



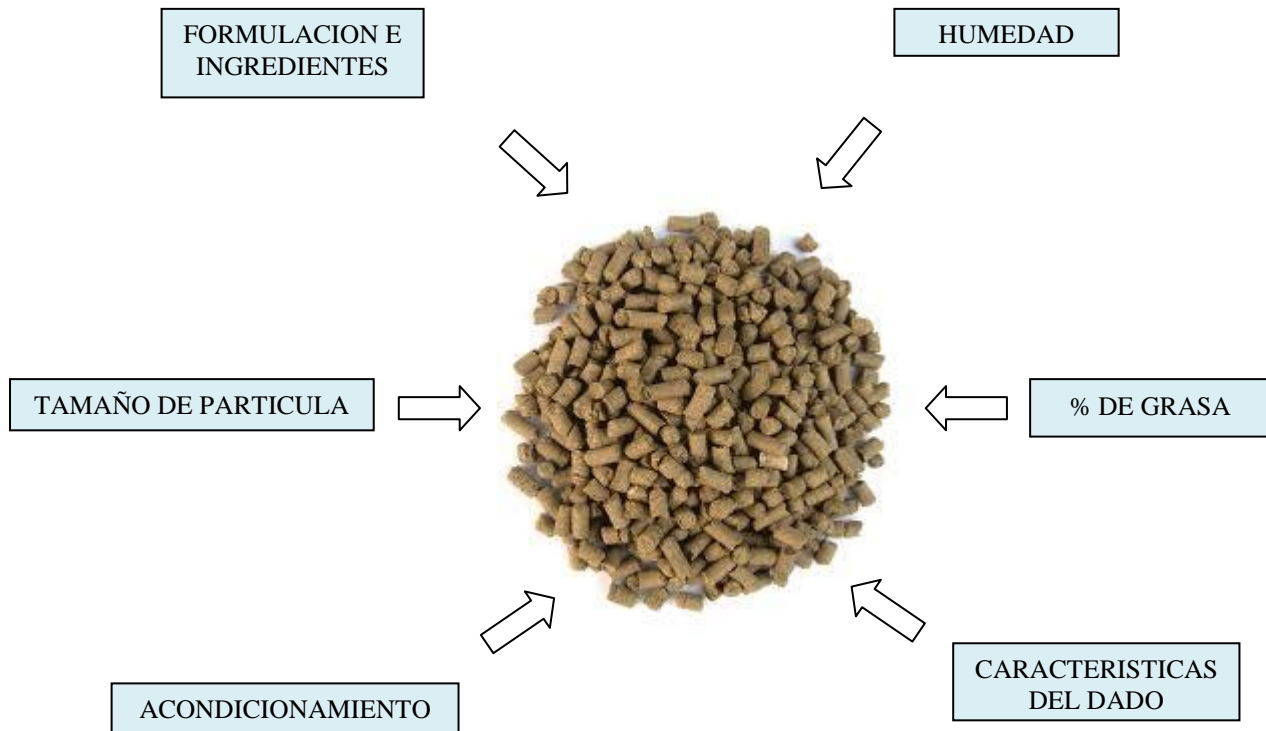


Fuente: Ojeda 2010

Figura 14. Esquema de planta de alimento balanceado para animales.

## Factores que afectan la durabilidad del pelet

¿De qué depende la calidad física del pelet?



### Formulación e Ingredientes:

Han sido diseñadas formulaciones de bajo costo para satisfacer los requerimientos nutricionales según los parámetros requeridos por el animal de destino. Sin embargo, el efecto de la formulación en un proceso, específicamente la peletización, rara vez es considerado por la mayoría de los nutricionistas. Los ingredientes que actualmente son utilizados por la industria de la alimentación han sido usados como adhesivos por más de 100 años. La adición de grasa a la masa pre-pelet por lo general resulta en disminución de la calidad del pelet (Richardson y Day, 1976; Headly y Kershner, 1968).

Sin embargo, la adición de proteínas y de materiales de fibra contribuyen a un pelet de calidad. Fahrenholz (1989) reportó un aumento en la durabilidad de pelets de una dieta porcina granulada y cuando se aumentó el nivel de afrechillo de trigo de 0 a 45%. Mc-Kee (1988) aumentó la calidad del pelet y la estabilidad de agua de dietas de bagre aumentando el nivel de gluten de trigo de 0% a 10%. López (1993) también informó de la adición de vital gluten de trigo resultó en un efecto positivo en pelets la calidad y la estabilidad en el agua, pero la adición de harina de yuca tuvo un efecto negativo. Lawton (1989) informó de un aumento lineal en la resistencia a la tracción como la cantidad de proteína en forma de tabletas aumento a expensas del almidón.

Las formas físicas y químicas de las fuentes de calcio y fósforo utilizados en la fórmula puede afectar el rendimiento de la peletizadora y la calidad del pelet.

Behnke (1981) analizó el efecto de las fuentes minerales, donde utilizó fosfato exento de flúor, una de molido fino (FEFF) y la otra de molido regular (FEFR), y 18,5% de fosfato dicálcico. La fuente mineral de prueba de la dieta para ponedoras se evaluó tanto a niveles elevados (2,5%) como bajos (1,5%) (cuadro 5)

En los dos niveles evaluados las tasas de de producción de las fuentes de fosfatos exento de flúor superaron de manera significativa a las de fosfato dicálcico; mientras que éste último presentó una ligera ventaja, no significativa, en el índice de durabilidad del pelet.

**Cuadro 5. Efectos de las fuentes minerales en la tasa de producción de la peletizadora, en la eficiencia eléctrica y en la durabilidad del pelet.**

Tratamiento	Tasa de producción #/hr	Eficiencia Kwh/t	IDP <sup>1</sup> %
<b>Nivel de minerales alto (2.5%)</b>			
FDC	2992	11.46	92.8
FEFR	3280	10.46	89.9
FEFF	3433	10.27	91.3
<b>Nivel de minerales bajo (1.5%)</b>			
FDC	3369	10.78	91.2
FEFR	3426	10.49	89.9
FEFF	3629	9.96	90.0

*Fuente: Behnke (1981)*

Ranne y Richardson (1979) evaluaron la eficiencia del peletizado y la calidad del pelet en dietas que contenían fosfato dicálcico o una fuente líquida de fosfato de amonio. Descubrieron que las dietas que contenían polifosfatos de amonio requerían un nivel de energía eléctrica significativamente mayor que las dietas que contenían fosfato dicálcico, en tanto que la durabilidad del pelet aumentaba considerablemente con la adición de polifosfato de amonio en comparación con las dietas que contenían fosfato dicálcico y fosfato dicálcico mas grasa.

#### **Características del dado:**

El principal propósito del rodillo es el de proporcionar fuerza sobre la harina para densificar al alimento y hacer que fluya hacia el dado de salida. El espacio entre el

rodillo y el dado de salida, las características de la superficie del rodillo y las proporciones físicas de la harina determinan cuán grande podría ser esta fuerza.

El dado de salida proporciona, no sólo el diámetro final del pelet, sino la fuerza de resistencia sobre el alimento, la cual tiene una influencia directa sobre la tasa de producción y la calidad del pelet. Estas dos fuerzas (rodillo y dado de salida) son opuestas una de la otra, pero deben trabajar juntas para proporcionar pelets de calidad en una tasa aceptable de producción.

La fuerza generada por el rodillo debe ser mayor que la fuerza de resistencia generada por el dado de salida, de otra manera la producción sería cero. La calidad física del pelet se puede equiparar a la capacidad de los pelets resistir el manejo repetido sin rompimiento excesivo o generación de finos.

Behnke (1990), estudió el efecto del grosor efectivo del dado de salida sobre la longitud (L) y la durabilidad del pelet, sus resultados indican que la durabilidad mejoro de manera significativa con el uso de un dado más grueso, sin embargo, las tasas de producción se redujeron significativamente.

Stevens (1987) experimentó con distintas velocidades de dado utilizando una peletizadora California (CPM) de 30 caballos de fuerza (Master Model HD) equipada con un dado de 1.5" de espesor cuyo orificio tenía un diámetro de 3/16". El motor de la peletizadora estaba equipado con un cinturón variable y ajustable que podía generar velocidades del dado de 126 a 280 rpm.

En el cuadro 6 se muestran las tasas de producción, las eficiencias eléctricas y los IDP que Stevens obtuvo en alimentos para cerdos con base de maíz y base de trigo.

**Cuadro 6. Efecto de la velocidad del dado en las tasas de producción de la peletizadora y la eficiencia eléctrica**

		Fórmula a base de trigo <sup>1</sup>			Fórmula a base de maíz <sup>2</sup>		
Velocidad del dado RPM	Pies/min	Tasa de prod. (#/h)	Efic. (kwh/t)	PDI	Tasa de prod. (#/h)	Efic. (kwh/t)	PDI
126	394	3668	11.9	97.5	-	-	-
150	469	3827	11.3	97.7	2780	15.8	91.0
174	545	3481	12.6	97.8	3651	12.2	90.0
198	620	3355	13.1	97.6	3212	13.8	89.6
222	696	3217	13.4	97.8	3481	12.9	89.4
246	771	3280	13.5	97.7	3675	11.6	89.7
268	840	2952	14.9	97.7	3223	13.7	89.8

<sup>1</sup>Fórmula para cerdos con 72.4% de trigo molido

<sup>2</sup>Fórmula para cerdos con 72.4% de maíz molido

Fuente: Stevens (1987)

Stark (sf), C. R. del Departamento de Ciencias de las aves en la Universidad del Estado de Carolina del Norte, Raleigh, Carolina del Norte, EUA realizó un estudio sobre el efecto del espesor del dado y el rendimiento de la planta en la calidad del pellet, utilizando 3 diferentes espesores del dado, 29mm, 35mm y 44 mm, concluyó que hay un efecto positivo en mayor espesor del dado sobre la calidad del pelet.

### Tamaño de partícula:

El tamaño de la partícula para mejores resultados de peletización ha sido materia de controversia casi desde que empezaron a peletizar alimentos balanceados. Young (1960) no encontró diferencias significativas en la durabilidad del pelet cuando experimentó con alimentos que contenían 40, 60, y 70 por ciento de maíz o sorgo molidos, cuando dichas porciones se molieron gruesas, medianas o finas.

Hancock, (2009) publicó el siguiente cuadro donde claramente se observa la relación directamente proporcional del menor tamaño de partícula y mayor dureza del pelet.

**Cuadro 7. Efecto del tamaño de partícula sobre la dureza del pelet.**

TAMAÑO DE PARTICULA MICRONES	DUREZA DEL PELET %
1000	78.80
800	79.40
600	82.40
400	86.40

*Fuente: Hancock (2009)*

Martin (1984) comparó las eficiencias y durabilidades del peletizado de un molino de martillos y uno de rodillos al moler la porción de maíz (59,5%) en un alimento peletizado. No encontró ninguna diferencia ( $P < 0,05$ ) entre los diversos tratamientos. El tamaño promedio de la partícula de maíz molido en martillos (mallas de 3,2mm y 6,4mm abarcó de 595 a 876 micrones, mientras que el molido en el molino de rodillos (fino y grueso) comprendió entre 916 y 1460 micrones.

Stevens (1987) realizó experimentos similares en el que se usó el maíz amarillo Número 2 como la porción de granos de una fórmula típica de cerdos. El maíz se molió con un molino de martillos a través de tres tamaños de malla 1/16" (fina), 1/18" (mediana) y 1/4" (gruesa). Luego midió el efecto del tamaño de partícula de granos molidos sobre la tasa de producción del peletizado, eficiencia eléctrica y durabilidad del pelet. No hubo diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) en la tasa de producción del peletizado o de valores IDP (Índice de Durabilidad del Pelet) de diferentes tamaños de partículas de maíz mezclado en un alimento porcino aunque la electricidad total requerida para moler el maíz y peletizar la harina fue significativamente mayor para el maíz molido fino. Cuando en la porción de granos del alimento porcino se usó trigo molido, las tasas de producción de pelets y los IDP mejoraron conforme el grano se molió más fino, pero el trigo más fino también necesitó de una cantidad sustancialmente mayor de energía eléctrica.

Aunque las investigaciones citadas pudieran ser contradictorias, existen pruebas de que el tamaño de la partícula promedio de la porción de granos molidos de un alimento o del alimento total (harina) afecta el proceso de peletización ya sea en la producción o el tamaño del pelet. Los efectos sencillamente no son los mismos bajo las condiciones o para todos los alimentos.

#### **Acondicionamiento y tiempo de retención en el acondicionador:**

En cuanto al acondicionamiento, muchos investigadores y profesionales, han demostrado una y otra vez que la durabilidad del pelet y la eficiencia del peletizado puede mejorarse sustancialmente mediante el acondicionamiento adecuado de la



harina con vapor. El vapor saca a la superficie de las partículas de la harina del pelet los aceites naturales comunes en la mayoría de los granos que proporcionan lubricación al dado de salida de los pelets, lo que reduce el desgaste del dado mismo y del ensamblaje de rodillos, aumentando las tasas de producción (Behnke, 1990). En algunos casos, desde el punto de vista de la durabilidad del pelet, el acondicionamiento completo puede ser contraproducente, si el material se desliza por el dado demasiado fácil, se reduce el tiempo de resistencia en el orificio del dado, lo que causa que el pelet sea menos durable, además de que se puede reducir la gelatinización del almidón causada por el calor y fricción del mismo.

Stevens (1987), realizó amplias investigaciones sobre el fenómeno de la gelatinización del almidón durante el proceso de peletización del alimento, al peletizar, maíz molido en molino de martillos y pasado por una malla de 1/18" (1.40mm). Como control se usó maíz molido antes de la peletización. En el Cuadro 8 se muestran los resultados de la gelatinización medidos en las muestras tomadas inmediatamente después del dado de salida.

Hubo una correlación negativa entre la temperatura de la harina acondicionada y el grado de gelatinización. Conforme aumentaba la temperatura de la harina acondicionada, disminuía el grado de gelatinización. El alto grado de gelatinización que se dio en la porción externa del pelet a una temperatura de acondicionamiento de 23°C indicó que el calor y el corte mecánico junto a la superficie del orificio del dado de salida causó una porción sustancial de gelatinización en todas las temperaturas, pero especialmente cuando hubo mayores diferenciales de temperatura entre la harina acondicionada y el pelet. Existe una relación entre esa

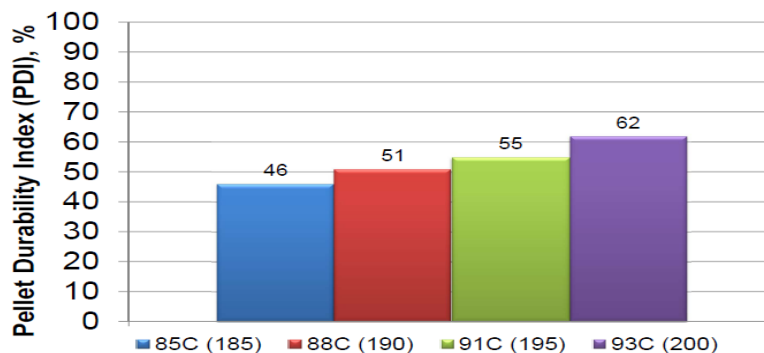
diferencia de temperatura y el grado de gelatinización que se observa. Conforme disminuyó el diferencial de temperatura disminuyó también el grado de gelatinización.

**Cuadro 8. Efecto de las temperaturas de acondicionamiento y peletización sobre la gelatinización del almidón**

Producto	Temperatura				Gelatinización
	Acondicionamiento		Peletización		
	°C	°F	°C	°F	
Pelet completo	23	73	69	156	41.9
Pelet completo	43	109	76	169	37.1
Pelet completo	63	145	82	180	33.5
Pelet completo	80	176	84	183	28
Exterior del Pelet	23	73	69	156	58.3
Exterior del Pelet	80	176	84	183	25.9

Fuente: Stevens (*ibid*)

Stevens indicó que la temperatura de acondicionamiento de 80°C fue la adecuada para gelatinizar el almidón de maíz, sin embargo, el tiempo en el acondicionador de la peletizadora a esa temperatura probablemente no fue adecuada para una cantidad sustancial de gelatinización.



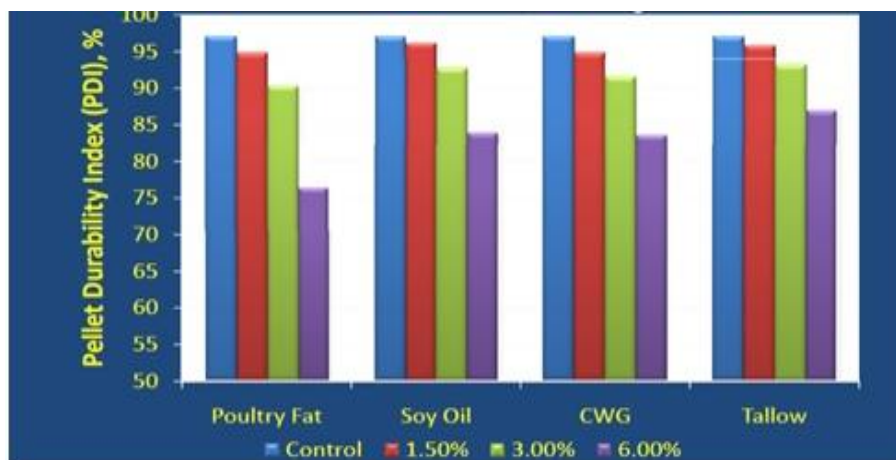
**Figura 15. Efecto de la temperatura en la calidad del pelet**

La temperatura del acondicionamiento de la harina ha sido por mucho tiempo un criterio de la peletización y una indicación de un acondicionamiento esmerado (Figura 15), que puede o no, ser indicador totalmente viable ya que el tiempo a una temperatura dada de la harina va a afectar el grado de gelatinización y desde luego va a afectar la capacidad de peletizar harina.

El acondicionamiento adecuado de la masa debe darse en un corto período de tiempo, no más de unos cuantos minutos en un sistema peletizado convencional de acondicionamiento por vapor o por tan sólo unos 30 segundos en un “súper acondicionador” o sistema de expansión.

#### Adición de grasa:

Stark (1994) publicó la figura 16, donde hace una comparación de diferentes fuentes de grasa y las diferentes cantidades añadidas de ellas con el efecto que ejerce en la calidad del pelet.



*Fuente: Stark (1994)*

**Figura 16. Efecto del tipo de grasa y porcentaje en la calidad del pelet**

Dozier, W.A. (2001) en su artículo “Pelet de calidad para obtener carne de ave más económica”, señala lo siguiente: En el proceso de fabricación de alimentos balanceados el cómo y dónde se aplica la grasa hace una gran diferencia en la calidad del pelet. Las experiencias de campo indican que añadir más de 2% de grasa en la mezcladora, causa una muy rápida, tal vez exponencial, reducción de la calidad del pelet. Altas concentraciones de grasa como suplemento en la masa, tienden a reducir la fricción entre el alimento, el rodillo y el dado. Esto previene que el rodillo empuje el alimento a través del dado.

En contraste, un sistema moderno de aplicación posterior puede añadir grasa en una alta tasa de precisión (0,5%), sin comprometer la calidad del pelet.

### **Humedad de la masa:**

El molino de alimentos balanceados de la Universidad de Kansas (KSU) en Manhattan, Kansas, EUA (2000), se investigó la relación entre el contenido de humedad y la calidad del pelet, medida por la durabilidad del pelet (PDI). En el estudio, los ingredientes que ingresaron a la mezcladora contuvieron aproximadamente 11% de humedad, y los cinco niveles tratados de contenido de humedad del ingrediente en la mezcladora fueron de 12, 13, 14, 14.5 y 15% (Cuadro 9)

Los resultados de la prueba sugieren que el contenido de humedad de la mezcla “fría” -antes de acondicionarla con vapor- es más importante para la duración final

del pelet que la humedad añadida en la cámara de acondicionamiento para producir la mezcla “caliente”.(Figura 17)

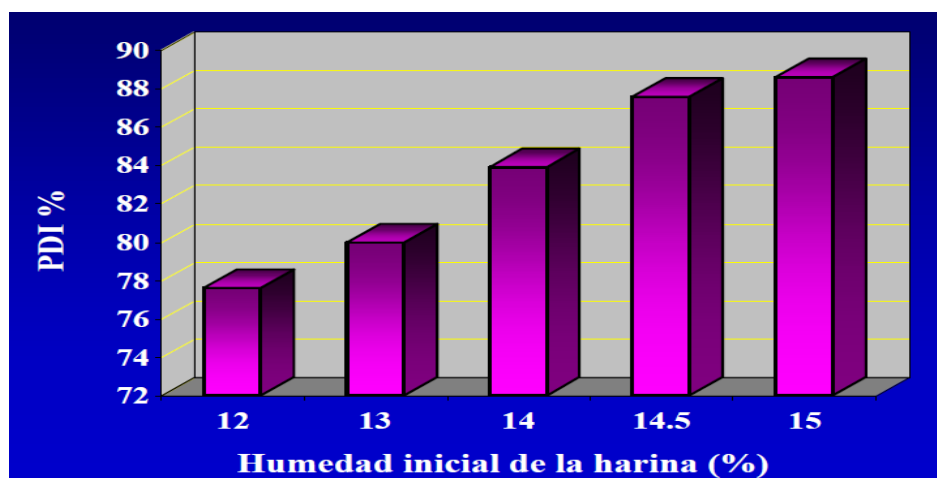
**Cuadro 9. Resumen de información de un estudio de KSU acerca del efecto de controlar con precisión la humedad dentro de la mezcladora en la producción de pelets.**

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MEZCLA (%)				DATOS DE PRODUCCION		TEMPERATURAS			CALIDAD DEL PELET	
INGRESO	OBJETIVO	TRATADO	COND.	Lbs/min	Kwh/ton	Cond.	Pelet caliente	( $\Delta T$ )	PDI(%)	%HUMEDAD
11.4	12.0	12.2 <sup>a</sup>	15.1	87.6	5.21	180	190	10 <sup>k</sup>	77.6 <sup>f</sup>	12.9
11.0	13.0	13.1 <sup>b</sup>	15.9	87.2	5.25	180	188	8 <sup>l</sup>	80.0 <sup>g</sup>	13.3
10.9	14.0	14.0 <sup>c</sup>	16.8	88.6	5.19	180	188	8 <sup>l</sup>	83.9 <sup>h</sup>	14.3
10.7	14.5	14.7 <sup>d</sup>	17.0	84.9	5.14	180	186	6 <sup>m</sup>	87.6 <sup>i</sup>	14.2
11.1	15.0	15.1 <sup>c</sup>	18.5	82.9	5.09	180	186		88.6 <sup>j</sup>	15.6

*a,b,c,d,e,f,g,h,i,j* Promedios con distintos sobre escritos difieren ( $P < 0.05$ )

*k,l,m* Promedios con distintos sobre escritos difieren ( $P < 0.1$ )

Fuente: Revista Alimentos Balanceados para Animales, Julio-Agosto 2000



Fuente: Benhke, (2000)

**Figura 17. Efecto de la inclusión de humedad en la calidad del pelet**

## ANTECEDENTES

En primer lugar se tiene que en julio del 2005 fue presentado un trabajo por Cavalcanti, Walker B. y Behnke, Keith C. donde tienen como objetivo mostrar el efecto de la composición del modelo de sistemas de alimentación sobre la calidad de pelet y desarrollan su investigación basándose en que la formulación de los ingredientes tiene una gran influencia sobre la calidad física del pelet e hicieron un experimento utilizando diferentes niveles de inclusión de maíz, harina de soya y aceite de soya, donde los resultados mostraron una mejora en la calidad del pelet con la inclusión de soya pero un efecto negativo en la inclusión de aceite a niveles mayores del 6.5%.

Este trabajo está ligado a la presente investigación ya que muestra la influencia que tienen ciertos ingredientes y la cantidad de inclusión de grasa en la mezcla sobre la calidad física del pelet.

También destacamos un trabajo presentado por Briggs, J. L., Maier, D. E., Watkins, B. A. y Behnke, K. C. en octubre de 1999, titulado donde estudiaron el efecto de algunos ingredientes, tales como maíz, maíz alto en aceite, harina de soya y torta de soya (expeller), en diferentes proporciones y el efecto de la presión de vapor en el acondicionamiento y la configuración de las paletas de mezclado dentro del acondicionador, sobre la calidad física del pelet, encontrando que con el aumento de proteínas hubo aumento de la durabilidad del pelet pero por el contrario aumentando el contenido de aceite por encima de 7,5% disminuyo

considerablemente. Igualmente la combinación de los ingredientes que tienen alto contenido de aceite presentaron una durabilidad pobre mientras que al utilizar la combinación de los ingredientes regulares se obtuvieron durabilidades aceptables. Se observaron datos positivos de durabilidad al aumentar el tiempo de permanencia de la mezcla en el acondicionador y cambiando la paleta de mezcla.

Este estudio tiene una gran contribución a esta investigación ya que demuestra como los ingredientes de la ración y los niveles altos de aceite afectan la durabilidad del pelet.

Por otra parte tenemos un trabajo de Miladinovic, Dejan y Svihus, Birger publicado en noviembre del 2010 donde presentaron resultados del estudio del efecto del espesor y el diámetro del dado sobre la durabilidad del pelet, utilizando un mismo diámetro del orificio del dado pero diferentes espesores del dado y encontrando mayor durabilidad del pelet en el mayor espesor del dado estudiado y también obtuvieron resultados positivos en la durabilidad al aumentar la tasa de alimentación independientemente del espesor del dado.

Esta investigación brinda aporte a esta investigación demostrando que las características del dado de la peletizadora tienen su influencia en la durabilidad del pelet.

Los autores Lundblada, K.K., Hancock, J.D., Behnke, K.C., Prestløkken, E., McKinney, L.J. y Sørensen, M., en el año 2009, estudiaron el efecto de la incorporación de agua en la mezcladora sobre la eficiencia de la peletización y la calidad del mismo en alimentos para cerdos, utilizando o no un expander.

Utilizaron dos dietas para cerdos en fase terminador para determinar si añadir agua en la mezcladora afecta las características del procesado y la calidad del pelet, utilizando dos dietas diferentes. Los resultados permitieron concluir que la adición de agua en la mezcladora antes del acondicionado por vapor mejora la eficiencia del peletizado y la calidad física del mismo.

Este trabajo nos aporta en la investigación una importante orientación en cuanto a los diferentes grados de humedad del alimento y su influencia en la durabilidad del pelet.

Richardson y Day en el año 1976, publicaron un trabajo donde señalan los beneficios de la adición de grasa post-pelet en la calidad de estos. El experimento arrojó evidencias de que añadiendo menos cantidad de grasa en el mezclador y mayor en el post-pelet, disminuye hasta un 30% la cantidad de finos.

Esta investigación muestra los beneficios de la adición de grasa post pelet lo cual tiene una relación directa con la mejora de la durabilidad del pelet en alimentos y es uno de los objetivos de este trabajo.

## **DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS**

Pelet:

Son pequeñas partículas que se suelen crear mediante la compresión de un material original.



Peletizadora o prensa:

Equipo que sirve para aglomerar los polvos por presión, para darles una forma y un volumen que convenga mejor a su utilización.

Peletización:

Se puede definir como una operación de moldeo tipo termo-plástica de extrusión en la cual las partículas finamente divididas de una ración son conformadas en un pelet compacto y de fácil manejo.

Durabilidad del pellet:

Duración de conservación de los granos (pelets) en lo que concierne a su reducción en harinas.

Dureza del pelet:

Es la cantidad de fuerza que se necesita para romper un pelet o una serie de pelets al mismo tiempo.

Calidad física del pelet:

Capacidad del pelet para resistir una manipulación repetida sin que se quiebre o se produzcan finos en exceso.

Gelatinización:

Ruptura de los gránulos de almidón y esto va a ser función de: Temperatura, Humedad, Tiempo, Presión, Rompimiento

Acondicionamiento:

Proceso mediante el cual se pone en contacto la harina con el vapor a fin de aumentar su humedad y temperatura, para alcanzar la gelatinización de los almidones y optimizar la peletización.

Silos:

Se refiere a todo recipiente fijo para depositar y mantener los materiales en condiciones de temperatura, humedad y presión determinada.

Tolva:

Generalmente son unidades más pequeñas que los silos en virtud de que se emplean para contener el material por periodos de tiempo relativamente cortos.

Canecas:

Envase de latón para transportar petróleo y otros líquidos.

Soya:

Frijol de soya o soja (*Glycine max*) es una especie de la familia de las leguminosas (*Fabaceae*) cultivada por sus semillas, de medio contenido en aceite y alto de proteína.

Harina de soya:

Es el sub-producto de la extracción del aceite del grano de soya. Debido a que es retirado un 80% del aceite, esta harina queda concentrada en proteína, llegando a tener entre un 42 y un 49% de proteína. Este producto debido a algunos componentes anti-nutricionales para los animales, como las aves, debe llevar un proceso de cocción adecuado, ya que estos son termolábiles.

#### Durabilímetro:

Llamado también probador de durabilidad, es un dispositivo con un tambor que gira alrededor de un eje, que simula el manejo que los pellets reciben en una situación dada en una planta de alimentos, donde se hace girar la muestra por unos 10 minutos a ciertas revoluciones por hora, donde luego se mide la cantidad de finos generados durante este tiempo y proceso.

#### Expeller de soya:

Es un subproducto del frijol de soya, que presenta como principales características un gran concentrado proteico y además, a diferencia de los Pellets extraídos por solventes, tiene un aporte de grasas y energía que lo transforman en una materia prima de altísimo valor nutricional para la elaboración de Alimentos Balanceados.

#### Expander:

Es un tubo mezclador de pared gruesa y está equipado con un eje apoyado en un punto. Se trata de un acondicionador SHTT (corto tiempo alta temperatura).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### UBICACIÓN

El trabajo experimental se realizó en las instalaciones de la planta de alimentos para animales PRONACA CA, ubicada en la zona Industrial San Miguel, en Maracay, estado Aragua. El ensayo se realizó en el mes de febrero del 2012.

### MATERIAL EXPERIMENTAL

#### PRODUCTO

Se realizó el alimento para pollos de engorde en fase de terminación, según la siguiente fórmula base:

**Cuadro 10. Fórmula para pollo de engorde en fase de terminación utilizada**

PRODUCTO	CANTIDAD (%)
Maíz amarillo	60.84
Soya en pelet 47,5% de proteínas	24.84
Aceite de soya	6.97
Harina de pescado	3.33
Fosfato tricálcico	1.60
Carbonato de calcio	0.79
Aminoácidos	0.66
Sal blanca	0.25
Vitaminas	0.15
Minerales	0.15
Enzimas	0.02
Promotores de crecimiento y otros	0.07
Cloruro de colina	0.08
Sulfato de cobre	0.01
Secuestrante de micotoxinas	0.25

Las materias primas fueron molidas a 600 micrones

Se trabajo con una temperatura en el acondicionador entre 75 y 80°C

## **EQUIPOS**

Los equipos que formaron parte del proceso se describen a continuación:

Mezcladora: tipo horizontal, de cintas, de material hierro, con una capacidad de 3000 kilogramos, a 21 rpm, con un tiempo de mezclado de 4 minutos. Esta posee unas boquillas donde se le aplica el agua directamente en el mezclado regulado por un temporizador.

Peletizadora: marca Walter, modelo Jumbo con una capacidad de 20 toneladas x hora, con un acondicionador de 1.90 mts de largo y 15 pulgadas de diámetro con un tiempo de retención del alimento de 40 segundos.

Enfriador horizontal de contraflujo, marca Rosal de capacidad de 30 toneladas por hora.

Coater o dosificador de grasa: marca MBM de capacidad 35 toneladas/hora

## **DISEÑO EXPERIMENTAL**

Para dar cumplimiento a los objetivos planteados se realizo un experimento donde la variable respuesta es % de durabilidad del pelet y los factores a estudiar son la relación largo diámetro del dado (60/4mm y 58/5mm) (factor A), % de grasa añadida en el coater (3 y 5%) (factor B) y % de humedad en la mezcladora (13 y 15%) (factor C). Conforme a que el factor A representa una limitante debido a que requiere mucho tiempo de parada de la producción para el cambio del mismo, este

no se pudo aleatorizar de la misma manera que se hizo con los factores B y C, por lo tanto se hizo la aleatorización conforme al siguiente esquema:

**Cuadro 11. Esquema de aleatorización de los factores**

<b>I</b>	<b>a<sub>0</sub></b>				<b>a<sub>1</sub></b>			
	b <sub>0</sub> c <sub>0</sub>	b <sub>1</sub> c <sub>0</sub>	b <sub>1</sub> c <sub>1</sub>	b <sub>0</sub> c <sub>1</sub>	b <sub>1</sub> c <sub>0</sub>	b <sub>0</sub> c <sub>0</sub>	b <sub>0</sub> c <sub>1</sub>	b <sub>1</sub> c <sub>1</sub>
<b>II</b>	<b>a<sub>1</sub></b>				<b>a<sub>0</sub></b>			
	b <sub>1</sub> c <sub>1</sub>	b <sub>0</sub> c <sub>0</sub>	b <sub>1</sub> c <sub>0</sub>	b <sub>0</sub> c <sub>1</sub>	b <sub>1</sub> c <sub>0</sub>	b <sub>1</sub> c <sub>1</sub>	b <sub>0</sub> c <sub>1</sub>	b <sub>0</sub> c <sub>0</sub>

Se utilizó un diseño de bloques al azar, con dos repeticiones, representando los bloques dos diferentes días de producción. Con los niveles previamente descritos se conformó un arreglo de tratamientos en parcelas divididas, donde el factor asignado a la parcela principal fue la relación largo diámetro del dado (A); en las subparcelas se aleatorizaron las combinaciones de un factorial 2<sup>2</sup>, con los niveles de los factores B y C, antes señalados.

La unidad experimental estuvo conformada por el material necesario para conformar un batch de producción (3000 Kg), de manera tal que con las especificaciones precedentes se utilizó un total de 16 unidades experimentales.

Dentro de cada unidad experimental se tomaron siete observaciones (muestras) para configurar el diseño experimental y diseño de tratamientos señalado, bajo el esquema de más de una observación por unidad experimental.

A continuación se muestra un esquema de los factores y sus niveles y las combinaciones de tratamientos

**Cuadro 12. Esquema de los factores y niveles en estudio**

FACTORES	NIVELES	
	0	1
(A) Relación largo diámetro del dado (mm)	60/40	58/5
(B) Grasa en el coater (%)	3,0	5,0
(C) Humedad en el mezclador (%)	13,0	15,0

Se tomaron las muestras en la caída en el silo de producto terminado en forma sistemática en el tiempo.

**Selección del tamaño de muestra dentro de la unidad experimental:**

Se procedió a tomar una muestra piloto de 20 unidades (500 g de pellets) y se calculó la varianza. Con estos datos se hizo el cálculo de n utilizando un error de 0,3, dando como resultado 6.20 lo que lleva a la aproximación de 7 muestras por cada batch.

Las determinaciones de durabilidad del pelet se realizaron en un durabilímetro artesanal de 50 rpm elaborado de acuerdo a la norma S269.1 de la A.S.A.E., según método para determinación descrito en los análisis de laboratorio (figura 1).

### **Cumplimiento de los principios básicos del diseño:**

Aleatorización: Se asignan los tratamientos a las unidades experimentales en cada bloque, de manera que todos los tratamientos estén representados en cada uno de ellos y distribuidos al azar, evitando de esta forma la dependencia entre las observaciones y rompiendo con la sistematización.

Replicación: El diseño es un bloque al azar con arreglo factorial, donde cada bloque representa una repetición de cada arreglo factorial. El bloque en este caso particular, lo representan los diferentes días de trabajo en las que se realiza el diseño ya que se ejecutaran los experimentos dos días diferentes.

Control Local: Se cumple con el bloqueo o agrupamiento de las unidades experimentales en los bloques, con el objetivo de extraer del error experimental la variabilidad de los días de procesamiento medido a través del bloqueo, garantizando la uniformidad dentro del bloque.

### **Descripción del modelo**

El modelo lineal aditivo para representar las observaciones asociadas a un diseño de bloques al azar con arreglo de tratamientos en parcelas divididas con un factorial  $2^2$  en las subparcelas y más de una observación por unidad experimental, es el siguiente:

$$Y_{ijklm} = \mu + \delta_j + \alpha_i + \gamma_{ij} + \beta_k + \tau_l + (\beta\tau)_{kl} + (\alpha\beta)_{ik} + (\alpha\tau)_{il} + (\alpha\beta\tau)_{ikl} + \varepsilon_{ijkl} + \phi_{ijklm}$$



para:

i: 1,2      j: 1,2      k: 1,2      l: 1,2    y m: 1, 2, 3, 4, 5, 6,7.

donde:

$Y_{ijklm}$  = m-ésima muestra de la durabilidad del pelet en i-ésimo nivel de la relación largo-diámetro del dado, en el k-ésimo nivel de % de grasa en el coater, en el l-ésimo nivel del % de humedad en la mezcladora, en la unidad experimental del bloque l.

$\mu$  = Media general

$\delta_j$  = Efecto del bloque (día) en el j-ésimo nivel.

$\alpha_i$  = Efecto de la relación largo-diámetro del dado en el i-ésimo nivel

$\gamma_{ij}$  = Error en la unidad experimental asociado al i-ésimo nivel de la relación largo diámetro del dado y el j-ésimo nivel del bloque (día).

$\beta_k$  = Efecto del % de grasa en el coater en el k-ésimo nivel

$\tau_l$  = Efecto del % de humedad en la mezcladora en el l-ésimo nivel.

$(\beta\tau)_{kl}$  = Efecto de la interacción del k-ésimo nivel del % de grasa en el coater y el l-ésimo nivel del % de humedad en la mezcladora.

$(\alpha\beta)_{ik}$  = Efecto de la interacción del i-ésimo nivel de la relación largo diámetro del dado y el k-ésimo nivel del % de grasa en el coater.

$(\alpha\tau)_{il}$  = Efecto el i-ésimo nivel de la relación largo diámetro del dado y el l-ésimo nivel del % de humedad en la mezcladora.

$(\alpha\beta\tau)_{ikl}$  = Efecto de la interacción del i-ésimo nivel de la relación largo diámetro del dado, el k-ésimo nivel del % de grasa en el coater y el l-ésimo nivel del % de humedad en la mezcladora.

$\varepsilon_{ijkl}$  = Errores en la unidad experimental asociado al i-ésimo nivel de la relación largo diámetro del dado, el j-ésimo nivel del bloque (dia), el k-ésimo nivel del % de grasa en el coater y el l-ésimo nivel del % de humedad en la mezcladora.

$\phi_{ijklm}$  = Errores de muestreo en las unidades experimentales.

El esquema del análisis de la varianza se describe a continuación:

**Cuadro 13. Esquema ANAVAR para el diseño bloques al azar con arreglo de parcelas divididas.**

Fuente de Variación	Grados de libertad
<b>Bloque</b>	$(r-1) = 1$
<b>A</b>	$(a-1) = 1$
<b>Error (a)</b>	$(r-1)(a-1)=1$
<b>B</b>	$(b-1) = 1$
<b>C</b>	$(c-1) = 1$
<b>BC</b>	$(b-1)(c-1) = 1$
<b>AB</b>	$(a-1)(b-1) = 1$
<b>AC</b>	$(a-1)(c-1) = 1$
<b>ABC</b>	$(a-1)(b-1)(c-1) = 1$
<b>Error(b)</b>	$a[(bc-1)(r-1)] = 6$
<b>Error de muestreo</b>	$abcr(m-1) = 96$
<b>Total</b>	$(abcrm)-1 = 111$

Previo al análisis se efectuó la comparación de los errores  $E(b)$  y  $E(m)$ , resultando no significativo la comparación de los mismos, por lo tanto se unieron en un solo error.

## **MEDICIONES**

### **ANALISIS DE LABORATORIO**

#### **DETERMINACION DE DURABILIDAD DEL PELET**

##### FUNDAMENTO:

Consiste en una agitación de los pelets por un determinado tiempo en un aparato que simula el manejo de los pelets en una planta de alimentos, midiendo el porcentaje de finos generados.

##### EQUIPOS Y MATERIALES:

- Durabilímetro (Figura 18)
- Tamiz N°5
- Balanza analítica

##### PROCEDIMIENTO:

- Tomar una muestra de 1 Kg. a la salida del enfriador.

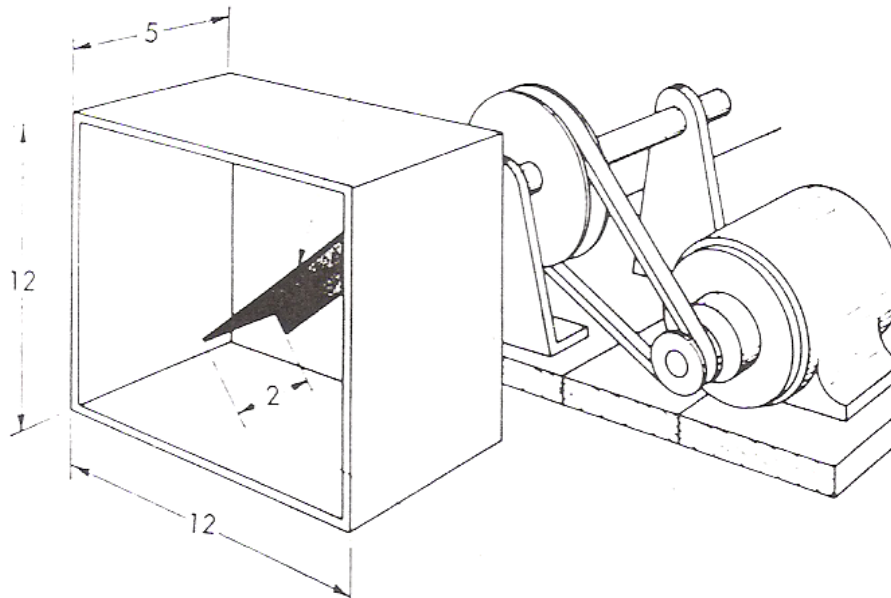
- Pasar por el tamiz N° 5 (con aproximadamente 12°C por debajo de la temperatura ambiente)\*
- De los granos sin finos tomar una muestra de 500 gramos y se introduce en la recamara del aparato.
- Se somete a la rotación durante 10 minutos.
- Finalmente la muestra resultante se tamiza nuevamente se extraen los finos y se pesan los granos resistentes a la agresión mecánica a que fueron sometidos.

#### EXPRESION DE LOS RESULTADOS:

Durabilidad = peso pelets después de pasar por el equipo (ret. en tamiz 5) x100

Peso pelets antes de pasar por el equipo (debería ser 500g)

\*Esta prueba se debe hacer cuando el pellet esté frío, aproximadamente 12 °C por debajo de la temperatura ambiente. Si el pellet está caliente se debe hacer humedad antes del paso por el equipo y después del paso por el equipo y compensar el peso en la fórmula.



**Figura 18. Durabilímetro de 50 rpm de acuerdo a la norma S269.1 de la A.S.A.E.**

## **DATOS DE DURABILIDAD DEL PELET DE LA EMPRESA**

A continuación mostramos un cuadro con un resumen de los datos del año anterior, de la durabilidad del pelet en la empresa PRONACA C.A.

**Cuadro 14. Datos de durabilidad (%) del pelet de la empresa durante el año 2011**

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
78.57	64.23	65.60	75.94	76.49	77.30	75.73	79.82	74.77	77.50	79.77	84.89

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Estadística descriptiva:

Iniciamos nuestro análisis estadístico con el estudio de nuestra variable dependiente o respuesta definida como el porcentaje de durabilidad del pelet. A continuación se presenta un análisis descriptivo de la misma.

**Cuadro 15. Resumen estadístico de las medias descriptivas de la variable dependiente % Durabilidad del Pelet.**

<b>N</b>	112	<b>Coefficiente de variación</b>	4.1952073
<b>Media</b>	87.4274036	<b>Varianza</b>	13.4524694
<b>Desviación típica</b>	3.66776082	<b>Curtosis</b>	-0.6159833
<b>Asimetría</b>	-0.2140155	<b>Media del error estandar</b>	0.34657082

*Fuente: Padrón (2012)  
Resultado salida por SAS.*

La variable dependiente “% Durabilidad del Pelet” tiene una distribución normal, con media de 87.42% y una desviación típica 3.66%. Los valores normales se encuentran dentro del intervalo  $87.42\% \pm 3.66\%$ . El 50% central de la distribución tiene una durabilidad mínima de 85,24% y máxima de 91%. Por otra parte el 50% de las observaciones se encuentra por debajo de 87,20%.

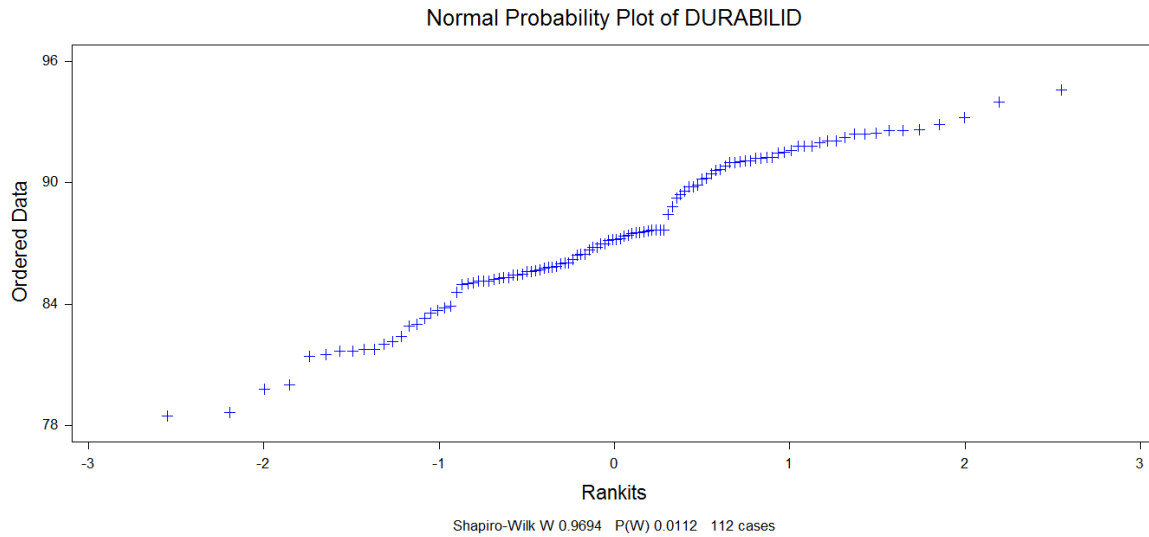
### Comprobación de validez del modelo y sus supuestos:

La descomposición de la variabilidad de las observaciones del porcentaje de durabilidad del pelet mediante la identidad del análisis de la varianza (ANAVAR), requiere que ciertas suposiciones no muestren evidencia de incumplimiento, las cuales se verificaron a través de pruebas específicas, las cuales se presentan en el cuadro 16.

**Cuadro 16. Verificación de los supuestos del ANAVAR**

Supuesto a probar	Prueba de significancia	Hipótesis planteadas
<b>Normalidad de los errores</b>	Shapiro-Wilks	H <sub>0</sub> : Hay normalidad de los errores H <sub>1</sub> : No hay normalidad de los errores
<b>Homocedasticidad</b>	Barlett's	H <sub>0</sub> : Existe homogeneidad de las varianzas H <sub>1</sub> : No existe homogeneidad de las varianzas

El grafico de la figura 19, muestra que los valores de los residuos estandarizados, se encuentra alineados en diagonal formando un ángulo de 45° con respecto al eje horizontal de la figura. Esto nos lleva a inferir que la distribución de los residuos tiene distribución normal.

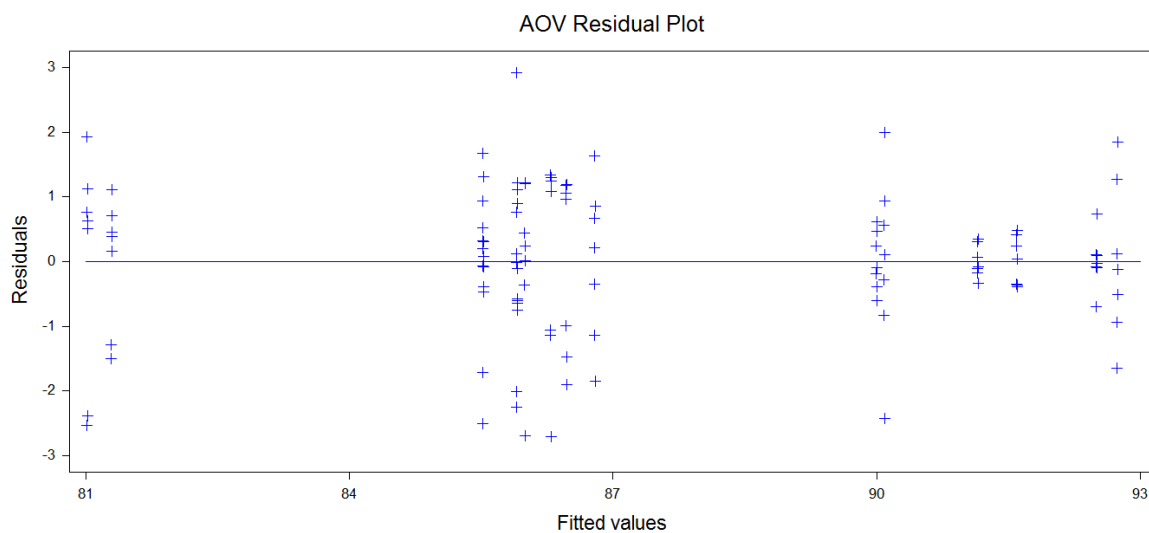


*Fuente: Padrón.*

*Nota: Grafico con salida del programa Statistix 8.0.*

**Figura 19. Gráfico de las probabilidades normal de los residuos estandarizados.**

**Supuesto de Homogeneidad de las varianzas:**



*Fuente: Padrón (2012)*

*Nota: Grafico, salida por Statistix 8.0.*

**Figura 20. Gráfico de Homocedasticidad de los residuos**



De acuerdo con la figura 20, se indica el cumplimiento del supuesto de homogeneidad de las varianzas, ya que se observa que no existe una estructura definida de cada uno de los puntos con respecto a la respuesta, la misma se pudo alcanzar asignando aleatoriamente los tratamientos durante el experimento, logrando también la independencia de los errores.

Cumplidos los supuestos del análisis de la varianza, podemos indicar que los resultados obtenidos para realizar el mismo son válidos.

### **Análisis de la Varianza (ANAVAR):**

A continuación se presentan los resultados del análisis de varianza del diseño de experimento utilizado en esta investigación con el cual se dará parte de la discusión de los resultados.

**Cuadro 17. Análisis de Varianza para el % de Durabilidad del pelet**

F de V	GL	SC	CM	F	P
BLOQUE	1	1.49	1.49	3.47	0.3136
LARGO/DIAMETRO (A)	1	138.55	138.55	322.21	0.0354
Error (a)	1	0.43	0.43		
GRASA (B)	1	680.35	680.35	507.72	<.0001
HUMEDAD (C)	1	307.27	307.27	229.31	<.0001
GRASA*HUMEDAD (B*C)	1	22.85	22.85	17.05	<.0001
L/D*GRASA (A*B)	1	9.72	9.72	7.25	0.0082
L/D*HUMEDAD (A*C)	1	194.36	194.36	145.04	<.0001
L/D*GRASA*HUMEDAD (A*B*C)	1	1.74	1.74	1.30	0.2575
Error	102	136.48	1.34		
TOTAL	111	1493.22			

*Fuente: Padrón*

*Nota: Resultado salida por SAS.*

Los resultados muestran que las fuentes de variación que han resultado significativas han sido: el factor A (relación largo-diámetro), el factor B (%grasa), el factor C (%humedad) y las interacciones del factor A y B, A y C, B y C; mientras que el efecto de los bloques y de la interacción A,B y C, han resultado no significativas.

A continuación presentamos los resultados del resumen de medias de los niveles de bloques y factores:

**Cuadro 18. Medias de cuadrados mínimos de los niveles de los factores**

<b>FACTOR</b>	<b>MEDIA</b>
<b>Bloque 1</b>	87.3120125
<b>Bloque 2</b>	87.5427946
<b>Largo-diámetro 58/5</b>	86.3151768
<b>Largo diámetro 60/4</b>	88.5396304
<b>% grasa 3</b>	84.9627464
<b>% grasa 5</b>	89.8920607
<b>% Humedad 13</b>	85.7710661
<b>%Humedad 15</b>	89.0837411

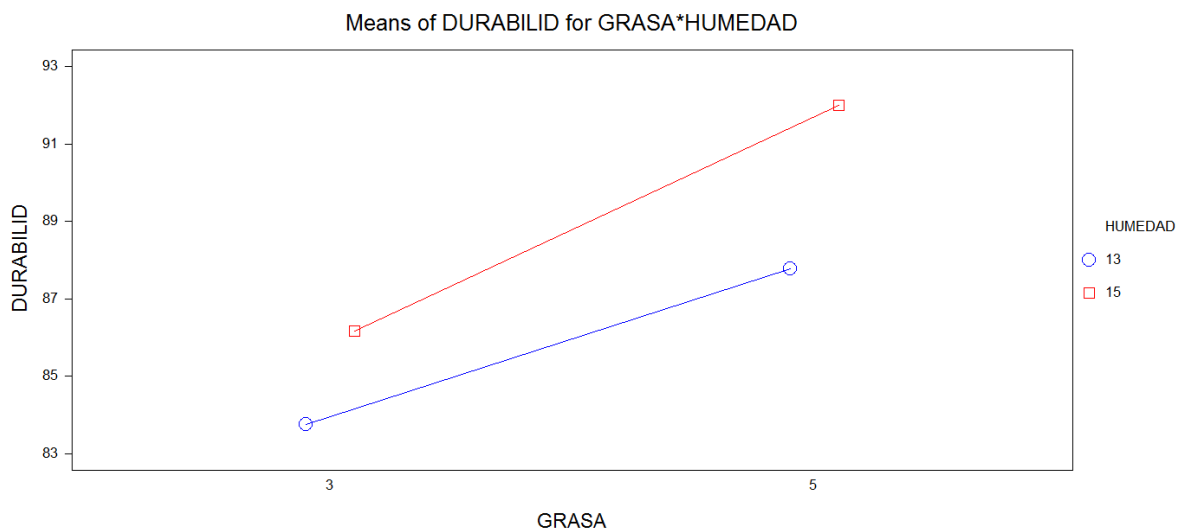
*Fuente: Padrón (2012)*

*Nota: Resultado salida por SAS.*

Claramente observamos en este recuadro que no existe diferencia significativa entre los bloques, pero los niveles superiores de los tres factores, A (relación largo-diámetro del dado), B (% de grasa del coater) y C (% de humedad en la mezcladora) presentan el mayor efecto, es decir, permiten un mayor PDI, corroborando lo arrojado por el anavar.

### Estudio gráfico de los efectos de las interacciones de los factores sobre el porcentaje de durabilidad del pelet.

A continuación se presentan en forma gráfica las interacciones que dieron significativas y sus efectos sobre el porcentaje de durabilidad del pelet, comenzando con la figura 21, con la interacción entre el factor B (% de grasa del coater) y C (% de humedad en la mezcladora).



Fuente: Padrón (2012)

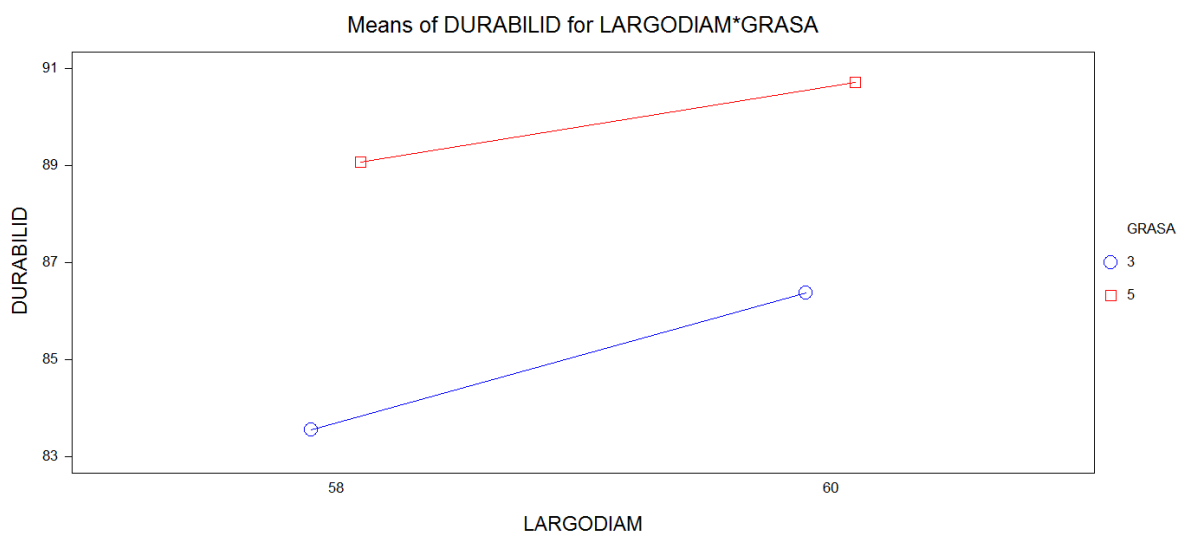
Nota: Salida con Statistix 8.0

**Figura 21. Gráfico de interacción del % de grasa en el coater (factor B) y el % de humedad en la mezcladora (factor C).**

En el gráfico se nota que cuando se combina un 3% de grasa y 13% de humedad el promedio del porcentaje de durabilidad del pelet es de 83.6634357%, y este aumenta a 86.2498294% con la combinación de un 5% de grasa con un 13% de humedad. Esto mismo ocurre cuando se combina un 5% de grasa y 13% de humedad cuyo promedio fue de 87.7626464% y al combinar un 5% de grasa con

un 15% de humedad el promedio aumenta a 91.8135692%. Se pone en evidencia que los promedios marginales son diferentes, tal como lo muestra la gráfica y el efecto es mayor con el 15% de humedad para ambos niveles de grasa, pero aun es mayor con la interacción de un 5% de grasa en el coater y 15% de humedad en la mezcladora.

En la gráfica de la figura 22, se presenta la interacción de los factores A = relación largo-diámetro del dado y B = % grasa en el coater y sus efectos sobre el porcentaje de durabilidad del pelet.



*Fuente: Padrón.*

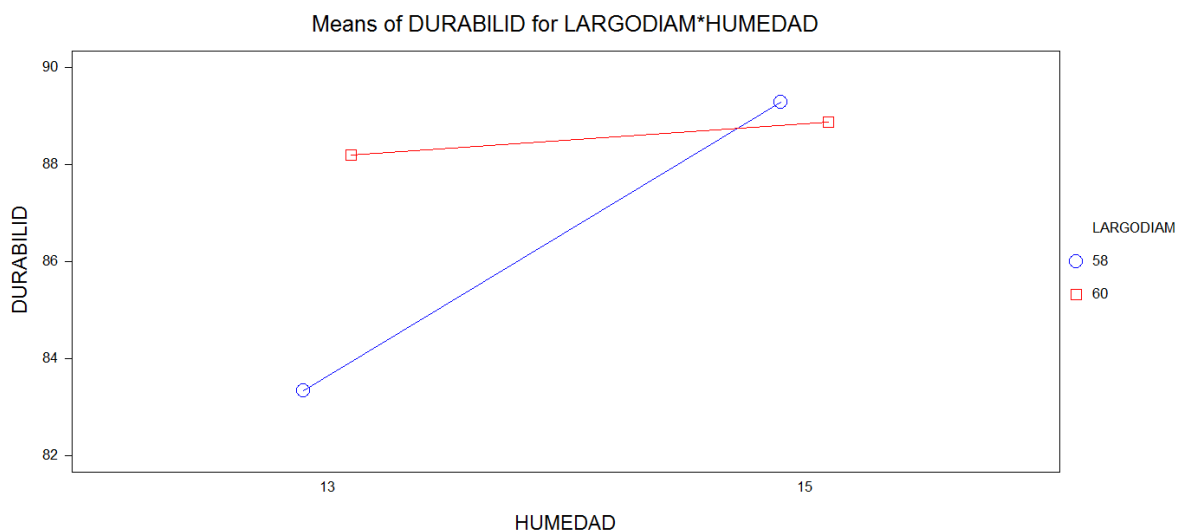
*Nota: Salida con Statistix 8.0*

**Figura 22. Gráfico de interacción de la relación largo-diámetro (factor A) y el % de grasa en el coater (factor B).**

Aquí se aprecia que existe interacción entre los factores y se logra un mayor % de durabilidad del pelet cuando se combinan los niveles de la relación del largo diámetro de 60mm/4mm y un 5% de grasa en el coater que con el nivel

58mm/5mm de la relación largo diámetro del dado con un 3% de grasa en el coater.

En la figura 23 se muestra la interacción de los factores A = relación largo-diámetro del dado y C= % humedad en la mezcladora y sus efectos sobre el porcentaje de durabilidad del pelet.



*Fuente: Padrón.*

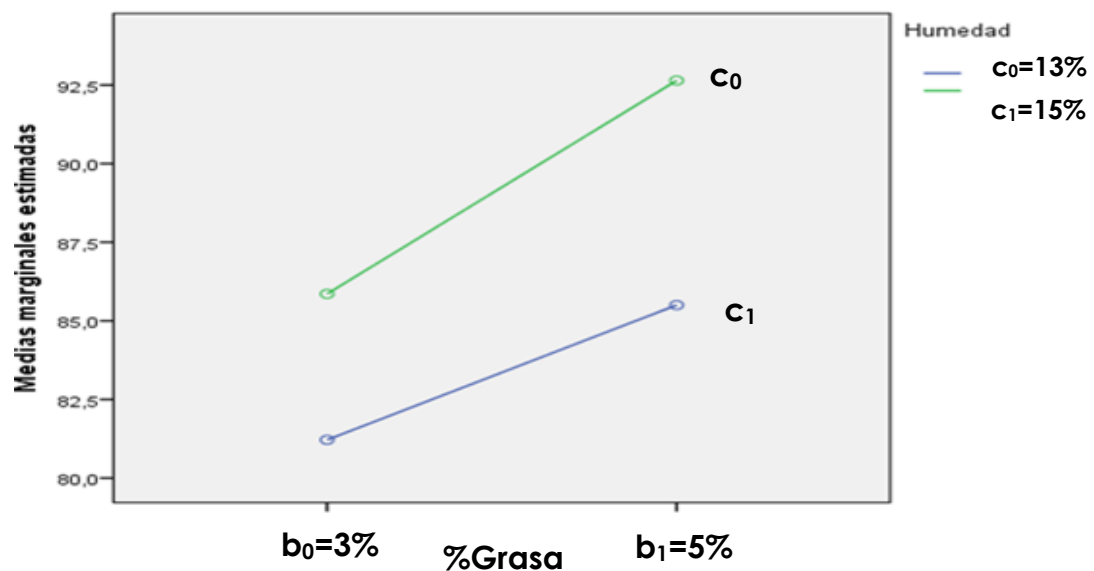
*Nota: Salida con Statistix 8.0*

**Figura 23. Gráfico de la interacción de la relación largo-diámetro del dado (factor A) y el % de humedad en la mezcladora (factor C).**

En esta figura se nos muestra que existe interacción entre los factores, y se logra un mayor % de durabilidad del pelet cuando se combinan los niveles de relación largo-diámetro del dado de 60mm/4mm y un 15% de humedad en la mezcladora que con el nivel 58mm/5mm de la relación largo diámetro del dado con un 13% de humedad en la mezcladora.

También podemos destacar que existen intercepción entre las interacciones de los dos factores indicando que los efectos serian iguales en un nivel de humedad de aproximadamente un 14,5% de humedad en la mezcladora.

A continuación en la figura 24, se muestra una gráfica de la respuesta de los datos del porcentaje de durabilidad del pelet, y la relación largo-diámetro del dado (58mm/5mm) interactuando con los niveles del factor B= porcentaje de grasa en el coater (%grasa:  $b_0$  y  $b_1$ ) para ambos niveles del factor C= porcentaje de humedad (%humedad:  $c_0$  y  $c_1$ ).



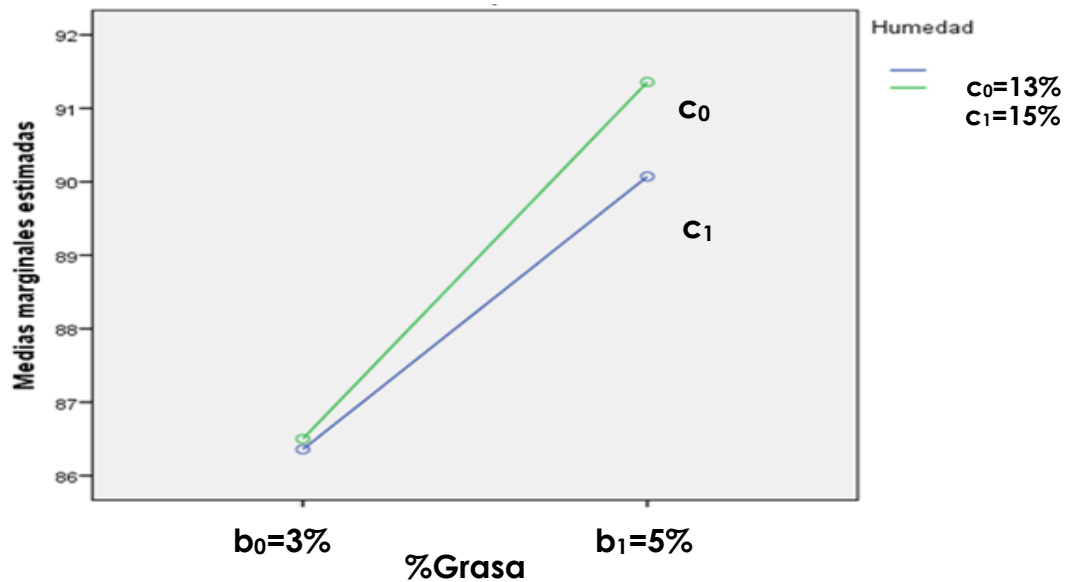
Fuente: Padrón (2012)  
Nota: Salida con SPSS

**Figura 24. Gráfico de trazado de perfil de la relación largo-diámetro del dado en su nivel alto (factor A 58/5mm), el% de grasa de coater (factor B) y el % de humedad de la mezcladora (factor C).**

Observamos que las rectas  $c_0$  y  $c_1$  no son paralelas, esto indica que hay interacción entre los dos factores.

Igualmente se nota que cuando se combina un 5% de grasa en el coater con un 13% de humedad en la mezcladora el porcentaje de la durabilidad del pelet aumenta con relación a la combinación de un 3% de grasa en el coater y 13% de humedad en la mezcladora. Esto mismo ocurre cuando se combina un 5% de grasa en el coater con un 15% de humedad en la mezcladora en relación a la combinación 3% y 15% respectivamente. Se evidencia que los promedios marginales son diferentes, tal como lo muestra la gráfica. La grafica también nos muestra que la respuesta del % durabilidad del pelet es mayor cuando los porcentajes de grasa en el coater y humedad en la mezcladora son de 5% y 15% respectivamente en comparación con un 3% y 13% de los mismos.

A continuación en la figura 25 se muestra la gráfica de la respuesta de los datos del porcentaje de durabilidad del pelet, del nivel más bajo del factor A= relación largo-diámetro del dado (60mm/4mm), interactuando con los dos niveles del factor B= porcentaje de grasa en el coater (%grasa:  $b_0$  y  $b_1$ ) para ambos niveles del factor C= porcentaje de humedad en la mezcladora (%humedad  $c_0$  y  $c_1$ )



Fuente: Padrón.

Nota: Salida con SPSS

**Figura 25. Gráfico de trazado de perfil de la relación largo-diámetro del dado en su nivel bajo (factor A 60/4mm), el % de grasa de coater (factor B) y el % de humedad de la mezcladora (factor C).**

Observamos que las rectas  $c_0$  y  $c_1$  no son paralelas. Las interacciones de los factores B y C son aproximadamente idénticos en el 3% de grasa en el coater en combinación del 13% y 15% de humedad en el mezclador, mientras que en el nivel de 5% grasa del coater se observa que la durabilidad es mayor con el nivel de 15% humedad en el mezclador que con el 13% humedad.

En tal sentido, Lundblada, K.K., Hancock, J.D., Behnke, K.C., Prestløkkena, E., McKinney, L.J. y Sørensend, M. (2009), señalan en su investigación que al añadir mayor cantidad de agua en el mezclado, aumenta hasta más de 2% el PDI. Igualmente, Richardson y Day (1976), publicaron los beneficios de la adición de grasa post-pelet en la calidad física del pelet, arrojando evidencias de que al añadir mayor cantidad de grasa en el post-pelet, disminuye hasta un 30% la



cantidad de finos. Por consiguiente los gráficos anteriores, tanto como el recuadro 18, nos permiten confirmar los beneficios de la mayor cantidad de humedad en la mezcladora y de grasa en el post-pelet.

También es oportuno señalar que, Miladinovic, Dejan y Svihus, Birger (2005), estudiaron el efecto del espesor y el diámetro del dado en la durabilidad del pellet, donde el mismo diámetro del orificio del dado (3.5mm) y diferente espesor del dado (50 mm y 60 mm) fueron usados, donde se observó que con el dado de 60 mm se obtuvieron los mayores valores de PDI. Al igual que con los porcentajes de humedad en la mezcladora y de grasa post pelet, nuestra investigación corrobora lo señalado por estos investigadores respecto al largo del dado, donde se obtuvieron mejoras en el PDI con un espesor de 60mm del mismo.

Haciendo el análisis de los resultados de PDI obtenidos durante la investigación con los datos de PDI para la empresa durante el año 2011, señalados en el cuadro 14, podemos observar una mejora en promedio entre 5.14% y 16.86% con los diferentes tratamientos aplicados.

## CONCLUSIONES

Al finalizar nuestro análisis podemos concluir lo siguiente:

- Con nuestra investigación se corroboró lo señalado en las revisiones bibliográficas, donde diferentes estudios señalan que la durabilidad del pelet se ve afectada significativamente por los factores estudiados.
- Podemos concluir que aumentando la cantidad de grasa a añadir post-pelet y por ende disminuyendo la cantidad pre-pelet, se mejora considerablemente la durabilidad del pelet.
- Aumentando la humedad antes del acondicionamiento del producto, se ve aumentada la durabilidad del pelet.
- Esta investigación demuestra que el uso de un dado en la peletizadora que tenga una relación largo-diámetro de 60/4mm ayuda a mejorar la durabilidad del pelet en comparación con un dado con una relación largo-diámetro de 58/5mm.
- Se concluye que con una temperatura en el acondicionador entre 75 y 80°C y una molienda de 600 micrones, una humedad de 15% en la mezcladora, un dado con una relación largo diámetro de 60/4mm y un % de grasa a añadir en el coater de 5%, produce una mejora

importante en la calidad del pelet, expresada en la durabilidad del mismo.

- Las combinaciones de estos factores demuestran mejoras en la durabilidad del pelet.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda hacer estudios de otros factores que han demostrado ser importantes en la optimización de la calidad del pelet, tales como la temperatura del acondicionador, la molienda o tamaño de partícula de las materias primas y el tipo de materias primas utilizadas en la formulación del alimento.
- Se recomienda en la medida de lo posible, ya que existen ciertas limitaciones técnicas en la planta PRONACA C.A., fijar como parámetros de utilización de relación largo diámetro del dado, % de grasa a añadir en el coater y % de humedad en la mezcladora de 60/4mm, 5 y 15, respectivamente, ya que quedo demostrado que estos producen mejoras en la durabilidad del pelet.
- Igualmente se recomienda hacer estudios de costos para hacer mejoras en los equipos de la planta que puedan garantizar un mejor control de estos parámetros y así mejorar significativamente la durabilidad del pelet y por ende la productividad de la empresa.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ALASA S.A. Información ofrecida por profesionales de la empresa e información obtenida por experiencias durante las prácticas realizadas en empresas similares. 2007 - 2008

American Feed Industry Association, Inc. (2005). *Feed Manufacturing*. 5ta edición, Virginia, Estados Unidos de América.

Behnke, K. C. (2010). *El arte (ciencia) del peletizado*.(versión electrónica), en *Revista Industria Avícola*, pp 22-23

Behnke, K. C. (1992). *Factores que afectan la calidad del pelet*. Asociación Americana de Soya.

Behnke, K. C. 1996. *Feed manufacturing technology: Current issues and challenges*. *Animal Feed Science and Technology*, Vol. 62, pp 49-57.

Bergner, H. (1970). *Elementos de nutrición animal*. Editorial Acribia. Zaragoza, España.

Beyer, S., Greer, D. y Fairchild, F. (2000). *Broiler Feed Quality and Efficiency are Significantly Improved by Precise Ingredient Moisture Control in the Mixer*.  
<http://www.grainprep.com/pdfs/broiler.pdf>

- Cavalcanti, W. y Behnke, K.C. (2005). *Effect of composition of feed model systems on pellet quality: a mixture experimental approach. II.*  
<http://cerealchemistry.aaccnet.org/doi/abs/10.1094/CC-82-0455>
- Camba, N. (1982). *Manual de Métodos de Análisis de Productos Pesqueros.* Boletín Científico y Técnico de Instituto Nacional de Pesca. Volumen 5. Número 4. Guayaquil- Ecuador. Pág.: 19-36,41.
- Campabadal, C. (2009). *Efecto del procesamiento sobre la calidad de los alimentos.*  
<http://www.ciabcr.com/charlas/NutricionAnimal112009/EFFECTO%20DEL%20OPROCESAMIENTO%20SOBRE%20LA%20CALIDAD%20DE%20LOS.ppt>
- Crampton, E.W y Harris, L.E. (1980). *Nutrición Animal Aplicada.* Editorial Acribia. Zaragoza, España.
- Cruz , E., Ruiz, P., Cota, E., Nieto, M., Guajardo, G., Tapia, M., et al. (2009). *Revisión sobre Algunas Características Físicas y Control de Calidad de Alimentos Comerciales para Camarón en México.*  
<http://soyamex.com.mx/acuacultura/rapco-camarones-2009/universidad-autonoma-de-nuevo-leon/control-de-calidad-alimentos-comerciales.pdf>

De Albuquerque, W. (2004). *Efecto de la peletización de alimentos balanceados sobre el desempeño de las aves y porcinos.*

[http://www.ferrazmaquinas.com.br/esp/efeito\\_peletizacao.htm](http://www.ferrazmaquinas.com.br/esp/efeito_peletizacao.htm)

Decksheimer, D. (2006). *Post-pelleting liquid application: A practical Guide.* Feed Technology. American Soybean Association.

Dosier, W.A. (2001). *Pelet de calidad para obtener carne de ave mas económica., en Alimentos balanceados para animales, Mayo-Junio 2001. pp. 16-19.*

Dumonteil, M. (1967). *Introducción a la tecnología de la fabricación de piensos.* Editorial Acribia, Zaragoza, España.

Fairchild, F. y Greer, D. (2000). *Peletizado con control preciso de humedad en la mezcladora., en Alimentos Balanceados para Animales. Julio- Agosto 2000. pp. 26-28*

Froetschner, J. (2006). *Adding liquids to the feed after pelleting.* Feed Tech. <http://www.allaboutfeed.net/animal-feed-processing/adding-liquids-to-the-feed-after-pelleting-10367.html>

Juárez, A., Sarmiento, L. y Segura, J. (2010). *Efecto de la relación pellet: harina en la dieta sobre el rendimiento productivo de gallinas de postura.* <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/939/93913074014.pdf>

Kenny, M. y Rollins, D. (2007). *Calidad física del pienso*. ROSS TECH 07/45

Leaver, R. H. (1984). *El proceso de peletizar*. Caracas, CONCEFO.

Lundblada, K.K., Hancock, J.D., Behnke, K.C., Prestløkken, E., McKinney, L.J. y Sørensen, M. (2009). *Efecto de la incorporación de agua en la mezcladora sobre la eficiencia de la granulación y la calidad del gránulo en piensos de acabado para cerdos, utilizando o no un expander.*, en *Animal Feed Science and Technology*, 150: 295-302.

McElhiney, R. (1989). *Perspective on pelleting.*, en *Feed International* pp. 24-32.

Montgomery, D.C. (2007). *Diseño y Análisis de experimentos*. Universidad Estatal de Arizona. Segunda edición. Editorial Limusa S.A. de C.V. México D.F., México.

Ojeda, A. (2010). *Procesamiento de alimentos. Elaboración de alimentos balanceados para animales*.  
[http://www.ucv.ve/fileadmin/user\\_upload/facultad\\_agronomia/2. Industria de Alimentos.ppt](http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_agronomia/2.Industria_de_Alimentos.ppt).

Padrón, M. P. (1984). *Tecnología aplicada a la producción de alimentos para animales*. Universidad Santa María, Caracas.



Payne, J., Rattink, W., Smith, T., Winowiski, T., Dearsley, G. y Strom, L. (sf). *The pelleting handbook*. Borregaard Lignotech.

Payne, J. (2006). *Troubleshooting the pelleting Process*. Feed Technology. American Soybean Association.

Pontes, M. y Castello, J. A. (1995). *Alimentación de las aves*. Real escuela de Avicultura. Primera edición, Barcelona, España.

Reusher, D. (2006). *Particle size reduction for animal feeds*. Feed Technology. American Soybean Association.

Rokey, G. (sf). *Better pellets with DDC preconditioning*.  
<http://www.allaboutfeed.net/animal-feed-processing/better-pellets-with-ddc-preconditioning-10876.html>

Rodriguez, S. (2009) *Alimento Balanceado en semigrano para Aves*.  
<http://www.engormix.com/MA-avicultura/nutricion/articulos/alimento-balanceado-semigrano-aves-t2767/p0.htm>

Simmons, N. O. (sf). *Tecnología de la fabricación de piensos*. Editorial Acribia, Zaragoza, España.

Stark, C. y Ferket, P. (sf). *Conditioning, Pelleting, Extrusion and Cooling.*

<http://www.ncsu.edu/project/feedmill/presentations/Philippines%202011/Conditioning%20Pelleting%20Cooling%202011.pdf>

Stark, C. (sf). *Effect of die thickness and pellet mill throughput on pellet quality.*

[http://www.feedmachinery.com/articles/feed\\_technology/the-art-science-of-pelleting3/](http://www.feedmachinery.com/articles/feed_technology/the-art-science-of-pelleting3/)

Tafara, Ch., Mutandwa, E., Chihya, J. y Mlambo, R. (2006). *A Comparative Economic Analysis of Mash and Pelleted Feed in Broiler Production under Deep Litter Housing System.* <http://www.pjbs.org/ijps/fin653.pdf>

Trevidy, J. (sf). *Broiler Feeding: Mash or Pellet?.*

<http://www.thepoultrysite.com/articles/291/broiler-feeding-mash-or-pellet>

Williams, P. (sf). *Calidad de pienso y beneficios potenciales.*

<http://www.avideter.com/ftp/articles/articulo412.pdf>

Winowiski, T. (1985). *Problems in optimizing pellet quality.*, Feed Management.

