



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Química

**PARÁMETROS OPERACIONALES PARA LA EFICIENCIA DE LA PRODUCCIÓN Y
CALIDAD DE ALIMENTOS BALANCEADOS EN PELLET PARA POLLO Y CAMARÓN**

María José Sandoval Rosales

Asesorada por: Ing. Augusto Alberto Domínguez Monterroso

Guatemala, octubre de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PARÁMETROS OPERACIONALES PARA LA EFICIENCIA DE LA PRODUCCIÓN Y
CALIDAD DE ALIMENTOS BALANCEADOS EN PELLET PARA POLLO Y CAMARÓN**

INFORME DE EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO (E.P.S. FINAL)

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MARÍA JOSÉ SANDOVAL ROSALES

ASESORADO POR EL ING. AUGUSTO DOMÍNGUEZ MONTERROSO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN QUÍMICA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

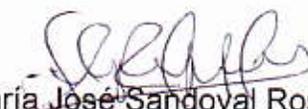
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR/A	Ing. Williams G. Alvarez Mejía
EXAMINADOR/A	Inga. Teresa Lisely de León Arana
EXAMINADOR/A	Inga. Hilda de Palma
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi informe de ejercicio profesional supervisado (E.P.S. final) titulado:

PARÁMETROS OPERACIONALES PARA LA EFICIENCIA DE LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE ALIMENTOS BALANCEADOS EN PELLET PARA POLLO Y CAMARÓN

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería en Ingeniería Química, con fecha agosto de 2011.


María José Sandoval Rosales

Guatemala, 05 de enero de 2011

Ing. Williams G. Álvarez Mejía
Director de Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Álvarez Mejía

Por este medio le saludo para informarle que el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S) titulado "PARÁMETROS OPERACIONALES PARA LA EFICIENCIA DE LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE ALIMENTOS BALANCEADOS EN PELLET PARA POLLO Y CAMARÓN" que fue desarrollado por la universitaria María José Sandoval Rosales, su contenido fue aprobado y supervisado por ARECA S.A.

Por lo que en mi calidad de Asesor apruebo su contenido solicitándole darle el trámite correspondiente.

Atentamente



Ing. Augusto A. Domínguez Monterroso
Gerente de Nutrición
ARECA S.A.



Guatemala, 14 de octubre de 2011
Ref.EIQ.TG.206.2011

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta **EPS-1372011-B-IF** le informo que reunidos los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del informe final del trabajo de graduación, para optar al título de INGENIERA QUÍMICA a la estudiante universitaria, **María José Sandoval Rosales**, identificada con carné No. **200313221**, titulado: **"PARÁMETROS OPERACIONALES PARA LA EFICIENCIA DE LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE ALIMENTOS BALANCEADOS EN PELLET PARA POLLO Y CAMARÓN"**, el cual ha sido asesorado por el Ingeniero Químico **Augusto Domínguez**.

Habiendo encontrado el referido informe final **satisfactorio**, se procede a recomendarle autorice a la estudiante **Sandoval Rosales**, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Inga. Teresa Lisely de León Arana, M.Sc.
COORDINADORA
Tribunal que revisó el informe final
Del trabajo de graduación

C.c.: archivo



Guatemala, 13 de octubre de 2010.
Ref.EPS.DOC.646.10.10.

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Sarmiento Zeceña.

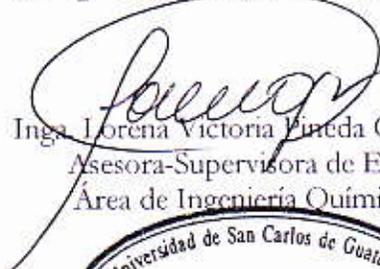
Por este medio atentamente le informo que como Asesora-Supervisora de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), de la estudiante universitaria **María José Sandoval Rosales** de la Carrera de Ingeniería Química, con carné No. **200313221**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“PARÁMETROS OPERACIONALES PARA LA EFICIENCIA DE LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE ALIMENTOS BALANCEADOS EN PELLETS PARA POLLO Y CAMARÓN”**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”


Inga Lorena Victoria Vinuela Cabrera
Asesora-Supervisora de EPS
Área de Ingeniería Química



c.c. Archivo
LVPC/ra



Guatemala, 13 de octubre de 2010.

Ref.EPS.D.1033.10.10.

Ing. Williams G. Alvarez Mejía
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Alvarez Mejía.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"PARÁMETROS OPERACIONALES PARA LA EFICIENCIA DE LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE ALIMENTOS BALANCEADOS EN PELLET PARA POLLO Y CAMARÓN"** que fue desarrollado por la estudiante universitaria **María José Sandoval Rosales**, quien fue debidamente asesorada y supervisada por la **Ingeniera Lorena Victoria Pineda Cabrera**.

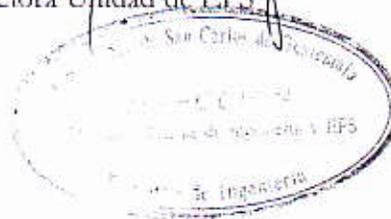
Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte de la Asesora -Supervisora de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

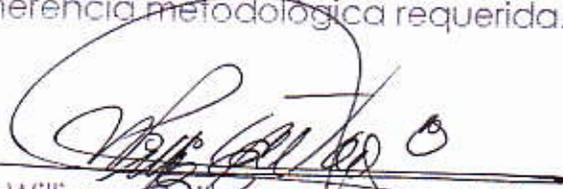

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zecena de Serrano
Directora Unidad de EPS

NISZ/ra





El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Ejercicio Profesional Supervisado (**EPS final**) de la estudiante **MARÍA JOSÉ SANDOVAL ROSALES** titulado: "**PARÁMETROS OPERACIONALES PARA LA EFICIENCIA DE LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE ALIMENTOS BALANCEADOS EN PELLET PARA POLLO Y CAMARÓN**". Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.


Ing. William Guillermo Álvarez Mejía; C.Dr.
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



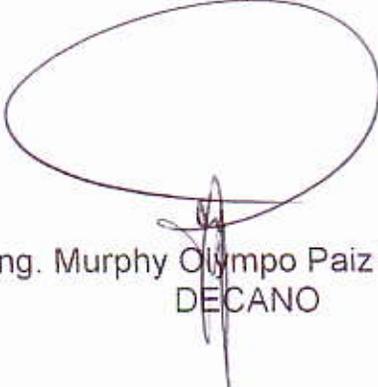
Guatemala, octubre de 2011

Cc: Archivo
WGAM/ale



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **PARÁMETROS OPERACIONALES PARA LA EFICIENCIA DE LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE ALIMENTOS BALANCEADOS EN PELLET PARA POLLO Y CAMARÓN**, presentado por la estudiante universitaria **María José Sandoval Rosales**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, noviembre de 2011

/cc

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por darme la sabiduría y permitirme culminar esta meta.
Mis padres	Por su apoyo incondicional, su empuje en todo momento para seguir luchando y no desvanecer en los momentos difíciles.
Mis hermanos	Por formar parte de los pilares de mi vida y su compañía en los momentos difíciles.
Mis abuelos	Por sus consejos.
Mi familia	Por su confianza y ser parte de este triunfo.
Mis maestros	Por trasmitirme sus conocimientos y darme herramientas para poder defenderme laboralmente en un futuro.
Industria Alimenticia	Por brindarme la oportunidad de aplicar mis conocimientos y en especial a todas a las personas que hicieron posible este trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	I
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS Y/O HIPÓTESIS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. ANTECEDENTES.....	1
2. MARCO TEÓRICO	
2.1. Tratamiento térmico.....	7
2.1.1. La esterilización.....	9
2.2. Sistemas coloidales.....	10
2.2.1. Estado coloidal.....	11
2.2.2. Soles límbicos y lífilicos.....	13
2.2.3. Gelatinización de los almidones.....	14
2.3. Transferencias de calor y masa.....	19
2.3.1. Transporte de cantidad de momento en un anillo.....	20
2.4. Espectroscopia Infrarrojo cercano (NIRS).....	22
2.4.1. Calibración.....	25
2.5. Adsorción.....	26
2.6. La Peletizadora.....	27
2.6.1. Alimentador.....	28
2.6.2. Termo-acondicionador o preacondicionado.....	28

2.6.3. Datos.....	30
2.6.4. Rodillos.....	31
2.7. Rociador de grasa.....	33
2.7.1. Recomendaciones.....	34
2.7.2. Características técnicas generales.....	34
3. DISEÑO METODOLÓGICO	
3.1. Variables.....	37
3.2. Delimitación del campo de estudio.....	38
3.3. Recursos humanos disponibles.....	39
3.4. Recursos materiales disponibles.....	40
3.4.1. Equipo y cristalería.....	40
3.4.2. Materia prima.....	40
3.5. Técnicas cualitativas y cuantitativas.....	41
3.5.1. Peso específico.....	41
3.5.2. Cálculo de la humedad.....	41
3.5.3. Análisis NIRS.....	41
3.5.4. Cálculos a realizar.....	42
3.5.5. Análisis de dureza de pellet.....	45
3.5.6. Análisis de permeabilidad.....	46
3.5.7. Análisis de hidroestabilidad.....	46
3.6. Recolección y ordenamiento de la información.....	46
3.7. Tabulación, Ordenamiento y Procesamiento de la Información.....	53
3.7.1. Análisis Estadístico.....	68
4. RESULTADOS.....	77
5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	79
6. LOGROS OBTENIDOS.....	91

CONCLUSIONES.....	93
RECOMENDACIONES.....	95
BIBLIOGRAFÍA.....	97
ANÉNDICE.....	101

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Efecto de la humedad en la calidad del pellet	5
2. Tipos de redes de geles	15
3. Esquema de los procesos y modificaciones estructurales	16
4. Representativo viscoamibógrafo de Braberter	17
5. Amilopectina	18
6. Amilasa	19
7. Matodextrina	19
8. Ilustración de cilindro donde existe transferencia de masa y calor	20
9. Equipo para análisis de NIRS	23
10. Interacción de la luz con la materia	24
11. Peletizadora con tres termo-acondicionadores	27
12. Termo-acondicionador para proceso de peletización	29
13. Datos de prensa peletizadora	31
14. Rodillos de la prensa peletizadora	32
15. Sistema de rociador de grasa	33
16. Diagrama de equipo de dosificación	35
17. Diagrama del proceso	38
18. Medidas del termo-acondicionador	42
19. Diagrama de muestra para producto de pollo	47
20. Diagrama de muestra para producto de camarón	48
21. Diagrama de prueba de calibración del rociador de grasa	49
22. Diagrama de prueba de retención	50
23. Diagrama de curva de arranque de la peletizadora de pollo	51

24. Diagrama de adsorción de grasa en el pellet	52
25. Diagrama de dispersión o nube de puntos	69
26. Diferentes tipos de correlaciones	69
27. Correlación lineal de Transferencia de masa y calor	71
28. Análisis estadístico de hipótesis con dos secciones de rechazo	74
29. Masa vs Presión en medias aritméticas fase I	79
30. Masa vs Temperatura a 1.2 Bares	80
31. Masa vs Temperatura a 1.5 Bares	81
32. Masa vs Temperatura a 2 Bares	81
33. Masa vs Temperatura a 2.5 Bares	82
34. Masa vs Temperatura a 3 Bares	82
35. Calibración del rociador de grasa para elaboración del producto de pollo	
Masa vs Presión en medias aritméticas fase II	84
36. Curva de arranque de la peletización de pollo	85
37. Masa vs Presión en media aritméticas Fase III	86
38. Adsorción de grasa en frío y caliente en pellet de pollo	87
39.	88

TABLAS

I. Efecto del termo-acondicionamiento y la temperatura del pellet en la gelatinización	6
II. Tipos de dispersiones coloidales	13
III. Transferencia de masa fase I	53
IV. Transferencia de calor fase I	55
V. Calibración del rociador de grasa prueba 1 fase II	57
VI. Calibración del rociador de grasa prueba 2 fase II	57
VII. Calibración del rociador de grasa prueba 3 fase II	58
VIII. Calibración del rociador de grasa prueba 4 fase II	58
IX. Calibración del rociador de grasa prueba 5 fase II	59

X.	Prueba de retención del termo-acondicionador fase II	59
XI.	Transferencia de masa fase II	60
XII.	Transferencia de masa fase III	61
XIII.	Curva de arranque de la peletizadora de pollo fase III	63
XIV.	Prueba de adsorción de grasa en caliente fase III	63
XV.	Prueba de adsorción de grasa en frío fase III	64
XVI.	Resultados obtenidos en el laboratorio de aseguramiento de calidad promedio en cada fase	64
XVII.	Resultados de pruebas para camaón fase I	65
XVIII.	Resultados de pruebas para camaón fase II	67
XIX.	Media aritmética transferencia de masa y calor, humedades finales en fase I a diferentes presiones	72
XX.	Media aritmética transferencia de masa y calor, humedades finales en fase II a diferentes presiones	72
XXI.	Media aritmética transferencia de masa y calor, humedades finales en fase III a diferentes presiones	73
XXII.	Las condiciones de operación de peletizado para pollo	77
XXIII.	Las condiciones de operación de peletizado para camaón	77
XXIV.	Parámetros de camaón	89

LISTADO DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Área del termo-acondicionado en m ²
B	Bueno
Q	Calor
q_s	Calor de entropía
Δh	Cambio de entalpía del vapor
ΔT	Cambio de temperatura del vapor
C_p	Capacidad Calorífica
C	Capacidad de llenado del termo-acondicionador
C_{crg}	Capacidad de producción(TH/h)
D	Dureza del pellet
h_o	Entalpía de entra del vapor de agua
h_f	Entalpía de salida del vapor de agua
L	Largo del termo-acondicionador en m ³
M	Malo
m_{Ho}	Masa de la harina en la entrada del termo-acondicionador

m_{Hf}	Masa de la harina en la salida del termo-acondicionador.
m_{vap}	Masa de vapor transferida en gramos.
m	Metros.
ρ_o	Peso específico de la harina a la entrada del termo-acondicionador.
ρ_f	Peso específico de la harina a la salida del termo- acondicionador.
ρ_{tb}	Peso específico del tablero de programación de la peletizadora.
X_f	Porcentaje de humedad final.
X_o	Porcentaje de humedad inicial.
P	Presión en Bares.
P_{vapo}	Presión de vapor directo en Bares.
P_{vapi}	Presión de vapor indirecto en Bares.
r_i	Radio del eje del termo-acondicionador.
r_e	Radio del termo-acondicionador.
T	Temperatura en grados.
t	Tiempo de retención.
TH/h	Toneladas por horas producidas.
V	Volumen del termo-acondicionador.
π	3.1416

GLOSARIO

Adsorción	Es el proceso mediante el cual un sólido poroso (a nivel microscópico) es capaz de retener partículas de un fluido en su superficie tras entrar en contacto con éste.
Alimento balanceado	Es el que se formula con el objetivo de llenar los requerimientos nutricionales del animal, que puede ser o no al mínimo costo.
Almidón	Es un polisacárido, el resultado de unir moléculas de glucosa formando largas cadenas, aunque pueden aparecer otros constituyentes en cantidades mínimas.
Análisis proximal	El propósito principal es determinar, en un alimento, el contenido de humedad, grasa, proteína, fibra cruda y ceniza. Es un excelente procedimiento para realizar control de calidad y determinar si los productos terminados alcanzan los estándares establecidos por los productores y consumidores.
Automatización	La automatización es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos.
Calor latente	Calor que se produce debido a la dificultad que opone un conductor al paso de la corriente eléctrica.

Calor sensible	Cantidad de calor absorbido o liberado por una sustancia al producirse un cambio de temperatura, sin producirse un cambio de su estado.
Crumbelizado	Alimento quebrantado para las fases iniciales.
Entalpía	Es la cantidad de energía calorífica de una sustancia.
Gelatinización	Es la disrupción de la ordenación de las moléculas en los gránulos donde se da un proceso de hidratación que confiere un estado gelatinoso típico de coloides coagulados (gel). Esta hidratación se consigue mediante tratamiento térmico.
Granulometría	Es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como se determina por análisis de tamices (norma ASTM C 136).
Lixiviación	Viene del latín: " <i>Lixivia</i> , -ae" sustantivo femenino que significa leña. Se denomina lixiviación, al lavado de una sustancia pulverizada para extraer las partes solubles.
Presión barométrica	Es la presión total sobre alguna materia, es decir manométrica más la atmosférica.
Presión manométrica	Presión mayor a la atmosférica, es la presión medida con frecuencia a la presión atmosférica, conocida también como presión relativa o positiva.

- Vapor de flasheo** La reflexión difusa de la luz sobre pequeñas gotas de agua de vapor en el aire que se muestra como una nube blanca.
- Vapor saturado** El vapor en el estado de saturación está compuesto tanto de agua en la fase líquida como de agua en la fase gaseosa.
- Vapor vivo** Un gas incoloro transparente cuando el agua en un estado líquido se convierte en gas por medio de la transferencia del calor latente de vapor.

RESUMEN

Esta investigación fue elaborada en una planta de alimentos balanceados, estableciendo las condiciones de operación para una peletizadora estándar de 0.89 m³ con lo que se logró un proceso eficiente y de calidad en el producto para pollo. Esto fue posible a que se establecieron rangos de operación en el sistema de vapor, la mejora del tiempo de retención 24s a 37s, se determinó que la humedad de trabajo debe ser de 15.5% y se adiciono un rociador de grasa después del dado (parte de la peletizadora), para la disminución de la grasa en el proceso de peletizado.

En la elaboración de camión establecieron los rangos de control en el sistema del vapor y se determinó que la masa tiene que salir a una temperatura de 80-90°C se utilizan peletizadoras con pre-acondinamiento y se incluye melaza dentro de la fórmula para que la compactación se realice por medio de la cristalización.

Por consiguiente se elevó la producción en un 15%, el producto llegó a los estándares de calidad deseados y se establecieron los rangos de producción.

ABSTRACT

This research was made in a feed mill, establishing the operating conditions for a standard of 0.89 m³ pellets thus achieving an efficient and quality product for chicken. This was possible ranges were established operation in the steam system, improving retention time 24s to 37s, humidity was determined that work should be of 15.5% and adding a spray of fat after die for the reduction of fat in the pelleting process.

In the development of shrimp control ranges established in the steam system and determined that the mass has to come out at a temperature of 80-90 °C are used to preconditioned Pellet and molasses included in the formula for that the compaction is effected by means of crystallization.

Therefore production rose by 15%, the product reached the desired quality standards and established production rates.

OBJETIVOS

General

Determinar las condiciones de operación de un termo-acondicionador estándar de 0.89 m³ para el mejoramiento de la calidad del alimento balanceado para pollos en presentación de peletizado y fijar los parámetros de operación de la peletizadora con tres termo-acondicionadores enchaquetados para la producción de producto de camaón.

Específicos

1. Establecer el tiempo de residencia para el mejoramiento de la humedad de las harinas a la salida del termo-acondicionador estándar.
2. Definir los parámetros de presión y temperatura del vapor en la entrada del termo-acondicionador para las peletizadoras de alimento para camaón y para pollo.
3. Determinar la temperatura mínima a la salida del termo-acondicionador tanto para alimento para pollo como para camaón.

HIPÓTESIS

Un termo-acondicionamiento eficaz de las harinas con parámetros de producción establecidos y bajos porcentajes de grasa en las harinas, mejora el rendimiento de la maquinaria y los resultados en la calidad del producto final.

INTRODUCCIÓN

En una fábrica de alimentos balanceados, el proceso de elaboración de concentrado es muy complejo, donde el control de la calidad del producto final está directamente afectado por los parámetros de operación de las peletizadoras y extrusores. En las peletizadoras, el mayor problema radica en el adecuado acondicionamiento de las harinas antes de transformarse en pellet.

En este tipo de industrias el proceso de peletizado está aún en etapas de inicio. Por esta razón los parámetros de control de las peletizadoras no se encuentran normalizados, dependiendo de la tecnología que utilicen hay que adecuarlos y el producto que se elabora.

El manejo inadecuado de las peletizadoras está ocasionado, por una variabilidad de factores como es formulación, molienda, calidad del vapor, estado físico del herramental (matrices y dados) mano de obra; todo esto marca la eficiencia de la maquinaria.

Para encontrar la solución a estos factores, se aplicaron los conocimientos adquiridos de transferencia de masa, fisicoquímica y microbiología para entender los principios de funcionamiento de la peletizadora. Al aplicar correctamente estos conocimientos se logró una mejora en la transformación de harinas a pellet sin que se pierda el valor nutricional, la capacidad de eficiencia de la máquina y que cumpla con los estándares de control de calidad.

En la peletizadora es donde se da la elaboración de los pellet de alimento balanceado, El proceso de peletización comprende, los siguientes

pasos: mezclado de las harinas, luego son transportadas a una tolva previa al termo-acondicionador donde se produce la cocción de las harinas por medio de vapor directo e indirecto, el vapor con la harina forma un gel, que se amasa en la matriz por medio de presión de fricción con los rodillos, se transformada en pellet, luego se enfría y se obtiene el producto final.

El proyecto comprende una evaluación de las condiciones de entrada y salida del termo-acondicionador, como también pequeñas modificaciones en la formulación para obtener una masa con humedad y lubricación adecuada para la matriz. De esta forma se obtuvieron mejoramientos en la producción y se elevaron los parámetros de control de calidad.

ANTECEDENTES

La producción de alimentos balanceados se ve afectada por las condiciones de los diferentes factores que son, la formulación, la molienda, el pre-acondicionamiento, la peletizadora. Un factor crítico es el pre-acondicionamiento en el termo-acondicionador. A continuación se describen diferentes técnicas utilizadas para el mejoramiento del proceso del peletizado.

El acondicionamiento es una parte más en el proceso de fabricación de los alimentos balanceados, este es un reactor horizontal, que mueve y homogeniza la harina y el vapor que entra en él por medio de paletas, como su diseño y aplicaciones varían se encuentran diferentes conceptos sobre el uso de este.

Baca¹ comenta, “es muy importante cuidar el tamaño de partícula de la mezcla para tener una distribución homogénea del vapor en el termo-acondicionador, y que el vapor pueda penetrar para permitir la gelatinización de los almidones, el vapor debe ser seco a una presión de 3 Kg/cm², o bien 3 Bares, la caldera debe ser de alta presión. El tiempo de retención en el termo-acondicionador es muy importante; deben ser 90 segundos medidos en un termo-acondicionador estándar”.

Según Ing. Ortíz² “en el proceso de peletización se debe contar con un termo-acondicionador, para el acondicionamiento, pre-cocimiento, gelatinización

¹ BACA, Gerardo Romeo. Foro preacondicionamiento antes de peletizado. Engordinmix.com (13 de octubre 2009).

² ORTÍZ, Javier Foro preacondicionamiento antes de peletizado. Engordinmix.com (13 de octubre 2009).

de almidones y esterilización máxima de las harinas, con una retención variable entre 0.5 y 5 minutos, y con temperatura de producto hasta los 112 °C aproximadamente”.

La formulación también juega un papel muy importante en el termo-acondicionador ya que la transferencia de masa es lo que se busca que se de en él, según Altamiranda³, “normalmente una fórmula en harina, antes de peletizar, se encuentra entre 10 a 11 % de humedad, dependiendo de las materias primas a utilizar. Cuando ésta entra al termo-acondicionador, que es donde se inyecta el vapor saturado. Existen muchos procesos que inyectan vapor húmedo que no es lo adecuado, por lo tanto la humedad final del pellet no va a ser más del 12%, y lo que se tiene que lograr dentro del termo-acondicionador es gelatinizar los almidones, y a su vez que el alimento se ligue para que salga un buen pellet, con buena dureza y no tenga porcentajes altos de ruptura o generación de finos”.

Para Ing. Oviedo⁴ “la relación entre el vapor/humedad es el factor crítico en el termo-acondicionador, siempre y cuando esté trabajando con eficacia. Por lo cual, se tendrá que asegurar que el termo-acondicionador esté funcionando por completo tanto como sea posible ajustando el ángulo de sus paletas o posiblemente reduciendo la velocidad.

El objetivo es que las harinas, los líquidos y el vapor viajen juntos y deben ser mezclados, no batidos. Es esencial que el calor y la humedad estén transferidos del vapor a la harina tan rápida y uniformemente como sea posible. Los factores que influyen esto son

³ALTAMIRANDA, Roberto Horacio. Foro preacondicionamiento antes de peletizado. Engordinmix.com (13 octubre 2009).

⁴ OVIEDO, Ricardo. Foro preacondicionamiento antes de peletizado. Engordinmix.com(13 de octubre 2009).

- Calidad del vapor
- Cantidad de vapor
- Velocidad del mismo al entrar al termo-acondicionador
- Localización de las pipas o boquillas en al termo-acondicionador
- Volumen de harina a acondicionar

El vapor debe estar saturado al entrar al termo-acondicionador, sin goteras de agua que aumenten mucho la humedad, un 3-4 es ideal, la presión se debe ajustar dependiendo del tipo de alimento, 4 bar para alimentos fibrosos para rumiantes y 1 a 2 bar para alimentos ricos en almidón o monogástricos.

Sin embargo, es más importante tener en cuenta la humedad del alimento a acondicionar para no excederse; si el alimento está seco no hay transferencia de calor y los almidones no gelatinizan”.

Ing. Gaviria⁵ dijo que “el acondicionamiento de la masa mezclada de alimento balanceado para animales, es el paso más importante para lograr un alimento de calidad, es en el termo-acondicionador (mezcla con vapor) donde se prepara el alimento. Dependiendo de un buen acondicionamiento, el alimento tiene unas u otras características nutricionales; la peletización, propiamente dicha, sólo es un molde para el alimento, una manera de compactar el alimento y así facilitar el consumo en los animales.

Para el termo-acondicionamiento de harinas hay muchas teorías y diseños de equipos, pero la clave está en lograr la mezcla óptima de masa seca con vapor saturado de manera que éste penetre el alimento y lo prepare.

⁵ GAVIRIA, Javier. Foro preacondicionamiento antes de peletizado. Engordinmix.com (13 octubre 2009).

Esa preparación tiene implícito un cierto grado de cocción que, dependiendo del animal, es más o menos importante. La disponibilidad de los nutrientes se realiza con un adecuado proceso de termo-acondicionamiento hidrotérmico.

La mayoría de los esfuerzos de los fabricantes de equipos para alimentos de animales se han destinado a mejorar el acondicionamiento.

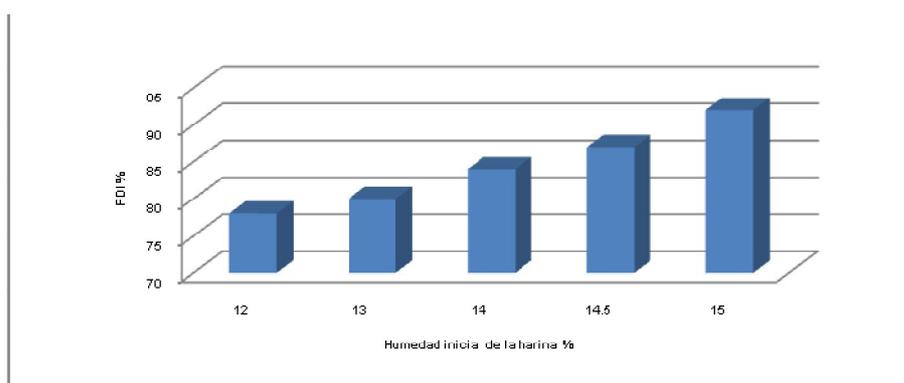
En un principio sólo se daban raciones en harina, luego se comenzaron a compactar se incluyó un termo-acondicionador corto con inclusión de algo de vapor para mejorar la eficiencia de la peletizadora. Cada vez los termo-acondicionadores son más largos (más tiempo de retención), tienen mejor diseño de paletas, velocidades, etc. Los últimos avances y los que han dado mejores resultados son los llamados Súper-acondicionadores, de los cuales el que mejores resultados se han reportado en la práctica es el expander de abertura anular. De estos equipos hay ya más de 600 en el mundo 15 de los cuales está en Latinoamérica (en su mayoría en integradores en Brasil).

Es muy importante, además de elegir una buena máquina, realizar un mantenimiento exhaustivo y cuidadoso y un aseo minucioso ya que, por tratarse de equipos que adicionan vapor (humedad) son lugares propicios para la proliferación de agentes contaminantes biológicos, indeseados en los alimentos”.

Al estudiar cada una de las variables que afectan el proceso del peletizado (Keith Behnke-Mitos vs Realidad, 2006) a través de una combinación de factores de velocidad de las paletas, el ángulo de éstas y la humedad de las harinas encontró que el termo-acondicionador afecta en un 20% el proceso de peletizado y la formulación con un 40%. Donde además determinó que al aumentar la humedad inicial de la harina en la entrada del termo-

acondicionador por medio de agregación de mayor cantidad de agua en la mezcladora, mejoró la calidad del pellet en relación a la durabilidad (figura 1).

Figura 1. **Efecto de la humedad en la calidad del pellet.**



Fuente: BEHNKE, Keith. Peletizado mitos vs realidad, Feed Science. p. 43.

Existe un relación directa entre la gelatinización en el termo-acondicionador (Keith C. Behnke- The art (science) of pelleting, 2005), lo cual contradice todas las teorías que dicen que a mucha mayor temperatura mayor gelatinización el cual nos presenta una tabla en la que se utilizan dos fórmulas diferentes como se muestra en la Tabla I.

Esto puede ser por muchas causas, una de ellas que en lugar de gelatinizar el almidón lo quemamos debido a que el tiempo de retención al cual se termo-acondiciono fue demasiado para la cantidad de almidón que se tenía.

Tabla I. **Efecto del termo - acondicionamiento y la temperatura del pellet en la gelatinización**

PRODUCTO	ACONDICIONADOR	TEMPERATURA PELLET	GELATINIZACIÓN
FÓRMULA 1	23°C	69°C	41.9%
	80°C	84°C	28.0%
FÓRMULA 2	23°C	69°C	58.3%
	80°C	84°C	25.9%

Fuente: BEHNKE, Keith. Phd. the art (science) of pelleting. Department Gaint Science & Industry. p. 5.

En el curso de Manufactura de Alimentos RAPCO se llega a las siguientes conclusiones respecto al Estudio de Mezcla del Alimento en termo-
acondicionador

- Una deficiencia en el conocimiento de los principios básicos de termodinámica entre las plantas de alimentos parece que es la causa principal de los problemas de producción.
- Se necesita un programa o acercamiento educativo para entrenar a las plantas de alimentos en suministro de vapor, regulación y acondicionamiento.

MARCO TEÓRICO

En el trabajo se realizó analizando diferentes variables que son fundamentales en el proceso del peletizado, como las técnicas que se utilizan para evaluar el producto, en el laboratorio de control de calidad.

En primer lugar se expondrán los conceptos relacionados con el proceso que se realizan en el termo-acondicionador.

2.1. Tratamiento térmico

El tratamiento térmico (Fundación EROSKI-Alimentos tratados por el calor, 2003) que precisa cada alimento depende de la naturaleza de cada producto. Algunos sólo permiten cierta temperatura pues, de otro modo, se provocan cambios en su aspecto y su sabor. En otros, sin embargo, las altas temperaturas no producen alteraciones. De cualquier forma, cuanto mayor es el tratamiento térmico, mayor número de gérmenes se destruyen, ya que al someter a los microorganismos a una temperatura superior a la que crecen, se consigue la coagulación de las proteínas y la inactivación de las enzimas necesarias para su normal metabolismo, lo que provoca su muerte o lesiones subletales.

La aplicación (HRS Spiratube, S.L.- Tratamiento térmico en la industria de la alimentación, 2010) de un tratamiento térmico a alimentos viene condicionado por la necesidad.

- Reducir la flora microbiana presente en los alimentos.
- Evitar las alteraciones producidas por los microorganismos no patógenos.
- Aplicar el grado de calentamiento/enfriamiento adecuado a cada alimento en cuestión.

Los cuatro objetivos principales que se persiguen al aplicar un tratamiento térmico a un alimento.

- Destruir los microorganismos que puedan afectar a la salud del consumidor.
- Destruir los microorganismos que puedan alterar el alimento.
- Inactivación enzimática.
- Optimizar la retención de factores de calidad a un costo mínimo.

El tratamiento térmico de un alimento depende de

- La termo-resistencia de los microorganismos y enzimas presentes en el alimento.
- La carga microbiana inicial que contenga el alimento antes de su procesado.
- El pH del alimento.
- El estado físico del alimento.

Bajo el título de Tratamientos Térmicos se suelen englobar todos los procedimientos que tienen entre sus fines la destrucción de los microorganismos por el calor. Se refiere tanto a la “Pasteurización y a la Esterilización, cuya finalidad principal es la destrucción microbiana”⁶, como al Escaldado y a la Cocción, procesos en los que también se consigue una cierta reducción de la flora microbiana, pero que sus objetivos principales son la variación de las propiedades físicas del alimento.

Los procesos tecnológicos (Fundación EROSKI-Alimentos tratados por el calor, 2003) utilizados para tratar a los alimentos por calor se han desarrollado y perfeccionado, sobre todo, durante el siglo XX.

2.1.1. La esterilización

Es un procedimiento más drástico (Fundación EROSKI-Alimentos tratados por el calor, 2003), en el que se somete al alimento a temperaturas de entre 115 y 127 grados. Para alcanzarlas, se utilizan autoclaves o esterilizadores. El proceso se debe mantener un cierto tiempo (en algunos alimentos, hasta veinte minutos), y la temperatura afecta al valor nutricional (se pueden perder algunas vitaminas) y organoléptico de ciertos productos.

Al realizar un tratamiento esterilizante se debe tomar en cuenta algunos factores, como el pH del alimento y la termo resistencia de los microorganismos o los enzimas. De entre los microorganismos patógenos especulados eventualmente presentes en los alimentos de baja acidez (pH mayor a 4,5), *Clostridium botulinum* es el más peligroso.

⁶<http://www.hrs-spiratube.com/es/recursos/tratamiento-termico-industria-alimentacion-1-2.php> HRS Spiratube, S.L.- Tratamiento térmico en la industria de la alimentación, (7 marzo 2010)

La esterilización UHT se basa en utilizar altas temperatura “135-150°C, durante 1 y 3 segundo”⁷. Es cada vez más utilizado, ya que su repercusión sobre el valor nutricional y organoléptico de los alimentos es menor que la esterilización convencional.

La esterilización se emplea en leche, zumos de frutas y concentrados, nata y otros muchos productos a los que alarga su vida útil como mínimo tres meses, sin que para ello se requiera refrigeración, pudiéndose prolongar entre dos a cinco años en función del tipo de alimento y el tratamiento aplicado.

2.2. Sistemas coloidales

En un determinado medio sustancias insolubles, (Textos Científicos-coloides, 2005) como por ejemplo el $\text{Al}(\text{OH})_3$ y el SiO_2 (dióxido de silicio) en agua, pueden estar dispersas de modo que el sistema total sea aparentemente una solución. Este estado, el coloide, se consigue en condiciones especiales. Ahora bien, si una sustancia dada es insoluble en un solvente determinado, por ejemplo en el caso del $\text{Al}(\text{OH})_3$ o el SiO_2 en agua, el sistema formado por el solvente y esta sustancia es heterogéneo. La razón de su aparente homogeneidad deriva del hecho de que el tamaño de las partículas coloidales es muy pequeño.

⁷ <http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/sociedad-y-consumo/2003/09/26/8513.php>. Fundación EROSKI-Alimentos tratados por el calor.(13 octubre 2009)

2.2.1. Estado coloidal

En el año 1861 Thomas Graham⁸, estudiando la difusión de las sustancias disueltas, distinguió dos clases de solutos a los que denominó cristaloides y coloides. En el grupo de cristaloides ubicó a los que se difunden rápidamente en el agua, dializan fácilmente a través de las membranas permeables y, al ser evaporadas las soluciones de que forman parte, quedan como residuo cristalino.

En el grupo de los coloides situó a los que se difunden lentamente, dializan con mucha dificultad o bien no lo hacen y al ser evaporadas las soluciones de que forman parte, quedan como residuo gomoso.

El nombre coloide proviene del griego *kolas* que significa *que puede pegarse*. Este nombre hace referencia a la propiedad que tienen los coloides a tender a formar coágulos de forma espontánea.

Esta forma de diferenciar los coloides de los cristaloides se mantuvo en uso durante muchos años, pero en la actualidad carece del valor de lo absoluto ya que algunas sustancias, aparentemente coloidales, se comportan como cristaloides y algunos lo hacen como coloides, dependiendo de las condiciones determinantes del sistema. Por ejemplo la albúmina del huevo, la cual es un coloide, se ha logrado cristalizarla y el cloruro de sodio, un cristaloides, se comporta como coloide cuando se lo disuelve en benceno.

En realidad lo que determina la ubicación de estas sustancias en un grupo aparte de los dispersoides es el grado de división en que se encuentra el soluto y como la materia en la naturaleza se presenta en forma de

⁸ GRAHAM, Thamas. Experimento sobre mecánica de fluidos.

partículas, cuyo tamaño varía desde el de las que son visibles macroscópicamente hasta el de las que son invisibles aún con el microscopio electrónico.

Para definir en su justo término las soluciones coloidales, es necesario contemplar la totalidad de las propiedades que les caracterizan; esto es el tamaño de sus micelas, su estabilidad, efecto Tyndall⁹, movimiento browniano, comportamiento eléctrico, adsorción y afección por el medio dispersante.

Las partículas que constituyen los solutos de las soluciones coloidales se denominan micelas. Su tamaño es superior al de las que forman las soluciones verdaderas e inferiores al de las dispersiones groseras, y oscila entre 0,1 y 0,001 μ m. Estos límites no deben ser considerados como absolutos, puesto que se ha tomado sobre la base del poder resolutivo del mejor microscopio posible, usando luz azul para el caso de las partículas más grandes y del ultramicroscopio para el de las más pequeñas, por ello no es de extrañar que las propiedades de la materia al estado coloidal sean comunes, en unos casos, con las de las dispersiones groseras y en otros, con las de las soluciones verdaderas.

Las soluciones coloidales se clasifican de acuerdo con el estado de agregación en que se presentan el soluto y el solvente y como los estados de la materia son tres, de sus posibles combinaciones se podrían obtener 9 tipos de soluciones coloidales. Si no fuera porque la novena posibilidad (de gas en gas) sería imposible de realizar por cuanto los gases no pueden existir uno junto a otro sin mezclarse. Por ello los tipos de dispersiones coloidales son ocho y se resumen en el cuadro presentado en la Tabla II.

⁹ <http://www.textoscientificos.com/quimica/coloide> .Textos Científicos-coloides. (23 de octubre 2009).

Tabla II. Tipos de dispersiones coloidales

Fase dispersa	Fase dispersante	Ejemplo
Sólido	Sólido	Aleaciones, piedras preciosas coloreadas
Sólido	Líquido	Suspensiones de almidón, pinturas, tinta
Sólido	Gas	Humo
Líquido	Sólido	Jaleas, queso
Líquido	Líquido	Emulsiones, mayonesa
Líquido	Gas	Nubes, niebla
Gas	Sólido	Lava, piedra pómez
Gas	Líquido	Espumas, nata batida

Fuente: Coloides | Textos Científicos. <http://www.textoscientificos.com/quimica/coloide>. p. 1.(23 de octubre 2009).

2.2.2. Soles liofóbicos y liofílicos

- Soles liofóbicos

Estos (Laidler-Fisicoquímica, 1995) se pueden llamar soles hidrofóbicos si el medio dispersante es agua. El termino hidrofóbico se refiere a que tiene baja afinidad con el agua, se refiere a las superficies repelentes al agua. Por esto son relativamente inestables pero de ellos se obtienen sólidos que no se vuelven a transformar con facilidad en soles, y la adición de electrólitos a soles liofóbicos con frecuencia provoca que coagulen y precipiten.

- Soles liofílicos (compatibles a los líquidos).

Estos son mucho más estables y se comportan más como las soluciones verdaderas y en el caso de las macromoléculas esto es lo que son en realidad.

Las dispersiones coloidales se preparan de diferentes modos. Algunas sustancias se conocen como coloides intrínsecos y forman con facilidad soles cuando se ponen en contacto con un medio de dispersión adecuado. Los coloides intrínsecos en general son liofílicos y suelen ser macromoléculas (como las proteínas) o moléculas de cadena larga con grupos polares en los extremos, que tienden a agregarse y formar partículas de tamaño coloidal llamadas micelas. Los coloides extrínsecos no forman dispersiones coloidales con facilidad y es necesario emplear métodos especiales; los coloides liofóbicos suelen ser de este tipo. Los métodos utilizados se dividen en dos clases

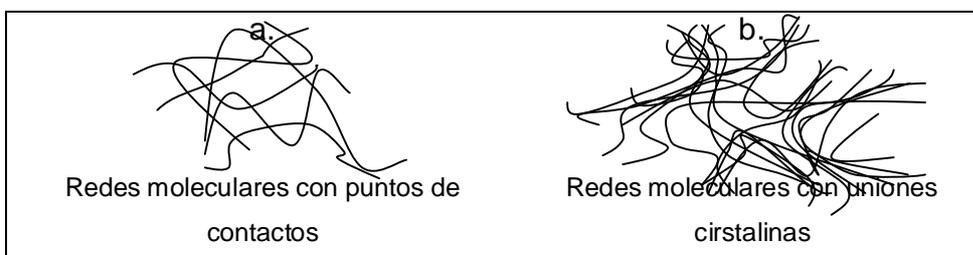
- Métodos de condensación, se utilizan reacciones químicas para producir el sol; se debe de evitar que las partículas crezcan y precipiten.
- Métodos de dispersión, en un procedimiento, llamado peptización (del griego pépticos, que favorece a la digestión), la desintegración se lleva a cabo por acción de una sustancia llamada agente peptizante.

2.2.3. La gelatinización de los almidones.

- Gelación.

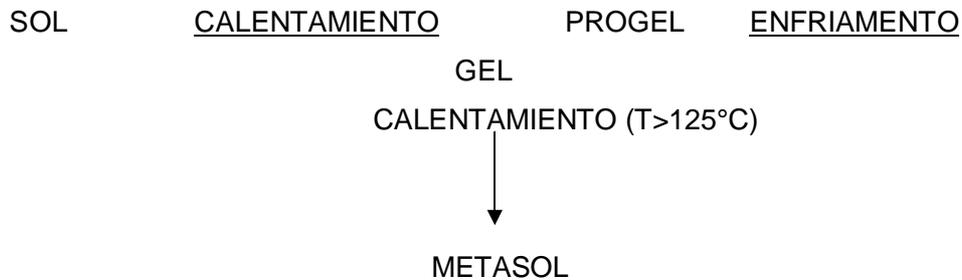
Transición (Facultad de Agronomía y Agroindustrias I Universidad Nacional de Santiago del Estero-Geles, 2008), sol líquido polimérico a estado de gel sólido. Un *gel* es considerado como sistema disperso coloidal de al menos 2 componentes que se comporta mecánicamente como un sólido. Fase dispersa forma una red interpenetrando y encerrando la fase continua (solvente). Punto de contactos entre cadenas han sido tomados como cristalitas aunque el tamaño varía, de regiones de pocas cadenas a regiones cristalinas grandes (muchas cadenas) y reconocido como fase separada. El envejecimiento de geles ha sido atribuido al crecimiento de las regiones cristalinas. Factores importantes en la gelación son: interacciones polímero – solvente; polímero-polímero y efectos de condiciones de preparación y mecanismo de separación de fases. Gel no es un estado en equilibrio existen dos tipos de geles presentados en figura 2.

Figura 2. Tipos de redes de Geles



Fuente: Facultad de Agronomía y Agroindustrias I Universidad Nacional de Santiago del Estero
http://faa.unse.edu.ar/document/apuntes/fisica3/5Geles_alimentarios.ppt. ppt. p.1.(16 de octubre de 2009).

Los factores que intervienen en la gelatinización son

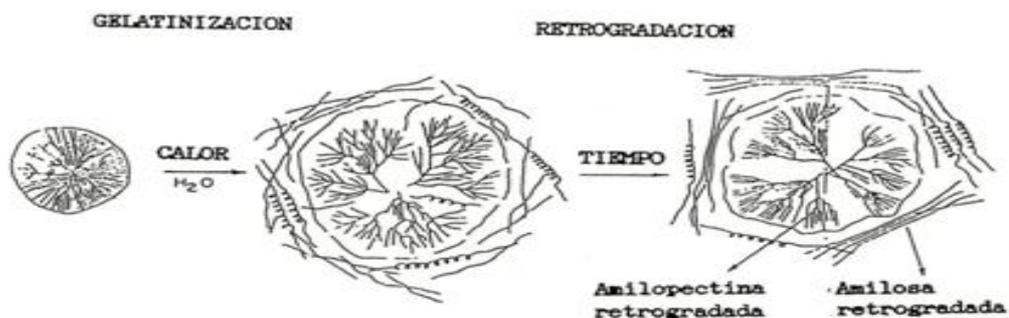


Fuente: elaboración propia.

- La gelatinización de los almidones.

Se puede observar durante el calentamiento y el almacenamiento de sistemas almidón-agua es lo siguiente (figura 3).

Figura 3. **Esquema de los procesos y modificaciones estructurales.**

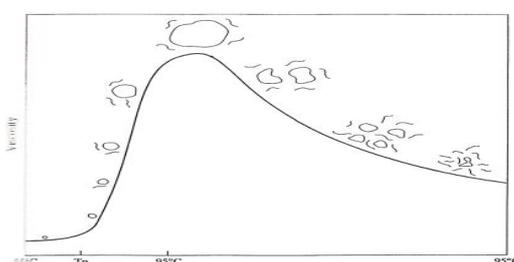


Fuente: Facultad de Agronomía y Agroindustrias I Universidad Nacional de Santiago del Estero
http://faa.unse.edu.ar/document/apuntes/fisica3/5Geles_alimentarios.ppt. ppt. p. 12. (16 de octubre 2009).

La gelatinización es la pérdida del orden molecular en los gránulos. En la figura 4 a continuación se muestran los cambios de viscosidad relacionados

con el hinchamiento y desintegración de los gránulos de almidón cuando “una suspensión granular se calienta a 95°C”¹⁰ y se mantiene a esta temperatura. (El instrumento imparte agitación moderada).

Figura 4. **Representativo del viscoamilógrafo de Braberder**



Fuente: Facultad de Agronomía y Agroindustrias I Universidad Nacional de Santiago del Estero
http://faa.unse.edu.ar/document/apuntes/fisica3/5Geles_alimentarios.ppt. ppt. p. 12. (16 de octubre 2009).

Tp = temperatura del emplastecidad.

- Eventos gelatinización.

Hidratación – hinchamiento – cocimiento – fusión de cristales. Gel de almidón consiste de gránulos hinchados dispersos en una red de amilasa entrecruzada. Se forma gel cuando la concentración de amilasa $C^* > 1,5\%p/p$. Los geles de almidón se forman luego del proceso de gelatinización.

Una matriz de almidón gelatinizado se describe como una red de amilasa lixiviada entrecruzada que atrapa moléculas de solvente (agua), gránulos de almidón y moléculas pequeñas de amilopectina.

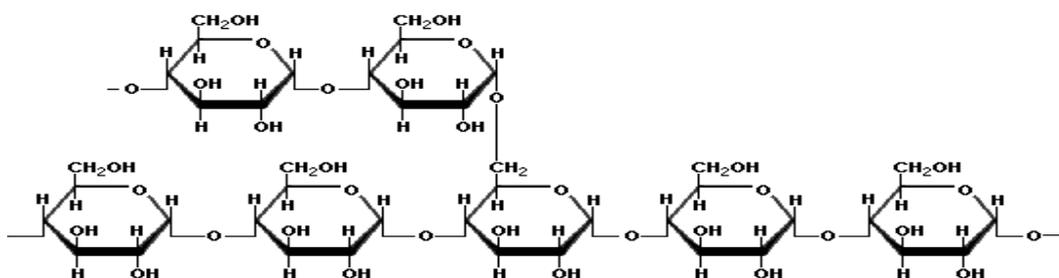
¹⁰ http://faa.unse.edu.ar/document/apuntes/fisica3/5Geles_alimentarios.ppt. ppt. Facultad de Agronomía y Agroindustrias I Universidad Nacional de Santiago del Estero-Geles.(16 de octubre 2009).

La rigidez y las propiedades viscoelásticas de los geles de almidón dependen de la concentración y del contenido de amilasa. Almidones céreos poseen mayor consistencia a bajas concentraciones que los almidones no céreos. Almidones no céreos forman una fase separada a bajas concentraciones.

Altas concentraciones incrementan el grado de interacción intermolecular y se forman geles en almidones no céreos. La estructura está estabilizada por uniones puente hidrógeno. Los geles de almidón son fácilmente deformables.

La reacción de lixiviación que se da en los almidones es (La Enciclopedia Libre Universal en Español-Almidón, 2008) una reacción física por hidrólisis ya que se forman puentes de hidrógenos entre la amilopectina (figura 5) y amilasa esto es posible cuando hay lixiviación de la amilasa (figura 6) para que se produzca la gelatinización y transformando la estructura del almidón parcialmente (Maltodextrina, figura 7) y con lo que se conforma un pellet de estructura rígida. La estructura del almidón se encuentra así antes que se haga la transformación parcial en maltodextrina.

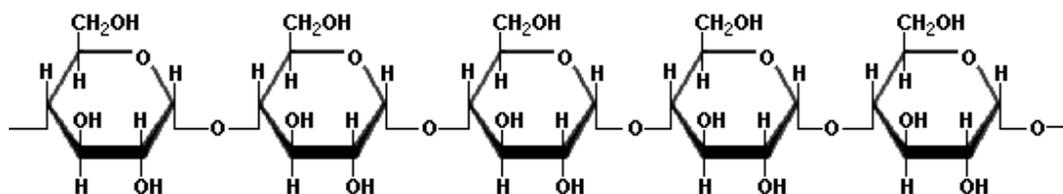
Figura 5. **Amilopectina**



Fuente: Gelatinización I Enciclopedia

<http://enciclopedia.us.es/index.php/Almid%C3%B3n#Gelatinizacion>. p. 1. (17 octubre 2009).

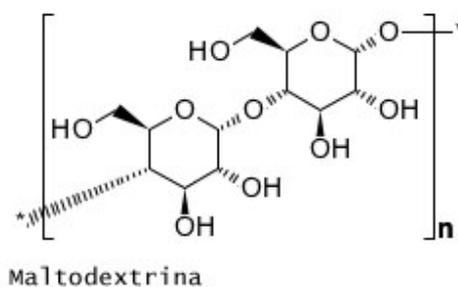
Figura 6. **Amilasa**



Fuente: Gelatinización I Enciclopedia

<http://enciclopedia.us.es/index.php/Almid%C3%B3n#Gelatinizacion>. p. 1. (17 de octubre 2009).

Figura 7. **Maltodextrina**



Maltodextrina

Fuente: Maltodextrina I deportes y otras cosas más <http://canarymuscle.com/.../noticias/maltodextrina.jpg>

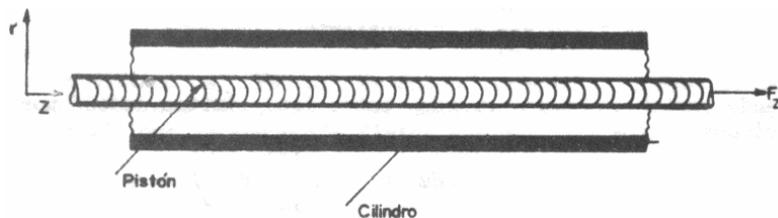
p. 1.(18 de octubre 2009).

2.3. **Transferencia de masa y calor**

La transferencia de masa (Betancourt Grajales- fenómenos de transferencia, 2008) afecta al mismo coeficiente de transferencia de materia, al factor de fricción y a los coeficientes de transferencia de calor. Veamos el efecto del flujo másico sobre el flujo de energía.

Generalmente, un proceso difusional está acompañado por transporte de energía aún dentro de un sistema isotérmico. Se refiere a la figura 8, se observa que el flujo total de entalpía hacia un elemento de volumen de espesor dz consta de dos partes. Una es el calor que llega por conducción y gracias a una diferencia de temperaturas, $-k dt/dz$; el otro es el flujo de entalpía debido a la difusión.

Figura 8. **Cilindro donde existe transferencia de masa y calor**



Fuente: Ramiro Betancourt Grajales, Fenómenos de transferencia, p. 41.

2.3.1. Transporte de cantidad de movimiento en un anillo.

$$N_A M_A C_{pA} (T - T_0) + N_B M_B C_{pB} (T - T_0)^{11}$$

Donde

$(T - T_0)$ = diferencia de temperaturas en el anillo.

C_p = Capacidad calorífica a presión constante de A y B

N = cantidad de moles de A y B respectivamente.

M = masa molecular de A y B respectivamente.

¹¹ http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4090013/Links/PDF/cap_2.pdf. BETANCOURT, Ramiro. Fenómenos de transferencia. (26 de octubre 2009).

Aplicando el balance para estado estacionario, encontramos que la distribución de temperaturas debe satisfacer.

$$k \frac{dT}{dz} - N_A C_{pA} + N_B C_{pB} \frac{dT}{dz} = 0$$

Haciendo $dT/dz = \theta$: $d\theta/\theta = 1/k(N_A M_A C_{pA} + N_B M_B C_{pB}) dz = H dz/k$ donde hemos abreviado haciendo $H = N_A M_A C_{pA} + N_B M_B C_{pB}$; $dT/dz = C_1 \exp(Hz/k)$; $T = C_1 k/H \exp(Hz/k) + C_2$

Donde H es la entalpía total, C son las capacidades caloríficas, con las condiciones límite a saber, $T = T_S$ (T_S = temperatura de entropía) para $z = 0$; $T = T_G$ (T_G = temperatura de la energía libre de Gibbs) para $z = z_F$, el límite de la película, obtenemos, $T_S = C_1(k/H) + C_2$; $T_G = C_1 \exp(Hz_F/k) + C_2$, restando miembro a miembro y reorganizando, $C_1 = (T_S - T_G) / [(k/H)(1 - \exp(Hz_F/k))]$; $C_2 = T_S - (T_S - T_G) / (1 - \exp(Hz_F/k))$; haciendo $h = k/z_F$; y $H z_F/k = H/h = Co$; $(T - T_S) / (T_G - T_S) = \exp(Co * z/z_F - 1) / [\exp(Co) - 1]$ ¹²

A partir de esta distribución de temperaturas hallamos la densidad de flujo de calor debido al gradiente de temperatura en la interface.

$$q_S = -k \frac{dT}{dz} \Big|_{z=0} = -k C_1 \exp(Hz/k) \Big|_{z=0}; \quad q_S = -h Co / [1 - \exp(Co)] (T_S - T_G)$$

Observamos que q_S no es igual al flujo total de entalpía en la interface, a menos que T_o sea igual a T_S . En general, la entalpía total, q_H , es igual a $q_S = N_A M_A C_{pA} + N_B M_B C_{pB} (T_S - T_o)$.

¹² http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4090013/Links/PDF/cap_2.pdf. BETANCOURT, Ramiro. Fenómenos de transferencia. (26 de octubre 2009).

Si las entalpías se calculan relativas a un estado de referencia tomado como la temperatura del gas, o sea haciendo $T_G = T_0$, el flujo de entalpía total desde la superficie es, haciendo $H = h Co$.

$$q_s = hCo(T_s - T_0) \left[\frac{1}{\exp(Co) - 1} + 1 \right] = hCo(T_s - T_0) \left[\frac{\exp(Co)}{\exp(Co) - 1} \right]$$

$$q_s = h(T_s - T_G) Co / [1 - \exp(-Co)]$$

$Co / [1 - \exp(-Co)]^{13}$ se conoce como el factor de corrección de Ackerman, y corrige el coeficiente de transferencia de calor por la transferencia de masa simultánea. Será mayor que la unidad si la transferencia de masa se efectúa en el mismo sentido que la transferencia de calor y más pequeño si las dos van en sentidos opuestos.

A continuación se expresan los fundamentos del método para el análisis proximal del alimento balanceado.

2.4. Espectroscopia infrarrojo cercano (NIRS)

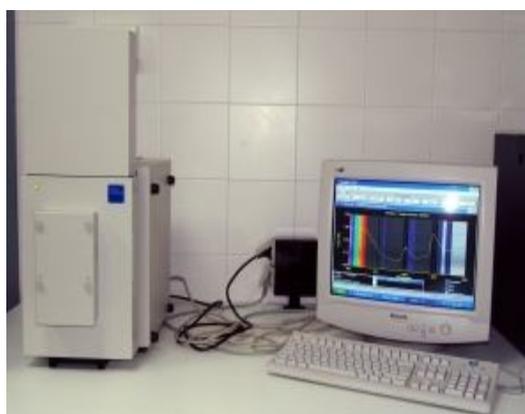
La espectroscopia de la reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) (Celerino Quezada-Aplicación de la espectroscopia de reflectancia infrarrojo cercano (NIRS) en el análisis de suelos, 2008) es una técnica analítica no destructiva para estudiar las interacciones entre la luz incidente y la superficie de un material (Cheng et al., 2001).

¹³ http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4090013/Links/PDF/cap_2.pdf. BETANCOURT, Ramiro. Fenómenos de transferencia. (26 de octubre 2009).

Las razones por la que NIRS está siendo adoptado como el método analítico preferido en muchos laboratorios está relacionada con: mínima preparación de la muestra, análisis rápido, varios constituyentes pueden ser analizados simultáneamente, no destrucción de muestras, no uso de productos químicos y resultados precisos (Batten, 1998).

Este método es conocido por su rapidez, conveniencia, simplicidad, precisión y habilidad para analizar muchos componentes al mismo tiempo (Stark et al., 1989). El uso del NIRS presenta interesantes ventajas, tales como un bajo costo, consumo de poco tiempo, mínimo pre-tratamiento de las muestras, no necesita reactivos químicos, y precisión (Guerrero et al., 2007) La espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano obtiene el espectro de reflectancia de una muestra en la región NIRS (780-2500 nm) de longitud de onda. En la región NIRS (Figura 9), la radiación es absorbida por diferentes uniones químicas, tales como C-H, N-H, S-H, C-O, y O-H, del compuesto presente en la muestra. La absorción es absorbida en función de la concentración de estos compuestos (Guerrero, et al., 2007) ver figura 9.

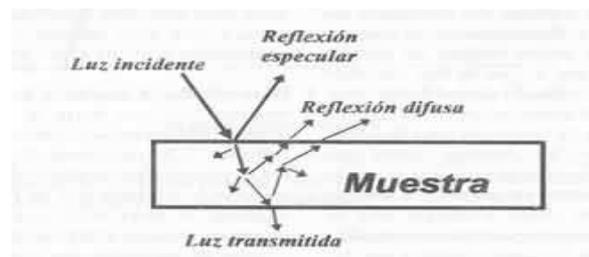
Figura 9. **Equipo para análisis NIRS**



Fuente: Laboratorio de análisis de NIRS, en empresas de alimentos.

Este método se basa en que cuando la luz incide sobre una muestra, una parte de los fotones es transmitida a través de la misma, siendo el resto absorbido. La interacción de la energía con la materia obedece a la ley de Lambert-Beer, que establece que la absorbancia a cualquier longitud de onda es proporcional al número o concentración de las moléculas absorbentes presentes en el camino recorrido por la radiación (Osborne, et.al.,1993) ver figura 10.

Figura 10. **Interacción de la luz con la materia**



Fuente: Aplicación de la espectroscopia de reflectancia infrarrojo cercano (nirs) en el análisis de suelos I Ciencia ahora. <http://www.ciencia-ahora.cl/Revista21/12EspectroscopiaReflectancia.pdf> p.3.

Esto determina que para un material de naturaleza química heterogénea, el espectro obtenido en la región del infrarrojo cercano es la combinación de bandas de absorciones parciales superpuestas o muy cercanas, que suelen confundirse en una línea suavizada, en que se encuentran picos, valles y curvaturas en forma de hombro (Alomar y Fuchslocher,1998; Dunn et al., 2002).

2.4.1. Calibración

Para interpretar la información contenida en un espectro NIRS es necesario desarrollar una calibración para más de una longitud de onda. Mayor precisión en la calibración son obtenidas por transformación del espectro a la primera o segunda derivada, o computando la desviación de cada espectro de la media del espectro. Tales tratamientos pueden reducir variación en el espectro causada por humedad y tamaño de partículas entre las muestras (Batten, 1998).

Al desarrollar una calibración NIRS, la información espectral (óptica) se relaciona mediante un algoritmo con la información de la composición físico-química (método de referencia) a través de la aplicación de modelos estadísticos como son la regresión múltiple, los componentes principales y los cuadrados mínimos parciales.

La técnica del infrarrojo cercano es difícil de interpretar directamente debido a las superposiciones de uniones débiles y combinaciones de bandas vibracionales fundamentales. Como resultado de lo anterior, la calibración multivariada se requiere para análisis cuantitativo de los constituyentes de la muestra por el NIRS (Chang et al., 2001).

Varios métodos de calibración se han usado para correlacionar espectro infrarrojo cercano con propiedades medibles del material. Regresión de componentes principales (PLSR), regresión lineal múltiple (SMLR) regresión Fourier, regresión pesa local (LWR) y redes neurales artificiales son las más usadas técnicas de calibración multivariada para NIRS. Sin embargo, ninguna de estas técnicas de calibración propuestas han logrado aceptación universal

porque un modelo de calibración que trabaja bien para una aplicación puede ser inadecuada para otra (Chang et al, 2001).

El análisis de la grasa para la determinación de la adsorción de ella en el alimento balanceado para la toma de decisión de la agregación de grasa más adecuada.

2.5. Adsorción

Hay dos tipos principales de adsorción (Laidler-Fisicoquímica, 1995). En el primer tipo las fuerzas son de naturaleza física y la adsorción es relativamente débil; reciben el nombre de fuerzas de van der waals, se conoce como adsorción física.

En el segundo tipo de adsorción, las moléculas adsorbidas se unen a la superficie mediante fuerzas covalentes del mismo tipo general que las que ocurre entre los átomos de las moléculas. El calor que se desprende por un mol en este tipo de adsorción, conocido como quimisorción. Una consecuencia importante de la quimisorción es que después que la superficie se ha recubierto con una sola capa de moléculas adsorbidas, queda saturada; sólo puede ocurrir adsorción adicional sobre la capa ya presente, y en general es de tipo débil, Langmuir insistió en que la quimisorción incluye la formación de una capa unimolecular, por lo que hay cesa la quimisorción, pero la fisorción puede dar origen a capas adicionales.

En 1931 Hugh Stott Taylor ¹⁴(1890 – 1974) sugirió que la quimisorción con frecuencia se asocia con una energía de activación apreciable, por lo cual

¹⁴ TAYLOR, Hugh Stott. Doctor en química.

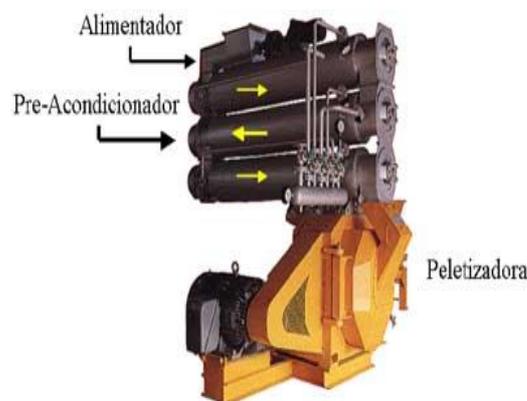
puede ser un proceso relativamente lento. La quimisorción es llamada frecuentemente adsorción activa.

2.6. La peletizadora

Por lo general la peletizadora (Mario Figueroa-Proyecto de empresa de planta peletizadora de alimento para langostinos, 2009) se compone del alimentador, la cámara de acondicionamiento o pre-acondicionamiento, y la misma peletizadora con sus otros componentes como los rodillos, el dado, motor y carcasa.

El trabajo real se produce en la cámara de peletización, que está compuesta por los rodillos (2-3), y el dado o matriz de peletización. La producción efectiva de pellets para alimentos balanceados va a depender de las partes mecánicas (los rodillos) y su ajuste para generar la presión necesaria peletizadora se presentan en la figura 11.

Figura 11. **Peletizadora con tres termo-acondicionadores**



Fuente: Figueroa C. Mario A. Proyecto de empresa de planta peletizadora de alimento para langostinos. p. 16.

2.6.1. Alimentador

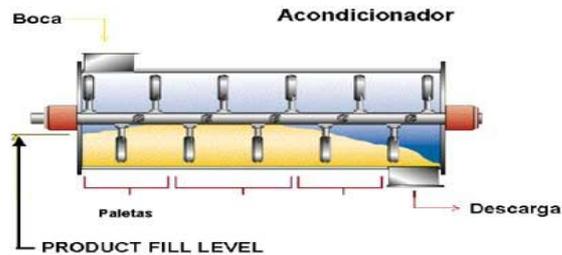
El alimentador es generalmente un gusano o tornillo sinfín que vierte la mezcla de la tolva al termo-acondicionador. El ángulo de las aspas del gusano debe estar diseñado para suministrar la mezcla de una manera continua y sin fluctuaciones u oleadas al termo-acondicionador. El alimentador también actúa como un sellador para evitar que el vapor suministrado en el termo-acondicionador escape por la vía de menor resistencia.

Es importante que tanto el alimentador como el termo-acondicionador entreguen la mezcla uniformemente, de otra manera las oleadas que se podrían generar en el termo-acondicionador causarían capas gruesas en la pista del dado causando que los rodillos patinen y se atranque la peletizadora.

2.6.2. Termo-Acondicionador o Preacondicionador

El termo-acondicionador juega un papel extremadamente importante en la estabilidad final del pellet. Un termo-acondicionador enchaquetado con inyección de vapor vivo en la mezcla aumenta la gelatinización de los almidones de la mezcla, y ayuda en el desarrollo de las propiedades funcionales de los ingredientes proteicos, como por ejemplo el gluten. La combinación de humedad, tiempo de residencia y temperatura son factores determinantes para alcanzar altas hidroestabilidades de los pellets de camañón. El termo-acondicionador (figura 12) también se puede utilizar para activar aglutinantes comerciales.

Figura 12. **Termo-acondicionador para procesos de peletización**



Fuente: Figueroa C. Mario A. Proyecto de empresa de planta peletizadora de alimento para langostinos. p. 17.

Es común utilizar termo-acondicionadores enchaquetados cuando las mezclas ya contienen un alto contenido de agua, bien sea porque se adiciona agua directamente en el mezclado o porque se incluyen en la fórmula ingredientes crudos como trozos de pescado, calamares, o vísceras molidas de pescado. Esta práctica es común en Asia en donde el propósito del termo-acondicionador enchaquetado es también el de remover exceso de humedad.

De no removerse por evaporación, es muy probable que la peletizadora se atranque. Esto se produce porque los rodillos patinan en la pista del dado sin poder extrudir la mezcla húmeda que se acumula al punto de causar la tranca de la máquina.

A continuación se presentan las recomendaciones para producir alimentos peletizados de camarón con alta estabilidad en el agua.

- Tiempo de acondicionamiento mínimo 90 segundos, pero es preferible 270 a 350 segundos dependiendo de los ingredientes que se incorporan en la fórmula; el tiempo de residencia se puede ajustar cambiando el ángulo de las paletas y/o disminuyendo la velocidad del termo-acondicionador.

- Aplicar vapor saturado de 1-2 bar (15-30 psi) de presión, los puntos de inyección de vapor deben ser a la parte inicial del termo-acondicionador para permitir más tiempo de contacto con la mezcla.
- La temperatura de la mezcla acondicionada debe ser no menor a 90 grados centígrados.
- La humedad de la mezcla a la salida del termo-acondicionador debe estar entre 16- 18%, a medida que la humedad incrementa se corre el riesgo de causar atasca duras en el dado.
- También para poder controlar la peletización a altos niveles de humedad se debe sacrificar la productividad ya que de otra manera es imposible lograr extrudir alimento en dados con relaciones de compresión como las que se usan para los alimentos de camarón.

2.6.3. Dados

Los dados (figura 13) para fabricar alimentos de camarón, avícolas y porcinas deben ser de acero inoxidable altos en cromo. Esto se debe a que las fórmulas de camarón son bastante ácidas lo que podría causar la corrosión. Si no se puede lograr la calidad del pellet con este tipo de dados la segunda opción es utilizar dados de acero inoxidable carbonizado.

Por el tipo de aleación el coeficiente de fricción es mayor que el de acero al cromo lo que produce una mayor resistencia a la mezcla que se está peletizando. Con este tipo de dados se pueden esperar reducciones en

productividad y mayor desgaste no solo por la mayor fricción sino también por la menor resistencia a agentes ácidos que se incluyen en las fórmulas.

El espesor efectivo de los dados para camañ debe ser de 45 a 50 mm. Este es lo que se conoce como espesor efectivo o área de trabajo y no se le debe confundir con los alivios.

Figura 13. **Dados de la prensa peletizadora**



Fuente: Figueroa C. Mario A. Proyecto de empresa de planta peletizadora de alimento para langostinos. p. 18.

2.6.4. Rodillos

El aspecto más importante de los rodillos (Figura 14) es su relación con el dado. Cualquier cosa que le suceda al rodillo también afectará al dado. La función del rodillo es proporcionar la fuerza de compresión entre el alimento y el dado. El dado ofrece la fuerza de resistencia que depende de su espesor (área de trabajo efectivo), coeficiente de fricción, y diámetro del orificio. Para una eficiencia y vida máxima del dado, se recomienda, como regla general, utilizar un juego de rodillos nuevos siempre que coloquemos un dado nuevo.

Uno de los problemas más comunes que se observa en los dados de plantas en donde se fabrican alimentos para camañ es el desgaste de la pista

del dado. Este desgaste se observa como un planchado que causa el bloqueo de los agujeros por donde entra la mezcla. Este fenómeno es común debido al sobre ajuste de los rodillos ya que los operadores tratan de obtener la mayor tracción posible con la creencia de que de esta manera van a lograr mayores producciones. Lamentablemente esta práctica produce efectos contrarios ya que al bloquear la entrada de los orificios la productividad y la vida del dado disminuyen considerablemente.

Figura 14. **Rodillos de la prensa peletizadora**



Fuente: Figueroa C. Mario A. Proyecto de empresa de planta peletizadora de alimento para langostinos. p. 19.

Para ajustar los rodillos se puede usar una etiqueta para medir la separación entre la cara del dado y el rodillo. Después de haberlos ajustado arranque la peletizadora y con cuidado observe si los rodillos tienen movimientos intermitentes tocando y saltando la cara del dado “toques en brincos”.

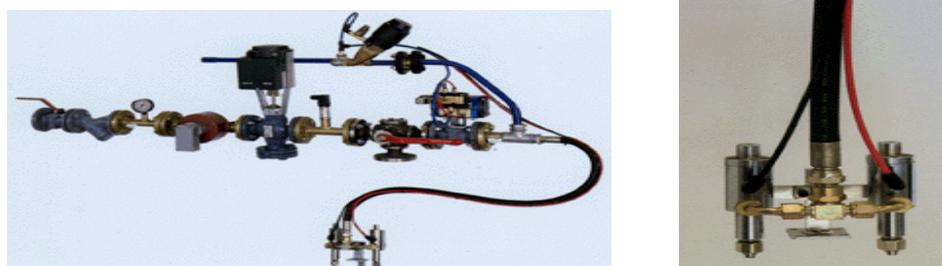
Los rodillos pueden tener muchas configuraciones, pero siempre hay que buscar el que tenga mejor tracción. Por eso se recomienda usar rodillos con el mayor número de corrugaciones (canales) y que estos estén cerrados. Los de canales abiertos permiten que la mezcla se escurra por los lados impidiendo ser comprimida en los agujeros del dado.

2.7. Rociador de grasa

El equipo de adición por pulverización ha sido creado (MANGARA S.A- fat-spray, 2009) para dosificar la grasa líquida sobre los gránulos a su salida de la matriz. Este equipo puede ser adaptado a cualquier granuladora si hay sitio suficiente para instalar el cabezal de pulverización. El caudal de la bomba, el recuento y la selección de los inyectores se determinan por el caudal de la granuladora y la cantidad de grasa a pulverizar sobre el producto. O sea Tn/h. y kg/min. Las características de los inyectores se determinan en función de la producción de la granuladora.

El equipo puede ser utilizado para diferentes porcentajes de incorporación de grasa: Mínimo 0,5% a un máximo de un 5%. Sobre este punto debemos realizar la siguiente reflexión: En la práctica, el porcentaje de grasa pulverizada depende de tres factores. 1º Tamaño de los pellets 2º Facultad de adsorción del pellet considerando la temperatura de los gránulos a la salida de la matriz. 3º Nivel de calidad del producto elaborado deseado. A continuación se muestra en la Figura 15 el sistema de rociador de grasa.

Figura 15. Sistema de rociador de grasa



Fuente: "fat-spray I MANGARA S.A."

<http://www.mangrassa.com/Castella/fatspray/content.htm#Adición%20de%20grasa%20por%20pulverización>, sp. p.1.(14 de noviembre 2010).

2.7.1. Recomendaciones

Para evitar posibles residuos en el recubridor, equipos y circuito situados se debe tener siempre un mantenimiento preventivo.

A partir del 4 al 5% de dosificaciones (figura 16) y según determinados productos, provocación de marcas grasientas en los sacos. Deberemos pues añadir el tanto por ciento adecuado.

Procurar realizar las dosificaciones a temperaturas elevadas, ya que si no, obtendríamos dificultades de deslizamiento y riesgos de formación de masas en relación a porcentajes elevados.

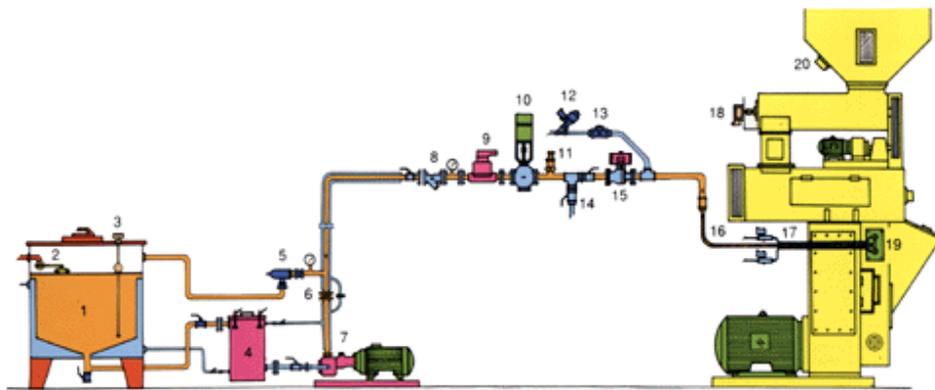
2.7.2. Características técnicas generales

Aprovechando la alta temperatura de extracción de los gránulos a la salida de la matriz y estando los mismos en textura abierta y en condiciones óptimas de absorción, determinamos

- Dosificación óptima comprendida entre el 1 y 1,8% (aconsejables).
- Mejora de la presentación y de la dureza de los gránulos.
- Aumento de los porcentajes de incorporación de grasa sin disminuir la calidad de los gránulos.
- Mejora de la producción de las granuladoras debido a la utilización de matrices con menos compresión.

- En pequeño porcentaje (del 1 al 2%) se facilita el deslizamiento en silo tanto en la fábrica como en la granja.
- Asociado a la incorporación de grasas en las harinas: Reducción de los cambios de matrices (polivalencia de matrices por tener una compresión inferior).

Figura 16. **Diagrama de equipo de dosificación**



Fuente: fat-spray I MANGARA S.A.

<http://www.mangrasa.com/Castella/fatspray/content.htm#Adición%20de%20grasa%20por%20pulverización>, sp. p.1. (14 de noviembre 2009)

Componentes del Diagrama de equipo de dosificación

- | | |
|--|-----------------------------------|
| 1. Tanque de calentamiento. | 5. Válvula de seguridad. |
| 2. Válvula de llenado. | 6. Válvula antirretorno vertical. |
| 3. Control tecnomangra nivel líquidos. | 7. Bomba incorporacñ. |
| 4. Filtro de aspiracñ. | 8. Filtro dosificacñ tipo JC. |

9. Contador volumétrico a pistón rotat.
10. Válvula dosificadora.
11. Marómetro electrónico.
12. Válvula de solplado.
13. Válvula antirretorno horizontal.
14. Válvulas toma de prueba.
15. Válvula neumática paso dosificacñ.
16. Manguera flexible inyectores.
17. Electroválvulas seleccñ Inyectore.
18. Generador taconétrico.
19. Soporte inyectores pulverizacñ.
20. Sonda nivel mínimo tolva.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Se examinó la temperatura y la presión a la que entra el vapor en el termo-acondicionador, fueron variadas para que se produjera una mejora en la transferencia de masa que existe dentro del termo-acondicionador por medio del cambio de densidad y humedad de las harinas.

Las modificaciones que se realizaron para obtener ganancia de tiempo en el termo-acondicionador fueron los ajustes en los ángulos de la paletas como la colocación de un variador de frecuencia con lo cual se pudo evaluar el mejor tiempo de retención para una eficiente producción y transferencia de masa por medio del cambio de densidad, humedad en las harinas y la toneladas producidas por hora en promedio.

Se evaluó el modo de la aplicación de la grasa ya que esta no favorece a la gelatinización de los almidones, se realizaron varias pruebas para llegar a una disminución adecuada de la grasa que se encuentra en las harinas que se procesan en el termo-acondicionador, para no afectar su valor nutricional se aplicó un rociador de grasa externo.

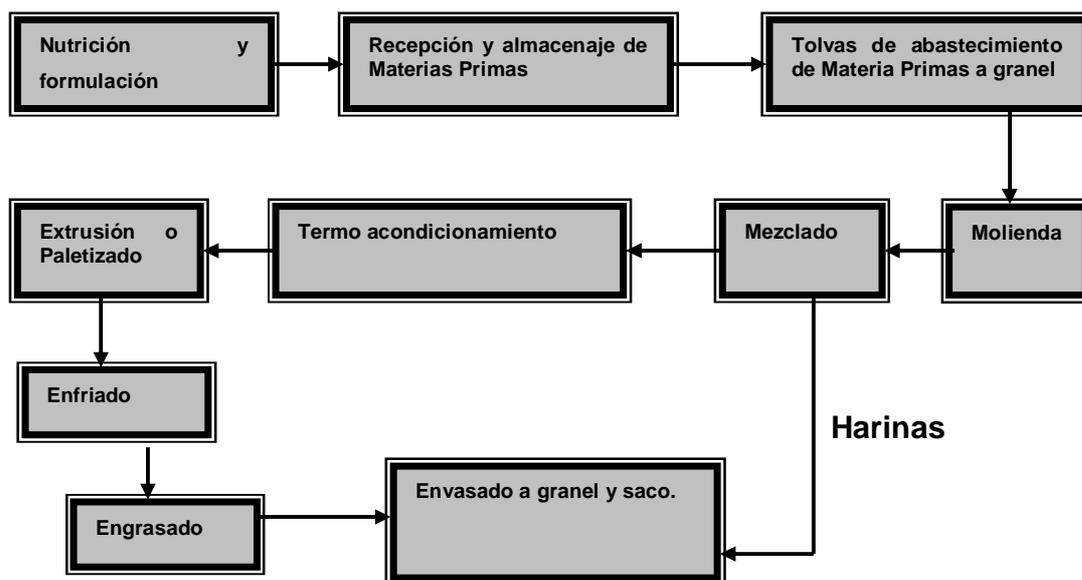
En el laboratorio de aseguramiento de la calidad se examinó la dureza, la húmeda, la hidroestabilidad y la permeabilidad del producto terminado y se realiza el análisis proximal al producto los cuales los calificaremos de la siguiente manera: bueno B (si se encuentra en los parámetros del laboratorio

de calidad), regular R (en los límites de los paámetros), malo M (esta afuera de los paámetros establecidos).

3.2. Delimitación del campo de estudio

En la fabricación de alimentos balanceados se desarrollan los procesos que se describen a continuación

Figura 17. Diagrama del proceso



Fuente: elaboración propia.

El departamento de aseguramiento de calidad es el responsable de auditar los procesos y productos, con el objetivo de cumplir con los estándares establecidos. Para la verificación del proceso de producción se divide en.

- El control de la molienda y el mezclado de las materias primas.
- Las condiciones de operación del termo-acondicionador antes de peletizar las harinas.
- Condiciones estándares finales del peletizado.
- Las condiciones de operación del termo-acondicionador no estaban establecidas; por lo que se logró mejorar las condiciones de trabajo.

3.3. Recursos humanos disponibles

- DEEOPS= Inga. Norma Sarmiento
- DEI= Ing. W. Alarcei
- Asesor técnico= Ing. Augusto Alberto Domínguez
- Asesor docente= L.V.P.C.

3.4. Recursos materiales disponibles

3.4.1. Instrumentos

- Termómetros
- Manómetros
- Medidor de Durabilidad de Kansas
- Balanza de peso
- Balanza de humedad

- Beackers
- Análisis Nirs
- Peletizadora
- Molino
- Medidor del peso específico.
- Tamices
- Cuchaón
- Bolsas
- Jeringa

3.4.2. Materia prima

- Agua.
- Harina de alimentos balanceado
- Alimento balanceado(producto final)
- Aceite de palma

3.5. Técnica cuantitativa o cualitativa

- Técnica cuantitativa

3.5.1. Peso específico

En el laboratorio de aseguramiento de la calidad se colocó aproximadamente 650g de harina húmeda en un embudo que desembocaba la harina un recipiente volumétrico estándar de un litro; se afoó con una regla de madera y se pesó el recipiente. De igual forma se realizó con la harina seca.

3.5.2. Cálculo de la humedad

Se aseguró que la balanza de humedad estuviera calibrada y a cero, se pesó 5g de la muestra de harina húmeda se tapo la balanza de humedad y cuando esta llegó a su equilibrio se presionó Enter; en un periodo de aproximadamente 6min. y con una temperatura de 18°C se obtuvo el dato de la humedad de la muestra; de igual forma se realizó con la harina seca.

3.5.3. Análisis NIRS

Se molió aproximadamente 50g de la harina húmeda y se colocó en una bolsa de 1lb, en la jefatura NIRS, en una celada de ¼ se puso la muestra de harina molida y está en el NIRS, para que en aproximadamente 2 min. se obtuvo el resultado del análisis proximal. Los resultados fueron verificados por el contenido de grasa, fibra cruda y proteína indicados por formulación.

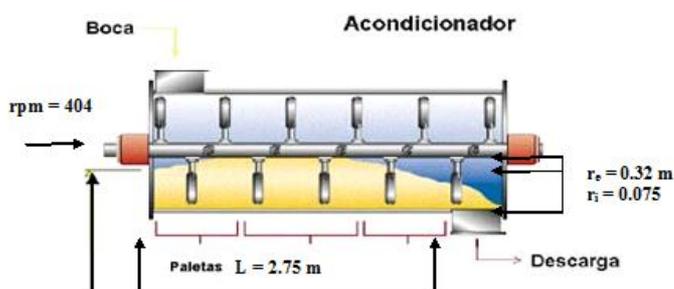
3.5.4. Cálculos a realizar

Área total de los acondicionadores

$$A = \pi r_e^2 - \pi r_i^2 \quad \text{Ecuación No. 1}$$

Por ejemplo, en el termo acondicionamiento de la peletizadora de pollo (presentado en la figura 18) se tienen un área de 0.335 m² obtenido de la ecuación No. 1.

Figura 18. Medidas del termo-acondicionador



Fuente: elaboración propia.

A estimada según ecuación No. 1

$$A = (\pi (0.335 \text{ m})^2 - \pi (0.075 \text{ m})^2)$$

$$A = 0.335 \text{ m}^2$$

Para la estimación del volumen total de acondicionador va ser igual a

$$V = AL \quad \text{Ecuación No. 2}$$

El volumen del termo-acondicionador se cálculo de la siguiente forma

$$V = 0.335 \text{ m}^2 (2.75 \text{ m})$$

$$V = 0.89 \text{ m}^3$$

La capacidad de llenado es la cantidad máxima de harina que puede contener el termo-acondicionador, la cual se obtuvo de la siguiente fórmula

$$C = V \cdot 0.66 \cdot \rho_f \quad \text{Ecuación No. 3}$$

Ejemplo de aplicación

$$C = (0.89 \text{ m}^3) 0.66 (550 \text{ Kg/m}^3)$$

$$C = 323 \text{ Kg}$$

El tiempo de retención se puede estimar de la siguiente forma

$$t = C / C_{\text{crg}} \quad \text{Ecuación No. 4}$$

$$t = \frac{323 \text{ Kg}}{30000 \text{ Kg/h}} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 39 \text{ s}$$

Entonces el balance de energía simple nos dice que

$$Q = q_s = m h C_p \Delta T \quad \text{Ecuación No. 5}$$

También podemos obtener por medio de un balance de energía termodinámico que

$$q_s = m_{\text{vap}} \Delta h \quad \text{Ecuación No. 6}$$

Igualando Ecuación No. 5 y No. 6.

$$m h C_p \Delta T = m_{vap} \Delta h \quad \text{Ecuación No. 7}$$

Un balance de masa nos dice lo siguiente

$$m_{H_2O} X_o + m_{vapo} X_{vapo} = m_{H_2O} X_f + m_{vapf} X_{vapf} \quad \text{Ecuación No. 8}$$

Por lo tanto,

$$m_{vapo} X_{vapo} - m_{vapf} X_{vapf} = m_{vap} \quad \text{Ecuación No. 9}$$

Sustituyendo ecuación No.9 en No. 10,

$$m_{H_2O} X_o + m_{vap} = m_{H_2O} X_f \quad \text{Ecuación No. 10}$$

$$630 \text{g/l} (0.1127) + m_{vap} = 620 \text{g/l} (0.1462)$$

$$m_{vap} = 19.643 \text{g/l} * 1 \text{l/g}$$

$$m_{vap} = 19.643 \text{g}$$

Por lo que de la transferencia de masa simultánea con la transferencia de calor se obtiene la ecuación de calor con el factor de corrección de Ackerman

$$q_s = h(T_s - T_G) \left[\frac{C_o}{1 - \exp(-C_o)} \right] \quad \text{Ecuación No. 11}$$

$$\text{Donde, } h(T_s - T_G) = \Delta h \text{ y } \left[\frac{C_o}{1 - \exp(-C_o)} \right] = m_{vap}$$

Para el cálculo de la transferencia de masa se utilizó la ecuación No. 6 quedando de esta manera.

$$Q = 0.019643 \text{ Kg} (2738.1 \text{ KJ/ Kg} - 347.5 \text{ KJ/Kg})$$

$$Q = 4.59 \text{ KJ}$$

- Técnicas cualitativas

3.5.5. Análisis de dureza del pellet

Se obtuvo una muestra de pellet de aproximadamente de 750g a la salida del enfriador con una bolsa de 10lb. y un cuchaón.

Se analizó la humedad en el pellet utilizando la balanza de humedad como se especificó anteriormente (3.5.2) y la dureza en el analizador del pellet. Se pasó toda la muestra por malla US 8 y 12 donde se dividió la muestra en pellet entero, quebrado y finos; del pellet entero se pesó 500g, se introdujo en el medidor de Durabilidad de Kansas (es una caja rectangular con un deflector donde se produce un movimiento rotacional.) por 10 min., se recogió la muestra, se pasó por el malla US 8 para saber cuánto porcentaje pellet entero hay el cual es el porcentaje de dureza. Apuntar los datos en papel bond.

3.5.6. Análisis de permeabilidad

En un beacker se colocó 5g del producto y se le agregó 150g de agua se dejó reposar durante 5min. Pasados los 5 min. se colocó una maya para escurrir el agua y procedió a pesar el producto. Luego se sacó el porcentaje de agua que se absorbió por el producto y se comparó con los rangos de control de calidad.

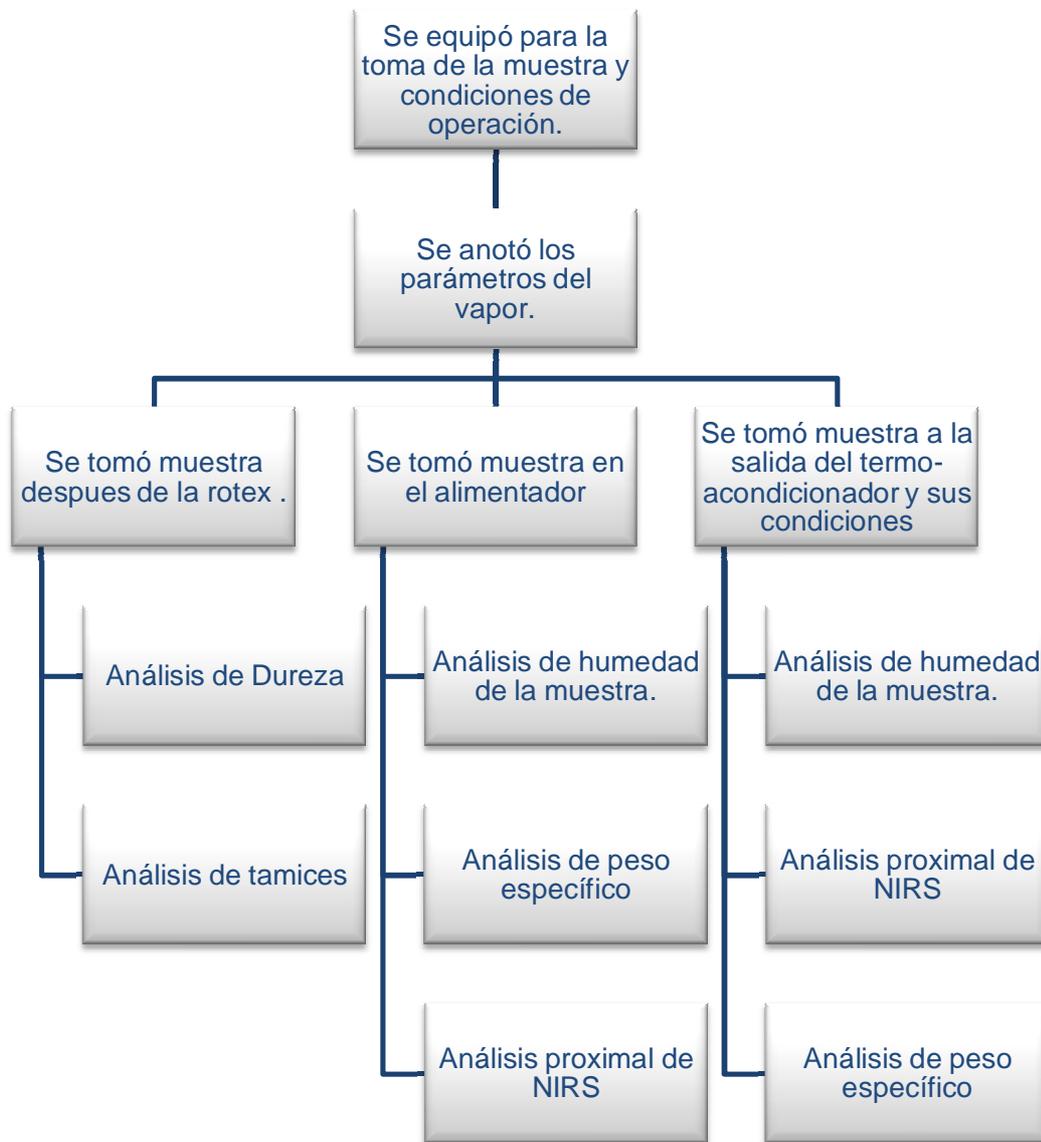
3.5.7. Análisis de hidroestabilidad

En un beacker se colocó 50g del producto y se agregó 150g de agua se observó durante 4 horas y si no tenía mayor deformación se tomó como bueno.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

La investigación del producto de pollo la se llevó a cabo según el proceso del diagrama de muestras I (figura 19) que se presenta a continuación.

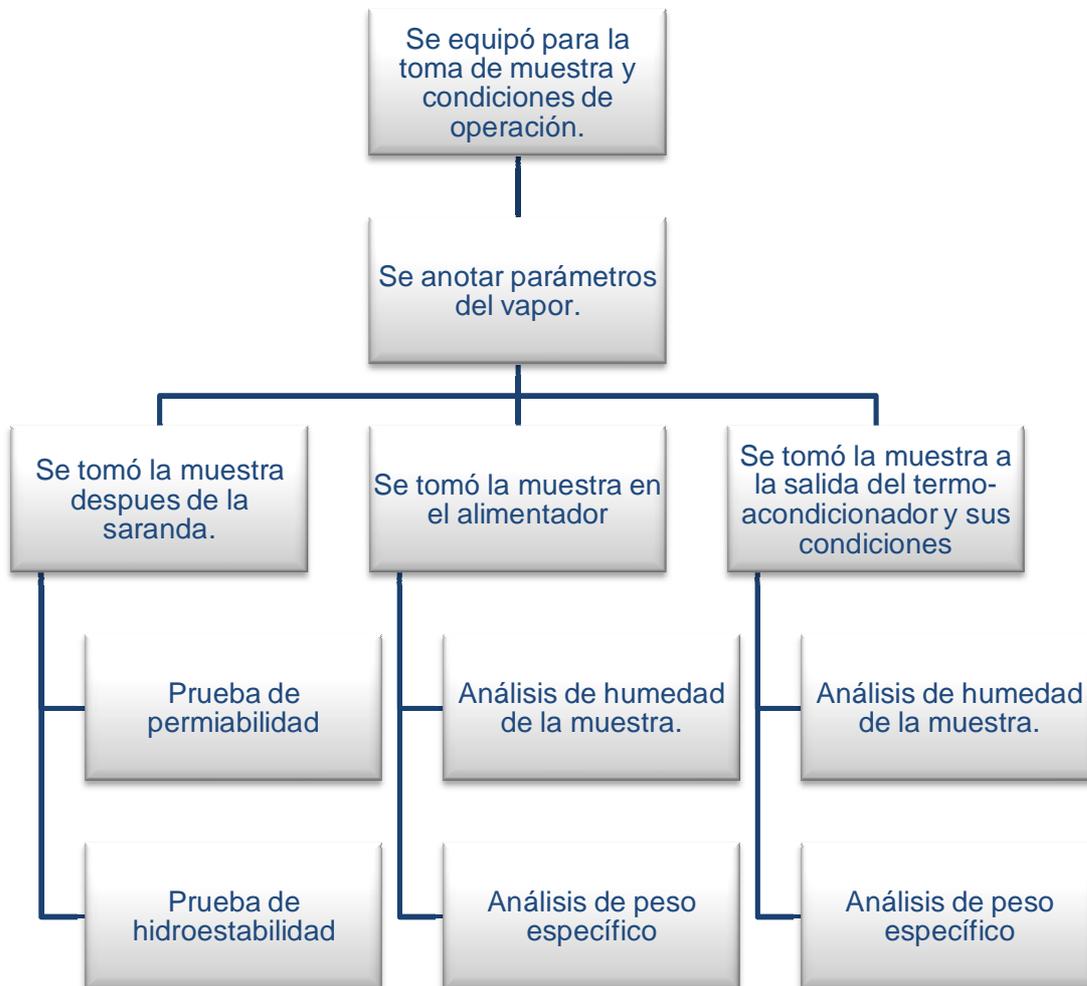
Figura 19. **Diagrama de muestras para producto de pollo**



Fuente: elaboración propia.

La investigación del producto de camarón se llevó a cabo según el proceso del diagrama de muestras II (figura 20) que se presenta a continuación.

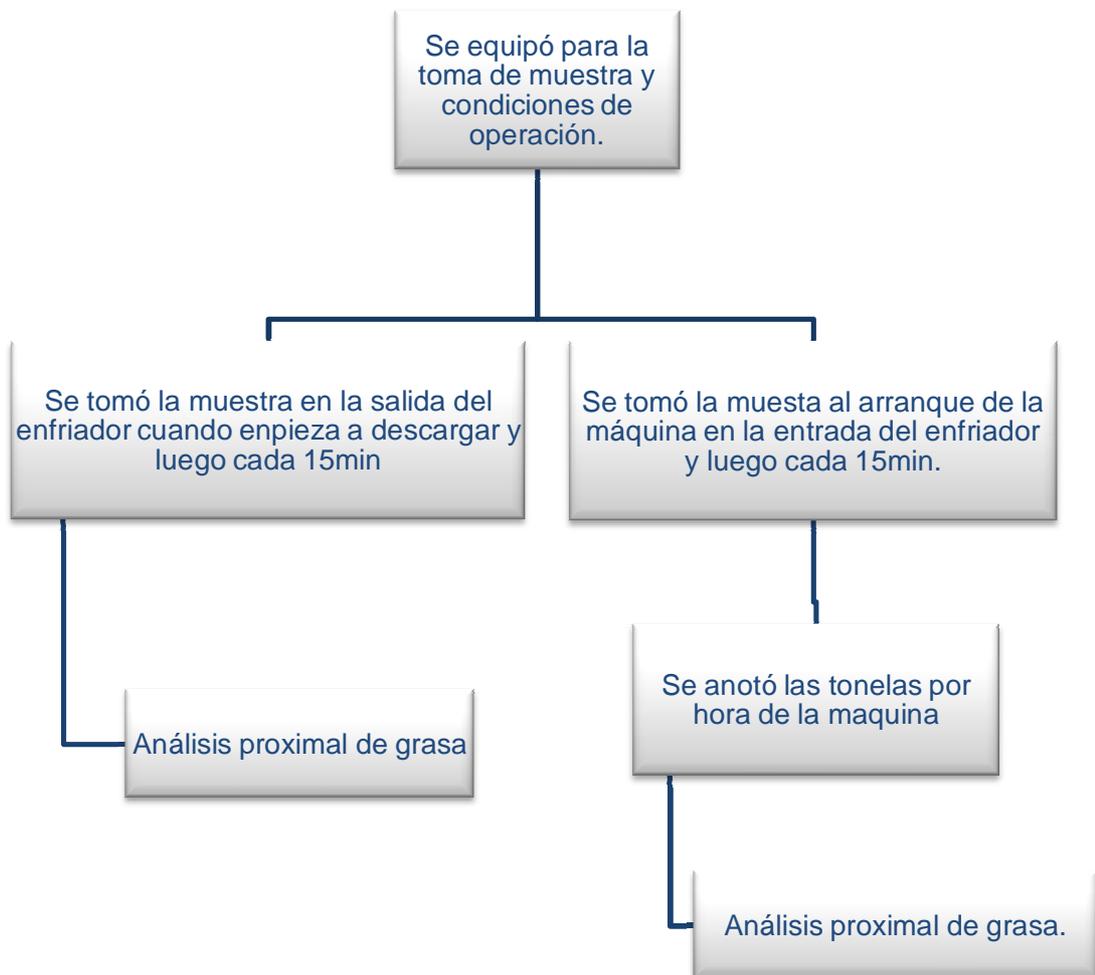
Figura 20. **Diagrama de muestra para producto de camarón**



Fuente: elaboración propia.

La prueba de grasa con el rociador de grasa se elaboró, según el proceso del diagrama de prueba de grasa (figura 21) que se presenta a continuación.

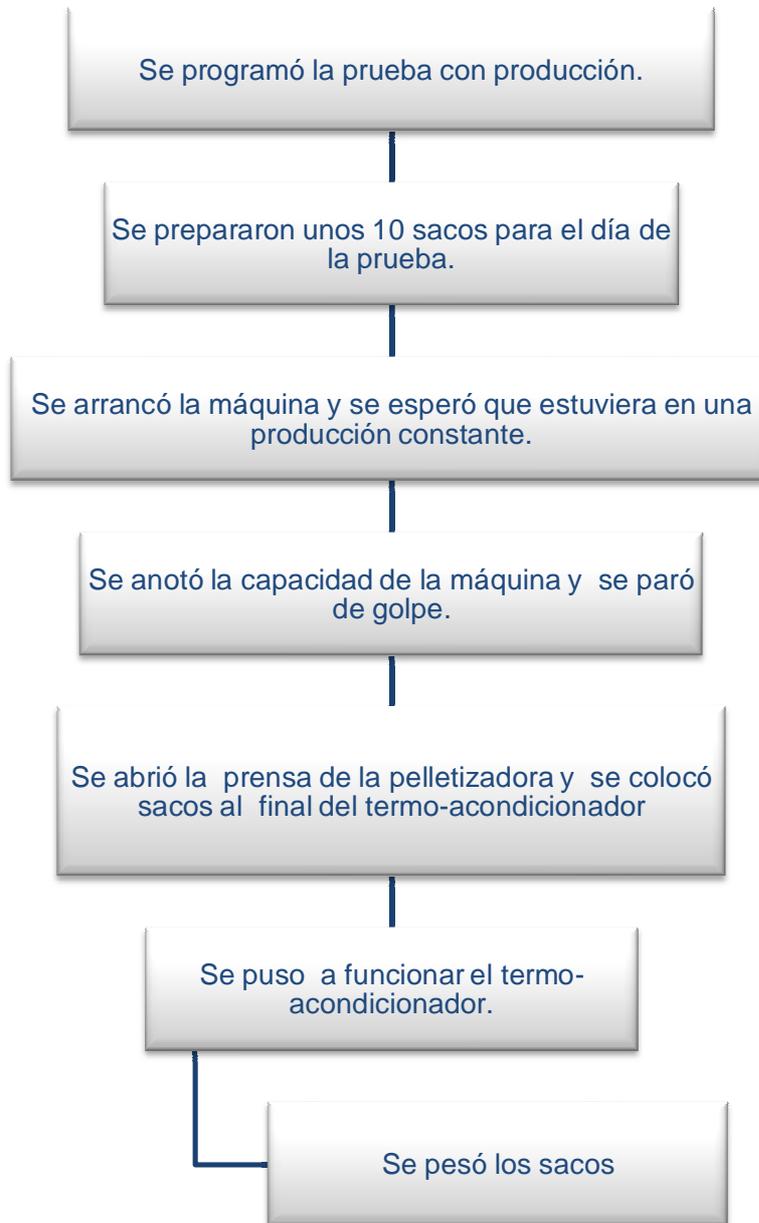
Figura 21. **Diagrama de prueba de calibración del rociador de grasa**



Fuente: elaboración propia.

La prueba de retención se llevó a cabo según el proceso del diagrama de prueba de retención (figura 22) que se presenta a continuación.

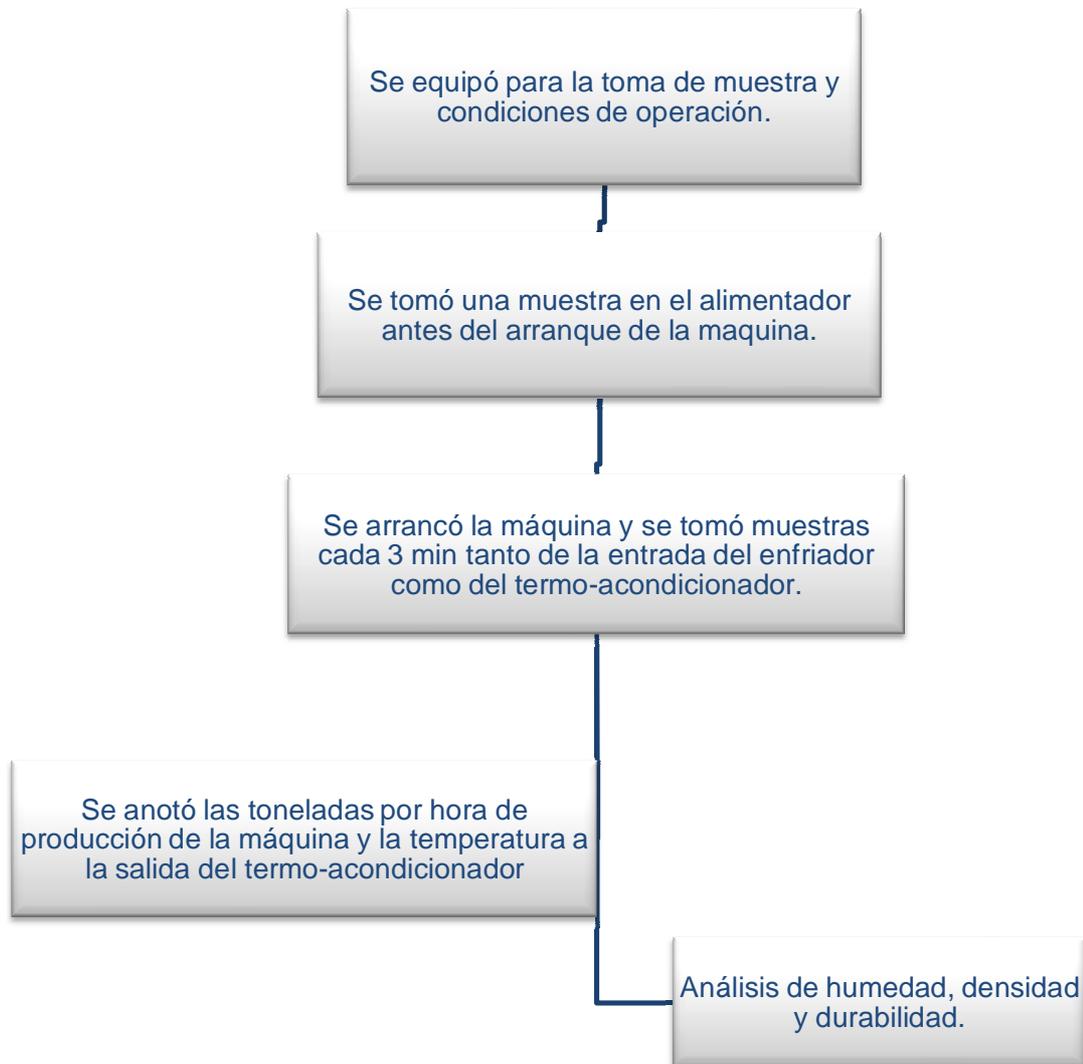
Figura 22. **Diagrama de prueba de retención**



Fuente: elaboración propia.

La curva de arranque la se llevóa cabo según el proceso del diagrama de curva de arranque (figura 23) que se presenta a continuación.

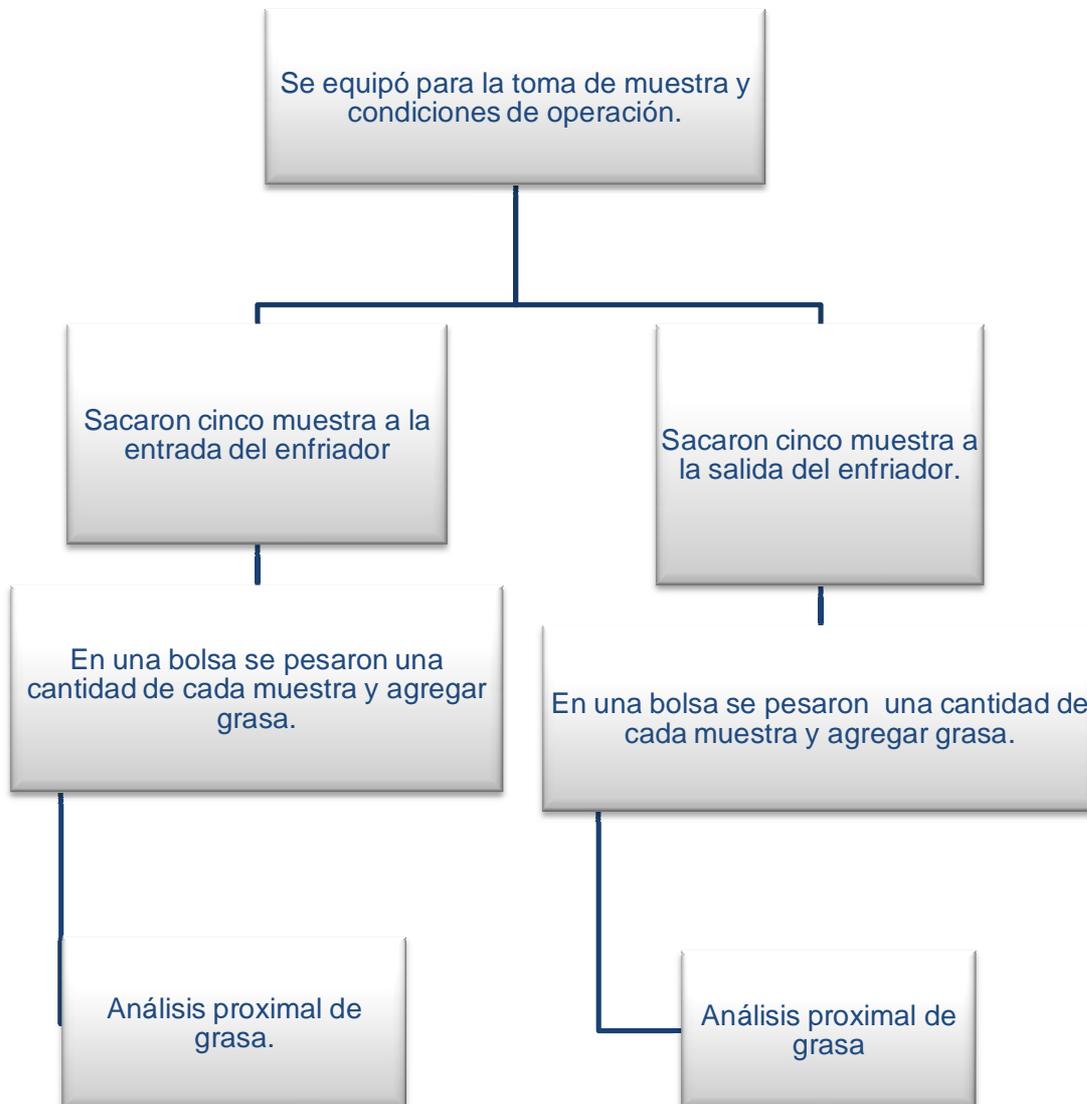
Figura 23. Diagrama de curva de arranque de la pelletizadora de pollo



Fuete: Elaboración propia

La prueba de adsorción de grasa la se llevóa cabo según el proceso del diagrama de adsorción (figura 24) que se presenta a continuación.

Figura 24. Diagrama de adsorción de grasa en el pellet



Fuente: elaboración propia.

Se recolectaron los datos en hojas de papel bond y se utilizaron en la elaboración de las tablas.

3.7. Tabulación y procesamiento de la información

Para tabular, ordenar y procesar la información se sacaron los datos del archivo se introdujeron en el programa Microsoft Word Excel realizando una tabla dinámica que contenía las fórmulas necesarias para obtener la transferencia de masa y de calor realizada en el proceso. Estas tablas dinámicas se colocaron en diferentes hojas de cálculo para diferenciar el producto. Para el producto de pollo en la transferencia de masa y calor se utilizaron los datos presentados en la tabla III y tabla IV.

Tabla III. **Transferencia de masa fase I**

P	ρ_o	ρ_f	ρ_{tb}	$\%X_o$	$\%X_f$	m_{vap}	TM/h
1.2	590	610	605	12.46	12.96	5.542	22
1.2	596	589	597	12.78	15.95	17.7767	23.5
1.2	584	588	587	11.3	15.01	22.2668	24
1.5	596	594	597	12.78	15.49	15.8418	24.6
1.5	582	592	592	12.62	15.38	17.6012	23.6
1.5	611	618	594	12.45	14.88	15.8889	23.8
1.5	557	592	600	12.67	15.97	23.9705	24
1.5	557	594	600	12.67	16.24	25.8937	24.2
1.7	582	600	592	12.62	15.04	16.7916	22.7
1.7	541	579	581	12.55	15.72	23.1233	24.2
1.8	606	645	601	12.2	14.54	19.851	24.7
1.8	541	594	581	12.55	15.26	22.7489	24
1.9	593	600	610	12.69	16.15	21.6483	23.5
2	553	593	590	13.26	15.82	20.4848	23.6

Continuación de tabla III.

P	ρ_o	ρ_f	ρ_{tb}	$\%X_o$	$\%X_f$	m_{vap}	TM/h
2	541	590	595	13	15.4	20.53	24.7
2	557	567	595	12.29	15.06	16.9349	23.8
2	597	602	597	12.31	15.24	18.2541	24.3
2	597	590	597	12.31	15.68	19.0213	23.8
2	609	621	607	12.28	15.31	20.2899	24.2
2	589	592	597	11.3	14.95	21.947	24.6
2	599	588	590	12.34	15.43	16.8118	24.3
2	599	592	590	12.34	15.75	19.3234	24.5
2	599	594	590	12.34	15.38	17.4406	24.6
2.4	597	589	597	12.31	14.93	14.447	24
2.5	528	613	602	12.11	14.94	27.6414	23.6
2.5	603	616	600	12.48	15.57	20.6568	23.8
2.5	603	615	600	12.48	15.34	19.0866	23.9
2.6	609	618	607	12.28	15.29	19.707	24.5
2.9	611	594	596	12.45	15.56	16.3569	24.2
3	620	591	592	12.65	15.41	12.6431	24
3	620	610	592	12.65	15.12	13.802	23.7
3	528	597	602	12.11	15.52	28.7136	23.9
3	528	628	602	12.11	15.35	32.4572	23.8
3	590	610	595	12.89	15.22	16.791	24
3	588	618	600	13.18	14.94	14.8308	23.6
3.1	616	614	600	13.2	15.9	16.314	23.5
3.5	614	598	595	12.29	15	14.2394	23.7
3.5	619	607	605	11.9	14.68	15.4466	23.5

Fuente: elaboración propia con base a datos experimentales.

Tabla IV. **Transferencia de calor fase I**

P	T_{vap}	T_{tb}	T_o	T_f	h_o	h_f	Q
1.2	130	83	36	85	2717.53	2294.74	2.3431022
1.2	130	79	36	80.3	2717.53	2306.82	7.3010685
1.2	135	82	34.2	84	2,724.26	2,297.32	9.5065876
1.5	140	80	35	81.6	2730.82	2303.48	6.7698348
1.5	140	81	35	83.6	2730.82	2298.35	7.611991
1.5	140	83	37	85	2,730.82	2,294.74	6.9288315
1.5	140	82	34.5	84.5	2,730.82	2,296.03	10.422134
1.5	140	83	34.5	84.6	2,730.82	2,295.77	11.265054
1.7	140	82	34.2	84.2	2730.82	2296.9	7.2862111
1.7	140	82	34.2	84.1	2730.82	2297.63	10.016782
1.8	140	81	35.9	82	2730.82	2302.47	8.5031759
1.8	140	79	35	81	2730.82	2304.55	9.6971736
1.9	140	82	36	85.6	2,730.82	2,293.19	9.4739455
2	142	76	34	77.4	2733.39	2314.21	4.5824338
2	138	82	33.8	84.2	2728.22	2296.8	7.3200757
2	140	81	37.3	83	2730.82	2299.89	11.222926
2	140	80	35.8	82	2,730.82	2,302.46	8.7748689
2	142	83	34	84.6	2,733.39	2,295.77	8.9843386
2	140	80	33.3	80.8	2730.82	2305.54	7.2020743
2	142	78	34.5	79.4	2733.39	2309.11	7.7448496
2	144	82	36.2	84.1	2735.93	2297.06	8.3478779
2	142	84	33.6	86.4	2,733.39	2,291.12	8.9736141
2	140	79	35.4	81.3	2,730.82	2,304.51	9.3562256

Continuación tabla IV.

P	T_{vap}	T_{tb}	T_o	T_f	h_o	h_f	Q
2.4	142	81	36	83	2733.39	2299.89	6.2627745
2.5	142	82	34.4	84.5	2733.39	2296.03	9.0344581
2.5	148	82	35.3	84.6	2740.91	2295.77	12.304293
2.5	142	83	34.4	85	2733.39	2294.74	8.3723371
2.6	150	84	33.6	87.1	2,743.36	2,289.30	8.9481604
2.9	150	80	36	81.8	2743.36	2302.97	7.2034152
3	150	76	34	78	2743.36	2312.69	7.23138
3	150	78	36	79.6	2743.36	2308.61	6.4476903
3.1	150	84	35	85.4	2743.36	2293.7	7.3357532
3.5	152	80	33.1	81.9	2745.77	2302.72	6.3087662
3.5	152	82	35	84.2	2,745.77	2,296.80	6.93506

Fuente: elaboración propia con base a datos experimentales.

Nota 1

El formato de transferencia de calor se utilizó únicamente para encontrar la influencia que tiene la transferencia de calor con respecto a la transferencia de masa. La fase II da inicio con la incorporación del rociador de grasa los resultados de calibración se presentan de la tabla V a la tabla IX.

Nota 2

La calibración del rociador de grasa se realizó 5 pruebas para calibrar el medidor de flujo másico con el PLC que controla las toneladas másicas de la peletizadora.

Tabla V. **Calibración del rociador de grasa prueba 1 fase II**

MUESTRA	GRASA	G BRILL	MÍNIMO	MÁXIMO
1	6.43	7.3014	6.70	7.90
2	6.74	7.3014	6.70	7.90
3	6.89	7.3014	6.70	7.90
4	6.65	7.3014	6.70	7.90
5	7.33	7.3014	6.70	7.90
6	6.56	7.3014	6.70	7.90
7	6.19	7.3014	6.70	7.90
8	6.42	7.3014	6.70	7.90
9	6.39	7.3014	6.70	7.90
PROMEDIO	6.62	7.3014	6.70	7.90

Fuente: elaboración propia con base a datos experimentales.

Tabla VI. **Calibración del rociador de grasa prueba 2 fase II**

MUESTRA	GRASA	G BRILL	MÍNIMO	MÁXIMO
1	8.64	7.3014	6.70	7.90
2	7.75	7.3014	6.70	7.90
3	7.85	7.3014	6.70	7.90
4	7.83	7.3014	6.70	7.90
5	7.43	7.3014	6.70	7.90
PROMEDIO	7.9	7.3014	6.70	7.90

Fuente: elaboración propia con base a datos experimentales.

Tabla VII. **Calibración del rociador de grasa prueba 3 fase II**

MUESTRA	GRASA	G BRILL	MÍNIMO	MÁXIMO
1	8.3	7.3014	6.70	7.90
2	7.81	7.3014	6.70	7.90
3	8.05	7.3014	6.70	7.90
4	8	7.3014	6.70	7.90
5	7.86	7.3014	6.70	7.90
PROMEDIO	8.004	7.3014	6.70	7.90

Fuente: elaboración propia con base a datos experimentales.

Tabla VIII. **Calibración del rociador de grasa prueba 4 fase II**

MUESTRA	GRASA	G BRILL	MÍNIMO	MÁXIMO
1	6.47	7.7886	7.19	8.39
2	8.54	7.7886	7.19	8.39
3	8.74	7.7886	7.19	8.39
4	8.93	7.7886	7.19	8.39
PROMEDIO	8.17	7.7886	7.19	8.39

Fuente: elaboración propia con base a datos experimentales.

Tabla IX. **Calibración del rociador de grasa prueba 5 fase II**

MUESTRA	GRASA	G BRILL	MÍNIMO	MÁXIMO
1	8.14	7.7886	7.19	8.39
2	8.44	7.7886	7.19	8.39
3	8.46	7.7886	7.19	8.39
PROMEDIO	8.346667	7.7886	7.19	8.39

Fuente: elaboración propia con base a datos experimentales.

Una vez calibrado el equipo de rociador de grasa, se procedía a realizar pruebas de retención del termo acondicionador, moviendo los ángulos de las paletas y la potencia del motor (Hz), los resultados se presentan en la tabla X.

Tabla X. **Pruebas de retención del termo - acondicionador fase II**

Hz	t	TM/h	Peso Kg	%Dureza	Ángulo paletas
60	24s	20	133.3	90.07	-10°,0°,10°
40	16s	24	106.7	88.87	-10°,20°,0°
40	28s	24	186.7	90.03	-10°,0°,10°
40	38s	25	263.9	90.71	-10°,0°,0°
38	40s	26	288.9	91.07	-10°,0°,0°

Fuente: elaboración propia con base a datos experimentales.

Con la modificación del tiempo de retención del termo acondicionador y la grasa aplicada en la formulación se realizaron las pruebas de transferencia de masa resultados que se presenta en la tabla XI.

Tabla XI. Transferencia de masa fase II

P	T_{vap}	T_{tb}	C	T_f	ρ_o	ρ_f	P_{tb}	%X_o	%X_f	m_{vap}
1	140	74	26	76	512	563	569	12.36%	14.94%	20.829
1.2	140	82	22.8	82	558	577	582	11.86%	14.52%	17.6016
1.3	142	81	25.6	81	555	576	578	12.03%	15.09%	20.1519
1.3	140	78	21.4	80	546	573	575	12.44%	14.78%	16.767
1.4	144	81	25.9	81	555	584	580	12.38%	15.18%	19.9422
1.5	140	81	26.8	81	540	586	580	12.86%	14.86%	17.6356
1.5	145	81	24.3	81	555	566	568	12.03%	15.22%	19.3787
1.5	145	81	24.4	81	538	568	568	12.45%	14.83%	17.2534
1.5	140	79	26.9	80	575	571	566	11.95%	15.22%	18.1937
1.5	142	80	24.8	80	604	592	590	13.48%	15.84%	12.3536
1.5	142	82	28	82	563	598	590	12.66%	15.62%	22.1318
1.5	140	81	25	81	494	566	565	12.25%	14.96%	24.1586
1.5	142	80	24.8	80	604	592	590	13.48%	15.84%	12.3536
1.6	140	79	16	79	540	575	585	12.86%	15.75%	21.1185
1.6	140	82	25.1	83	584	579	580	11.82%	15.23%	19.1529
1.7	146	82	24.9	82	495	569	566	12.17%	15.04%	25.3361
1.7	140	79	25	79	570	581	580	12.12%	15.30%	19.809
1.7	140	81	24	81	570	580	580	12.12%	15.36%	20.004
2	140	76	21.6	77.4	574	588	567	12.23%	15.49%	20.881
2	140	79	23	80	545	581	567	13.04%	14.24%	11.6664
2	140	79	22.1	80.6	541	579	567	12.78%	14.31%	13.7151
2	140	80	22.9	81.5	556	581	567	12.37%	15.53%	21.4521
2	140	80	23.3	81.6	564	577	567	12.60%	15.64%	19.1788

Continuación Tabla XI.

P	T_{vap}	T_{tb}	C	T_f	ρ_o	ρ_f	P_{tb}	%X_o	%X_f	m_{vap}
2	150	79	24.8	79	541	587	580	12%	15.87%	27.75
2	142	82	26	82	552	564	564	12.01%	15.47%	20.9556
2	144	85.6	21.2	85.6	539	566	560	11.83%	15.44%	23.6267
2.1	144	86.6	22.2	86.6	570	559	560	12.13%	14.51%	11.9699
2.2	142	80.8	19.1	80.8	554	566	580	11.90%	15.38%	21.1248
2.2	142	81.6	19.2	81.6	539	571	580	12.26%	14.54%	16.942

Fuente: elaboración propia con base a datos experimentales.

Se realizaron pruebas de transferencia de masa acortando los rangos de presión se presenta en la tabla XII.

Tabla XII. **Transferencia de masa fase III**

P	T_{vap}	T_{tb}	C	T_f	ρ_o	ρ_f	ρ_{tb}	%X_o	%X_f	m_{vap}
1.2	140	87	24.2	87	535	565	560	12.45%	14.63%	16.052
1.2	140	86	24.2	86	535	564	560	12.45%	14.63%	15.9057
1.2	138	78	25.9	78	551	588	570	11.95%	14.68%	20.4739
1.3	140	85	25.4	85	503	559	560	11.89%	15.41%	26.3352
1.3	142	82	27.5	82	564	587	586	12.65%	16.45%	25.2155
1.4	144	86	25.5	86	467	568	560	12.13%	15.46%	31.1657
1.4	142	85	25.4	85	498	559	560	11.98%	14.41%	20.8915
1.4	140	87	28	87	520	575	583	12.73%	16.15%	26.6665
1.4	138	78	25.9	78	551	588	570	12%	14.68%	20.4739

Continuación Tabla XII.

P	T_{vap}	T_{tb}	C	T_f	ρ_o	ρ_f	ρ_{tb}	%X_o	%X_f	m_{vap}
1.4	142	85	25.4	85	498	559	560	11.98%	14.41%	20.8915
1.4	140	87	28	87	520	575	579	12.73%	16.15%	26.6665
1.5	144	81	29	81	561	584	579	12.55%	15.17%	18.1873
1.5	144	80	30.2	80	502	588	582	12.33%	15.23%	27.6558
1.5	148	81	23.2	81	554	588	580	12.58%	15.83%	23.3872
1.5	144	81	29	81	561	584	579	12.55%	15.17%	18.1873
1.5	148	81	25.3	81	564	590	586	12.97%	15.75%	19.7742
1.6	148	84	29.2	84	561	586	579	12.67%	16.10%	23.2673
1.6	144	87	28.4	87	534	575	579	12.82%	15.67%	21.6437
1.7	148	85	25.4	85	495	559	560	12.15%	16.41%	31.5894
1.7	148	86	29	86	561	587	579	12.43%	16.17%	25.1856
1.7	146	87	28	87	535	575	579	12.63%	16.15%	25.292
1.7	148	82	25.3	82	564	593	586	12.86%	15.60%	19.9776
2	150	81	25.9	81	564	586	586	11.61%	16.40%	30.6236
2	152	83	26.1	83	567	586	586	11.54%	16.24%	29.7346
2	150	82	26.3	82	555	586	586	11.97%	15.82%	26.2717

Fuente: elaboración propia con base a datos experimentales.

Con los datos determinados, se procedió a tomar el tiempo necesario para que la máquina peletizadora llegue al punto de equilibrio, se muestra en la tabla XII.

Tabla XIII. **Curva de arranque de la peletizadora de pollo fase III**

No.	T Final	Densidad	%X _f	Masa	%X _p	Dureza	T/hr	T/hr/D
1	40	579	12.81	5.0859	11.72	94.4	8	0.08
2	43	580	13.34	8.288	10.59	86.95	13	0.15
3	63	581	14.90	17.485	13.2	90.4	19	0.21
4	74	583	15.16	19.2988	13.28	91.4	20	0.22
5	76	577	15.37	19.6009	14.33	92.58	20	0.22
6	77	575	15.25	18.6035	14.34	90.76	23	0.25
7	81	580	15.36	20.004	13.75	90.4	24	0.27
8	79	581	15.30	19.809	14.03	89.15	25	0.28

Fuente: elaboración propia con base a datos experimentales.

Para seguir con los estudios de adsorción de grasa en los pellet se realizaron pruebas en caliente y frío.

Tabla XIV. **Prueba de adsorción grasa en caliente fase III**

Peso muestra	Peso grasa agregada	% Grasa	NIRS muestra sin grasa extra	NIRS muestra con grasa extra	Δ Grasa
124.7	4.7	3.63	9.81	12.2	2.39
130	5	3.70	9.54	12.81	3.27
147	5	3.29	9.77	12.84	3.07
150	1	0.66	9.8	10.5	0.70
151	5	3.21	9.07	11.44	2.37
151	4	2.58	10.14	11.9	1.76

Fuente: elaboración propia con base a datos experimentales.

Tabla XV. **Prueba de adsorción de grasa en frío fase III**

Peso muestra	Peso grasa agregada	%Grasa	Nirs muestra sin grasa extra	Nirs muestra con grasa extra	Δ Grasa
150	5	3.23	9.16	12.31	3.15
150	3	1.96	8.99	10.93	1.94
151	2	1.31	8.82	10.35	1.53
150	7	4.46	9.32	12.38	3.06
150	6	3.85	9.07	13.6	4.53
150	8	5.06	9.33	12.78	3.45

Fuente: elaboración propia con base a datos experimentales.

Los promedios del laboratorio de control de calidad en cada fase se presentan en la tabla XVI.

Tabla XVI. **Resultados Obtenidos en el Laboratorio de Aseguramiento de Calidad promedio en cada fase**

FASE	DUREZA	ENTEROS	QUEBRADOS	FINOS	NIRS	TM/h
Fase I	86%	90	5%	5%	B	25
Fase II	91%	95	3%	2%	B	26
Fase III	91%	95	3.5%	1.5%	B	27

Fuete: registros del laboratorio de Aseguramiento de la calidad.

Para el producto de camaón se midió la hidroestabilidad y la permeabilidad del pellet los datos presentados en la tabla XVII a tabla IV.

Tabla XVII. **Resultados de pruebas para camarón fase I**

T_{vapi}	P_{vapi}	T_{vapo}	P_{vapo}	T_{vapf}	Hidro- esta- bilidad	Permia- bilidad	%X_o	%X_f	ρ_o	ρ_f
160	2.6	140	0	100	B	R	11.39	15.07	439	462
150	2.6	135	0	96	B	R	11.23	16.22	416	451
160	2.6	140	0	105	B	R	11.81	15.38	437	452
150	2.6	135	0	110	R	R	11.20	13.33	431	468
150	2.6	130	0	112	R	B	11.51	15.84	415	462
160	2.6	130	0	109	R	B	11.17	14.73	427	431
150	2.6	135	0	110	R	R	10.87	13.95	423	432
150	2.6	130	0	100	R	M	10.71	13.58	413	446
150	2.6	130	0	105	R	M	11.12	13.62	415	436
150	2.6	140	0	98	B	B	11.65	16.15	425	452
150	25.6	130	0	100	B	B	11.32	16.05	439	459
150	2.6	140	0	108	B	B	11.65	15.62	423	460
150	2.6	130	0	105	B	M	10.65	14.12	431	457
150	2.6	130	0	110	B	R	11.26	15.25	420	446
150	2.6	130	0	110	B	M	11.05	14.50	429	447
150	2.6	135	0	105	M	R	10.93	14.44	426	459
150	2.6	135	0	100	M	M	10.86	13.86	423	460
150	2.6	135	0	100	B	R	11.26	15.23	428	462
150	2.6	130	0	100	B	R	11.35	14.62	438	453

Continuación Tabla XVII.

T_{vapi}	P_{vapi}	T_{vapo}	P_{vapo}	T_{vapf}	Hidro- esta- bilidad	Permia- bilidad	$\%X_o$	$\%X_f$	ρ_o	ρ_f
150	2.6	130	0	110	B	R	11.15	14.78	429	462
150	2.6	135	0	110	R	B	11.50	14.52	428	462
150	2.6	135	0	100	B	B	10.89	15.86	438	453
150	2.6	130	0	110	R	M	11.30	13.89	429	462
160	2.6	135	0	110	R	R	11.52	14.68	426	451
160	2.6	130	0	105	B	M	11.04	13.75	423	452
160	2.6	130	0	106	B	M	10.98	13.56	431	468
150	2.6	135	0	104	M	M	10.74	13.26	416	462
150	2.6	130	0	100	R	B	11.36	14.05	421	431
150	2.6	130	0	112	B	R	11.45	14.89	430	432
160	2.6	135	0	115	B	M	10.96	14.75	425	446
150	2.6	130	0	110	B	M	11.08	14.26	439	459
150	2.6	130	0	100	R	R	11.26	13.56	420	446
160	2.6	135	0	100	R	B	11.56	14.59	429	447
150	2.6	135	0	105	R	B	11.49	14.38	426	459

Fuente: elaboración propia con base a datos experimentales.

Tabla XVIII. Resultados de pruebas para camarón fase II

T_{vapi}	P_{vapi}	T_{vapo}	P_{vapo}	T_{vapf}	Hidro- esta- bilidad	Permia- Bilidad	%X_o	%X_f	ρ_o	ρ_f
150	2.6	140	2.5	90	B	B	12.30	15.89	435	444
150	2.6	140	2.5	88	B	B	12.15	16.35	436	442
150	2.6	140	2.5	85	B	B	12.26	17.45	437	445
150	2.6	145	2.5	85	R	B	12.36	15.36	440	447
160	2.6	150	2.5	80	R	B	12.45	15.45	432	443
160	2.6	150	2.5	80	B	B	12.35	18.14	437	445
160	2.6	150	2.5	84	B	R	12.12	15.56	429	442
160	2.6	145	2.5	90	B	B	12.14	17.15	431	440
150	2.6	145	2.5	90	B	M	11.86	15.06	437	447
160	2.6	130	2.5	85	B	B	12.36	16.23	436	444
150	2.6	140	2.5	89	B	B	12.16	16.32	430	439
150	2.6	140	2.5	83	R	B	12.25	15.75	433	445
150	2.6	145	2.5	82	B	B	12.37	17.03	429	438
160	2.6	130	2.5	88	R	R	12.16	15.50	435	442
160	2.6	130	2.5	85	B	B	12.20	17.03	433	445
160	2.6	130	2.5	80	R	B	12.26	15.86	429	438
160	25.6	130	2.5	80	B	B	12.14	15.69	427	440
160	2.6	130	2.5	84	R	R	12.15	16.05	431	441
150	2.6	130	2.5	90	B	R	12.09	16.62	436	446
150	2.6	130	2.5	89	B	B	12.45	17.59	430	442
150	2.6	130	2.5	83	B	R	12.36	15.46	435	444
150	2.6	130	2.5	82	B	B	12.26	18.03	436	442

Continuación Tabla XVIII.

T_{vapi}	P_{vapi}	T_{vapo}	P_{vapo}	T_{vapf}	Hidro- esta- bilidad	Permia- bilidad	$\%X_o$	$\%X_f$	ρ_o	ρ_f
150	2.6	130	2.5	81	B	B	12.21	17.16	437	445
160	2.6	130	2.5	85	B	B	12.33	16.88	440	447
160	2.6	130	2.5	80	B	R	12.11	15.52	432	443
160	2.6	130	2.5	80	B	R	12.06	15.49	437	445
160	2.6	130	2.5	84	B	B	12.36	16.59	429	442
160	2.6	130	2.5	90	R	B	12.15	15.89	431	440
150	2.6	130	2.5	90	B	B	12.37	15.65	437	447
150	2.6	130	2.5	89	B	B	12.29	17.16	430	439
150	2.6	130	2.5	85	B	B	12.32	17.32	428	440
150	2.6	130	2.5	80	B	R	12.04	16.98	435	444
150	2.6	130	2.5	80	B	B	12.33	17.13	434	446

Fuente: elaboración propia con base a datos experimentales.

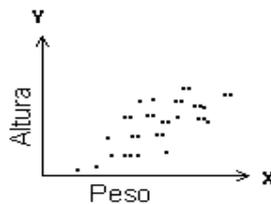
3.8. Análisis estadístico

El objeto de correlacionar dos variables es determinar si hay alguna relación entre las variables que se miden

- Una medida tenga un grado de relación.
- Una ecuación matemática que describa con exactitud esa relación.

Un gráfico para ilustrar los datos es el diagrama de dispersión (figura 25), o nube de puntos

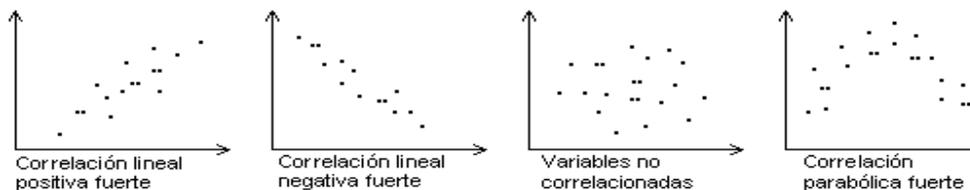
Figura 25. **Diagrama de dispersión, o nube de puntos**



Fuente: Bases Matemáticas y Estadísticas [http:// www.innovanet.com.ar /gis/TELEDETE/TELEDETE/bmatyest.htm](http://www.innovanet.com.ar/gis/TELEDETE/TELEDETE/bmatyest.htm), sp. (11 noviembre 2009)

A una de las variables (por ejemplo la X) se le denomina variable independiente, mientras que a la otra (la Y) se le denomina variable dependiente, ejemplos de correlación se muestran en la figura 26.

Figura 26. **Diferentes tipos de Correlaciones**



Fuente: “Bases Matemáticas y Estadísticas” [http:// www.innovanet.com.ar /gis/TELEDETE/TELEDETE/bmatyest.htm](http://www.innovanet.com.ar/gis/TELEDETE/TELEDETE/bmatyest.htm), sp. (11 noviembre 2009)

- **Coeficiente de correlación lineal**

Es una medida del grado de asociación lineal entre las variables X e Y. Se representa por r :

$$r = \frac{S_{xy}}{s_x \cdot s_y}$$

Ecuación No. 12

Donde s_x , s_y son las desviaciones típicas de las variables X e Y respectivamente, y S_{xy} es la covarianza muestral de X e Y , que se define como la media de los productos de las desviaciones correspondientes de X e Y y de sus medias muestrales.

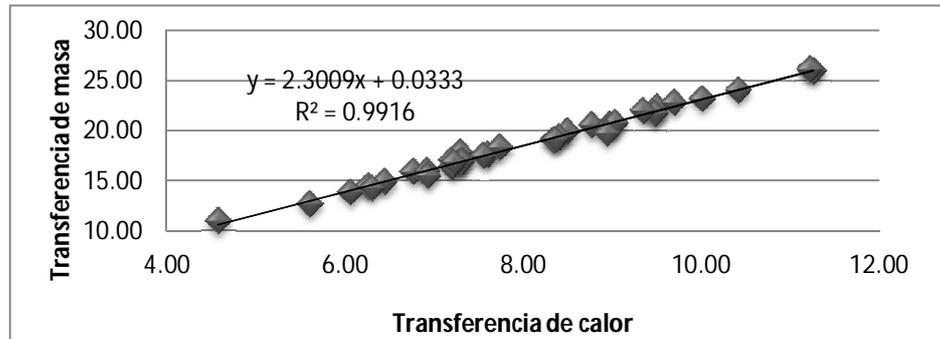
Propiedades

- r está siempre comprendido entre -1 y 1 .
- Si $r = 1$ ó $r = -1$ entonces los puntos de la muestra están situados en línea recta (correlación lineal perfecta).
- Si r está próximo a 1 ó a -1 , habrá una asociación lineal fuerte entre ambas variables.
- Si r es cercano a 0 , habrá una asociación lineal muy débil.
- r no varía cuando en las variables se realiza un cambio de escala o de origen. Esto demuestra que r no tiene dimensión.

Dos consideraciones sobre el coeficiente de correlación. Se trata de una medida matemática que luego hay que interpretar. Aunque un alto grado de correlación indique buena aproximación a un modelo matemático lineal, su interpretación puede no tener ningún sentido.

Aunque el grado de correlación sea cercano a cero (pobre aproximación al modelo lineal) eso no significa que no haya relación entre las dos variables. Puede ser que dicha relación sea no lineal ver figura 27.

Figura 27. **Correlación lineal de transferencia de masa y calor**



Fuente: elaboración propia en base a tablas X y XI.

- **Media aritmética**

Es la suma de los productos de los posibles valores que tome la variable x_i , entre el número de valores que esa variable contenga.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x$$

Ecuación No. 13

Se utiliza media aritmética para la transferencia de masa y calor, humedades en cada fase, a diferentes presiones como se muestra en las tablas de la XIX a la XXI.

Tabla XIX. **Media aritmética de transferencia de masa y calor, humedades finales en fase I a diferentes presiones**

Presión	Calor	Humedad	Masa
1.2	8.40	15.48	20.02
1.5	8.60	15.59	19.84
1.7	8.65	15.38	19.96
1.8	9.10	14.90	21.30
1.9	9.48	16.15	21.65
2	8.14	15.41	18.84
2.4	6.26	14.93	14.45
2.5	8.70	15.46	19.87
2.6	8.95	15.29	19.71
2.9	7.20	15.56	16.36
3	6.34	15.17	14.52
3.5	6.62	14.84	14.84

Fuente: elaboración propia en base tabla IV.

Tabla XX. **Media aritmética Transferencia de masa, humedad final en fase II a diferentes presiones**

PRESIÓN	HUMEDAD	MASA
1	14.94	20.82
1.2	14.52	17.60
1.3	14.94	18.46
1.4	15.18	19.94
1.5	15.3	17.93

Continuación tabla XX.

PRESIÓN	HUMEDAD	MASA
1.6	15.49	20.6
1.7	15.04	21.72
2	15.25	19.9
2.1	14.51	11.97
2.2	14.8	17.76

Fuente: elaboración propia en base tabla IV.

Tabla XXI. **Media aritmética Transferencia de masa, humedad final en fase III a diferentes presiones**

PRESIÓN	HUMEDAD	MASA
1.2	14.65	17.47
1.3	15.93	25.77
1.4	15.25	23.77
1.5	15.43	21.44
1.6	15.89	22.45
1.7	16.08	25.51
2	16.15	28.87

Fuente: elaboración propia en base a tabla IV.

Se realizó una desviación estándar con la transferencia de masa que se obtuvo en la última fase con respecto a la teórica.

Basado en una muestra de una población, cuál de dos hipótesis complementarias es cierta.

Tipo de prueba

Pruebas de hipótesis de 2 extremos o bilaterales, es una prueba en la que H_0 se rechaza si el valor de la muestra es significativamente mayor o menor que el valor hipotetizado del parámetro de población. Esta prueba involucra dos regiones de rechazo.

Figura 28. **Análisis estadístico de hipótesis con dos regiones de rechazo**



Fuente: guiasestadisticapituloIV I 4.Prueba de Hipótesis <http://www.cesma.usb.ve/~giselle/FC1623/guiaestiicapituloIV.prn.pdf>. (15 de noviembre 2009)

Pasos Generales

- Establecer las hipótesis correspondientes y el nivel de significancia.
- Calcular la medida de discrepancia o estadístico de muestra.
- Buscar el valor del percentil, de la distribución encontrada en 2 colas.
- Compare los valores, tomar la decisión e interpretar los resultados.

Se utilizó pruebas de hipótesis para media aritmética para esto, primero se calculó la desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X})^2}{n-1}} \quad \text{Ecuación No. 14}$$

$\sigma =$ conocida

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} ; \quad \text{Ecuación No. 15}$$

$$Z_{prueba} = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\sigma_{\bar{X}}}, \quad \text{Ecuación No. 16}$$

$\sigma =$ desconocida

$$\hat{\sigma} = \frac{s}{\sqrt{n}} ; \quad \text{Ecuación No. 17}$$

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} ; \quad \text{Ecuación No. 18}$$

$$Z_{prueba} = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\hat{\sigma}_{\bar{X}}} ; \quad \text{Ecuación No. 19}$$

$$t_{prueba} = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\hat{\sigma}_{\bar{X}}} \quad \text{Ecuación No. 20}$$

Las pruebas se utilizaron por el tamaño de la muestra, la transferencia de masa máxima para 30 TM/h con 36% de almidones, donde se necesita gelatinizar el 37% de los almidones, en promedio la gelatinización aumenta un 3% la humedad y con un 75% de eficiencia.

$$m_{vapmax} = 30000 \text{kg/h} * 0.36 * 0.37 * 0.03 / 3600 \text{s} * 1000 * 0.75 = 24.975 \text{g}$$

Para que exista una adecuada gelatinización es necesario transmitir 24.97 g de masa en el termo-acondicionador en las muestras obtenidas. Para fase I se obtuvo más de 30 datos y σ es desconocida; $\bar{X} = 19.35$, $s = 4.5$, $n = 41$, $\alpha = \pm 0.025$, $\mu_0 = 24.97 \text{g}$; por lo que $\sigma_{\bar{X}} = \frac{4.5}{\sqrt{41}} = 0.7$, $Z_{prueba} = \frac{19.35 - 24.97}{0.7} = -6.32$; $Z_{(0.975)} = \pm 1.96$

La transferencia de masa no es la correcta ya que esta fuera de los límites de confianza. Para fase III se obtuvo con σ desconocida y población menor a 30 datos; $\bar{X} = 23.94$, $s = 4.72$, $n = 26$, $\alpha = \pm 0.025$, $\mu_0 = 24.97g$; por lo que $\sigma_{\bar{X}} = \frac{4.72}{\sqrt{26}} = 0.93$, $t_{prueba} = \frac{23.94-24.97}{0.93} = -1.1075$

$t_{(26)} = \pm 2.0595$, el dato obtenido se encuentra dentro de los límites de confianza por lo que llegó a una transferencia de masa adecuada para el sistema.

3. RESULTADOS

Tabla XXII. **Las condiciones de operación del peletizado para pollo**

PARÁMETRO DE CONTROL	INICIALES	FINALES
Temperatura de vapor	130 °C≤	140°C≤
Presión de vapor	1-3.5 Bar	1-2 Bar
Tiempo de Retención	29 s	40 s
Temperatura a la salida del termo-acondicionador.	75 °C≤	82 °C≤
Grasa agregada después del dado	0%	3%

Fuente: elaboración propia en base a la sección 3.7. Tabulación y procesamiento de la información.

Tabla XXIII. **Las condiciones de operación del peletizado para camarón**

PARÁMETRO DE CONTROL	INICIALES	FINALES
Temperatura de vapor directo	130 °C≤	140°C≤
Presión de vapor directo	0 Bar	2.5 Bar
Temperatura de vapor indirecto	2.6 Bar	2.6 Bar
Presión de vapor indirecto	150°C≤	150°C≤
Temperatura a la salida del termo-acondicionador.	100- 110°C	80-90°C

Fuente: elaboración propia en base a la sección 3.7. Tabulación y procesamiento de la información.

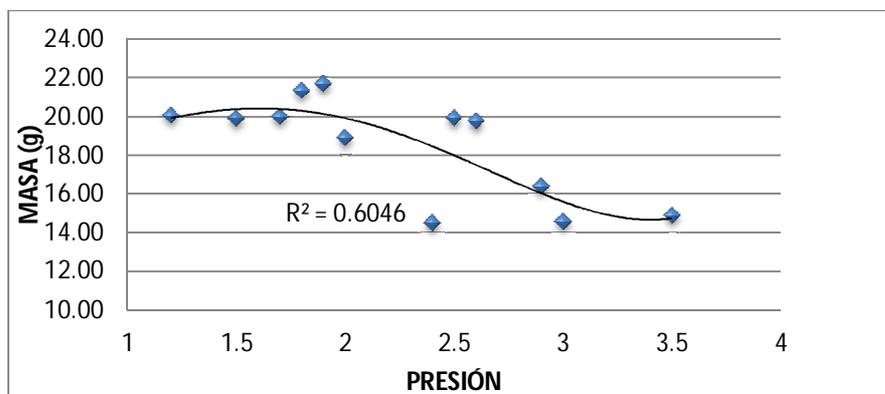
4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Las industrias de alimentos balanceados se encuentran en constante cambio, implementan nuevas tecnologías y brindar un producto de calidad.

En esta industria de alimentación balanceada se trabaja con dos tipos de peletizadoras, en las cuales se evalúan los parámetros de trabajo iniciales termo-acondicionadores de las máquinas, lo que consisten en la fase I, ya que estos son muy variados y no se encontraban establecidos; por estas razones no se tenía un producto de calidad constante en el proceso.

Primero se interpreta los resultados obtenidos el alimento balanceado para pollo ya que este constituye tres fases la primera como ya se mencionó fue la evaluación del termo-acondicionador, donde se determinó que las condiciones que se de la transferencia de masa y calor el termo-acondicionador de la peletizadora (figura 29).

Figura 29. Masa vs Presión en media aritmética fase I



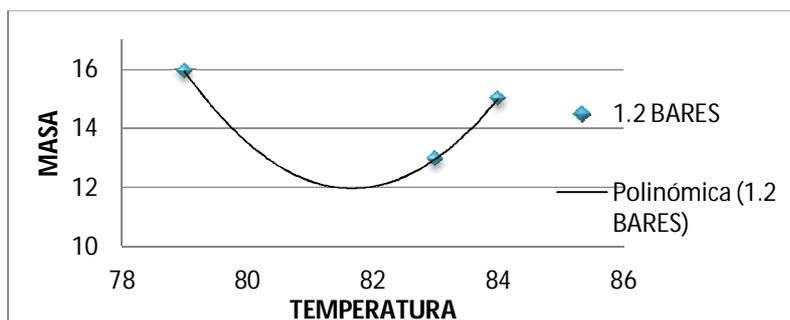
Fuente: elaboración propia en base a tabla XXV.

Se puede observar claramente que la transferencia de masa disminuye cuando aumenta la presión y que la presión máxima que se utilizaba era de 3.5 Bares, los cuales estaban por encima de lo recomendado.

Esto se debe a que, para que se proporcione la gelatinización de los almidones es necesario que exista un equilibrio entre la transferencia de calor y masa; al entrar el vapor muy seco este únicamente realiza la lixiviación del almidón pero no permite que se produzca con éxito la peptización. Con los datos obtenidos se realizaron graficas a diferentes presiones para poder observar más de cerca el comportamiento de la transferencia de masa vs temperatura para poder tomar una decisión sobre el parámetro de presión de vapor a la entrada del termo-acondicionador.

Se puede determinar los valores de transferencia de masa que había en cada presión y que temperaturas favorecían a dicha transferencia.

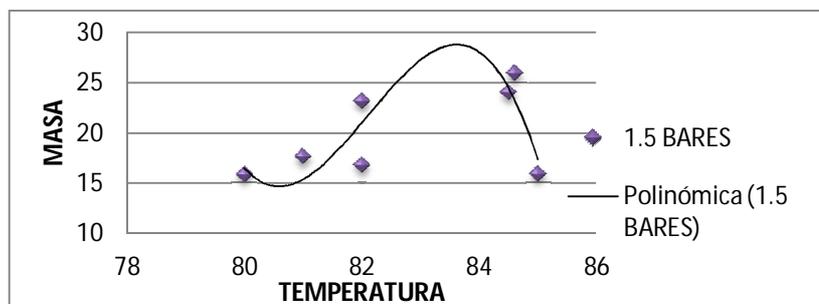
Figura 30. **Masa vs Temperatura a 1.2 Bares**



Fuente: elaboración propia en base a tabla IX.

Aquí se puede ver que la transferencia de masa, que se produce como mínimo a 1.2 Bares es mayor a 12g/l y la máxima fue de 16g/l a 79°C (figura 30).

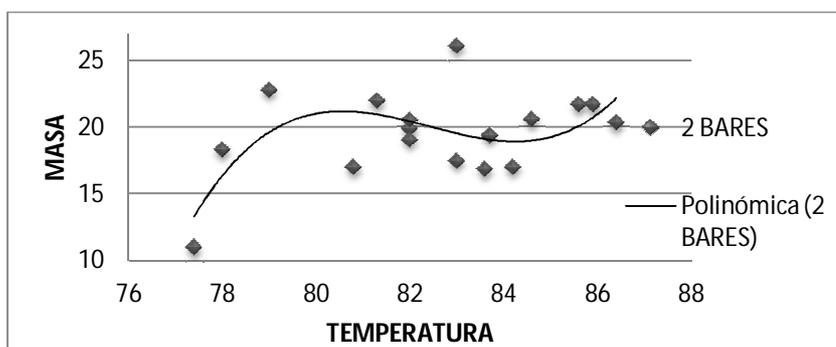
Figura 31. **Masa vs Temperatura a 1.5 Bares**



Fuente: elaboración propia en base tabla IX.

Con la figura 31, se determinó que el mínimo de vapor transferido a 1.5 Bares es de 15g/l y la mayor transferencia masa se encuentra en 85° C con 25 g/l.

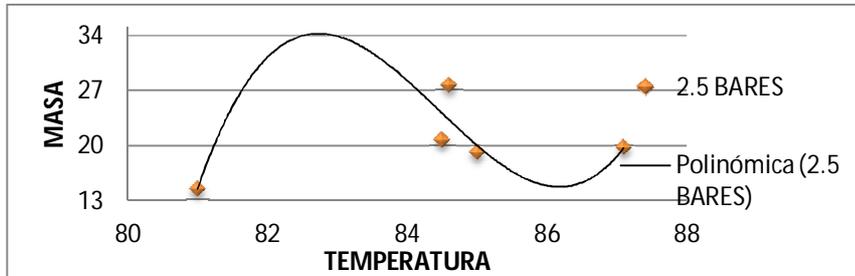
Figura 32. **Masa vs Temperatura a 2 Bares**



Fuente: elaboración propia en base a tabla IX.

A 2 Bares de presión la transferencia de masa se comportó más constante, la mayoría de ésta fue arriba de los 16 g/l y la máxima arriba de los 25 g/l, con una temperatura de 82°C (figura 32).

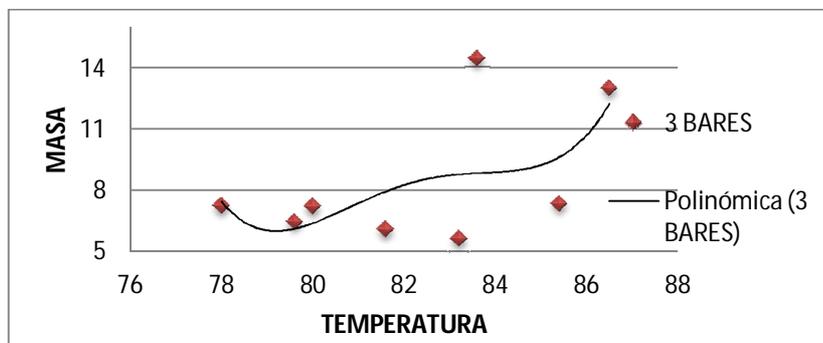
Figura 33. **Masa vs Temperatura 2.5 Bares**



Fuente: elaboración propia en base a tabla IX.

Con la figura 33, se observó que a 2.5 Bares, la masa mínima es mayor a 13 g/l y la máxima fue arriba de los 27 g/l a una temperatura de 84°C.

Figura 34. **Masa vs Temperatura a 3 Bares**



Fuente: elaboración propia en base a tabla IX.

Por último en la figura 34, se vio claramente que la transferencia de masa a 3 Bares de presión fue menor en su mayoría de 8 g/l y su máxima solo sobrepasó los 14 g/l a 84°C.

Al presentarse estas gráficas de los parámetros iniciales se determinó que las presiones a las que se debe utilizar se encontraron en el rango 1- 2.2 Bares, para que la transferencia de masa esté arriba de 12 g/l peletizado de harina.

Se realizó una correlación del fenómeno de transferencia de masa vs transferencia de calor para comprender más a fondo el comportamiento de la lixiviación de los almidones y su peptización dentro del termo-acondicionador.

Con la correlación lineal de 0.999 se demostró que el comportamiento del termo-acondicionado tiene relación directa positiva entre la transferencia de masa y de calor. Para las siguientes etapas solamente se calculó la transferencia de masa; ya que la relación es directamente proporcional.

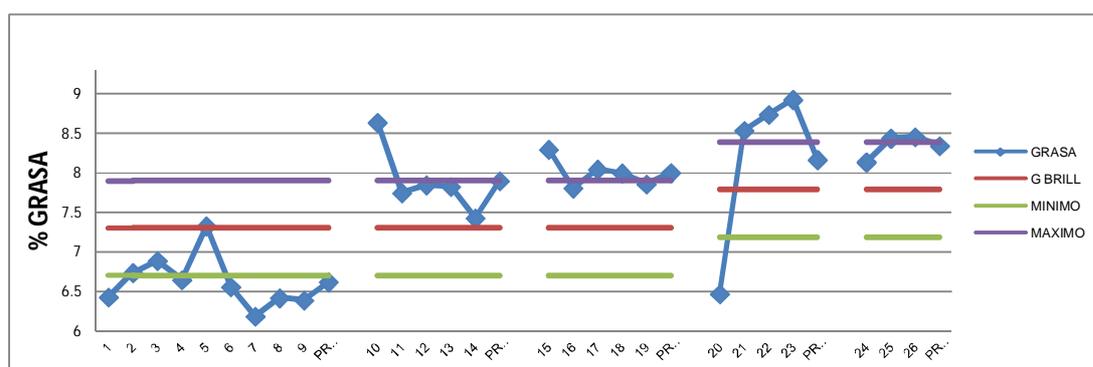
Se realizó un análisis de hipótesis donde se comprobó que la transferencia de masa está fuera de los límites de confianza y dejando claro que el promedio de 19.35 está muy por debajo del teórico de 24.97.

En la segunda etapa, en el laboratorio de aseguramiento de calidad se subió el rango de las durezas a 90% mínimo, provocando una caída de 5 TM/h en la producción, lo que forzó la implementación del uso del rociador de grasa para disminuir la grasa interna de la harina, debido a que la grasa no ayuda a la lixiviación de los almidones y a la cristalización de los enlaces. Por medio de la implementación del rociador de grasa se logró la adsorción de la grasa por el pellet a la salida del dado.

Se realizaron pruebas de adsorción de grasa para la automatización de las boquillas, por lo que se obtuvo la grasa que se deseaba, según la fórmula. A

continuación advirtió el comportamiento de la calibración del rociador de grasa (figura 35).

Figura 35. **Calibración del rociador de grasa para elaboración del producto para pollo.**



Fuente: elaboración propia en base a tablas XI a la XV.

Luego se colocó un variador de frecuencia y junto con el departamento de mantenimiento se hicieron ajustes en las paletas del termo-acondicionado, para tener el mínimo tiempo de retención de 39 s; para ello se hicieron diferentes pruebas, con las cuales obtuvo los siguientes resultados en el promedio de durezas del producto y las toneladas por hora promedio semanalmente aumentaron a 26 TM/h con una dureza 90%. Para las variaciones de las paletas, el termo-acondicionador fue dividido en tres partes, con los ángulos de -10° , 0° , 0° ; dando un tiempo de retención de 40 s, con lo que se asegura un mejoramiento en la transferencia de calor y masa.

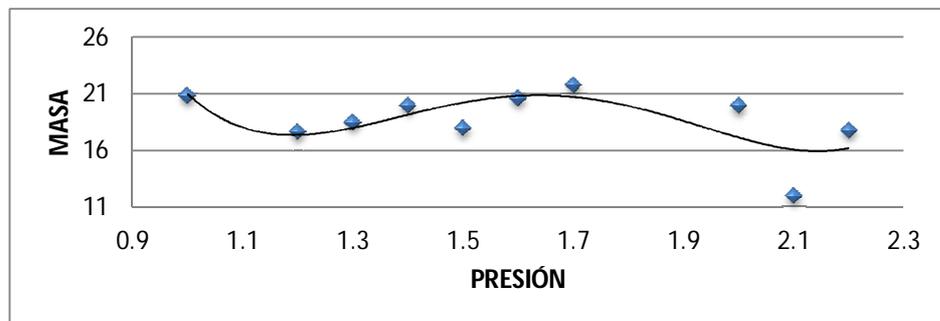
Por lo que se observó claramente que a mayor tiempo de retención en el termo-acondicionador se mejoró la gelatinización que se produce en él, ayudó a la

prensa granuladora, la gelatinización sirvió como lubricante y permitió que el pellet pase más fácilmente en el dado.

Con estos parámetros se puede producir hasta 28 T/h sin bajar del 90% de dureza, pero al observar el desempeño de la máquina en estos parámetros, se encontró con el problema del suministro de vapor, ya que la válvula de vapor llega a la abertura máxima; con fórmulas que pueden aumentar su rendimiento de producción.

En las pruebas realizadas durante la segunda etapa del proyecto la grasa máxima agregada por el rociador fue del 2%. En esta fase, la transferencia de masa respecto a cada presión tuvo un comportamiento como se muestra en la figura 36.

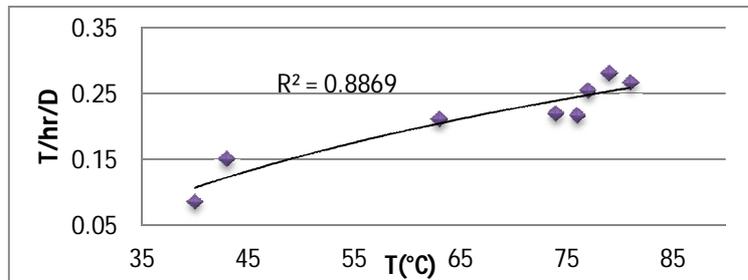
Figura 36. **Masa vs Presión en media aritmética fase II**



Fuente: elaboración propia en base a tabla XXVI.

En la fase final del proyecto se evaluó la curva de arranque para la cual se encontraba en un principio en 20 minutos para determinar si este tiempo se redujo (figura 37).

Figura 37. **Curva de arranque de la peletización de pollo**



Fuente: elaboración propia en base a tabla XIII.

T/hr/D = Toneladas por hora dividido entre durabilidad obtenida

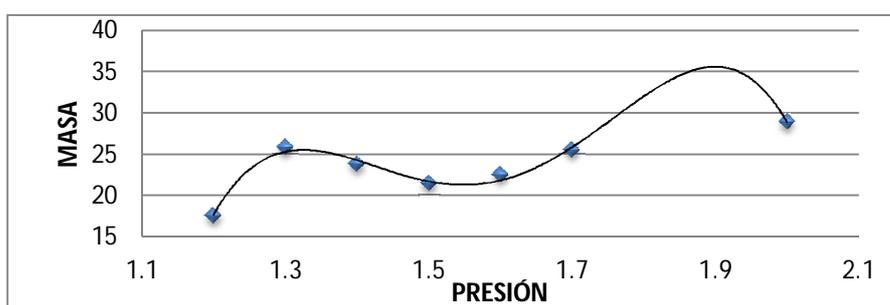
Como las muestras se tomaron cada 3 minutos se pudo observar que después de los 9 minutos, la curva se estableció dando una tendencia logarítmica, antes se lograba en 20 minutos, esto se debe a la mejora del tiempo de retención, al tener una mayor transferencia de masa en el termo-acondicionador ya no se forma condensación de agua en la prensa granuladora y los rodillos funcionan adecuadamente.

Para tratar de mejorar el abastecimiento de vapor de agua en el termo-acondicionador el departamento de mantenimiento, se encargó de subir la presión de vapor a la caldera, con lo que se notó un cambio, obteniendo temperaturas de hasta 148°C a 1.5 Bares.

En formulación, se subió el porcentaje de grasa rociado por fuera del pellet a 3%; Se realizó una prueba a 3.5% de grasa, pero el pellet no lo adsorbó como se debía y ensució el resto del proceso. Con todos estos cambios se obtuvo un rendimiento mayor a las 30 TM/h y en los parámetros de aseguramiento de control de calidad, las humedades se encuentran de 15-16.5 y durezas arriba del 90%.

En esta última fase la transferencia de masa con respecto a la temperatura tuvo un comportamiento moderado, como se muestra en la figura 38.

Figura 38. **Masa vs Presión en media aritmética fase III**



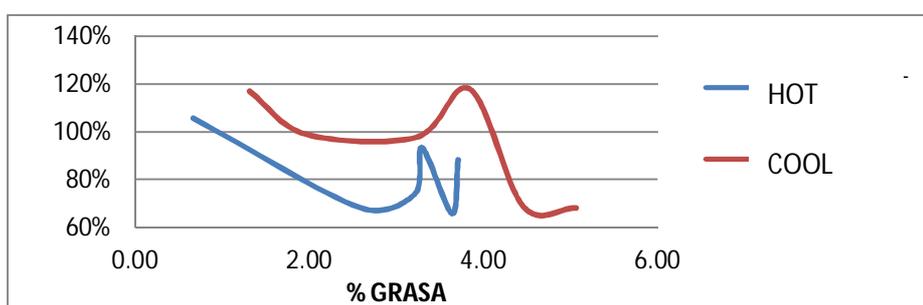
Fuente: elaboración propia en base a tabla XXVII.

Se observó que la transferencia de masa con su comportamiento moderado se estabilizó con respecto a las fases anteriormente evaluadas. A esta fase se le realizó una prueba de hipótesis de medias para comprobar que se llegó al objetivo propuesto, ya que la media experimental de 23.95 fue aceptable con respecto al dato teórico de 24.97; el nivel de confianza fue de 95%.

Con el propósito de seguir mejorando el proceso del peletizado, se tiene en planificado la implementación de un tambor rociador para llegar al mínimo la grasa interna del producto y que su mayoría se adhiera por adsorción. Se realizó una prueba para ver el comportamiento de la grasa en la adsorción de más 3%, esta prueba se llevó a cabo después del dado y del enfriador para observar la adsorción de la grasa en frío y en caliente. Se advierte en la figura 39 el mejor comportamiento se obtuvo en frío, esto se debió a que en caliente la quimisorción

ha culminado y solo se da la fisisorción; en cambio cuando el pellet se enfría surge un reacomodamiento de las moléculas y permite dejar espacios sin que exista quimisorción, de esta manera se nota el proceso fisicoquímico .

Figura 39. **Adsorción de grasa en frío y caliente en pellet de pollo.**



Fuente: elaboración propia en base a tablas XX y XXI.

Para la producción de camarón solo se observaron los parámetros iniciales de las maquinarias y se observó que en la mayor parte de producción se da correctamente sobre todo la esterilización del producto; pero el problema se daba en la hidroestabilidad y permeabilidad del producto, ya que el mismo no duraba el tiempo deseado en el agua. Por esta razón se realizaron los cambios en los parámetros de control del producto de camarón, ver la tabla XXIV.

No se realizaron pruebas estadísticas, ya que el producto de camarón se compacta por la lixiviación de los almidones y la cristalización de la melaza; por lo que no hay problemas de compactación. Los cambios al proceso si mejoraron la hidroestabilidad y permeabilidad, ya que son pruebas cualitativas y no cuantitativas.

Tabla XXIV. **Parámetros de control en camarón**

PARÁMETRO DE CONTROL	INICIALES	FINALES
Temperatura de vapor directo	130°C≤	140°C≤
Presión de vapor directo	0 Bar	2.5 Bar
Temperatura de vapor indirecto	2.6 Bar	2.6 Bar
Presión de vapor indirecto	150°C≤	150°C≤
Temperatura a la salida del termo-acondicionador.	100- 110°C	80-90°C

Fuente: elaboración propia con base a datos experimentales.

En estos equipos no se elaboraron mayores cambios, debido que su tecnología es más reciente. Las peletizadoras utilizadas para la fabricación de camaón cuentan con tres termos-acondicionadores para tener un mayor tiempo de retención y están enchaquetados para proporcionar una mayor transferencia de calor.

6. LOGROS OBTENIDOS

1. Se establecieron los parámetros de temperatura, presión de entrada del vapor de agua al termo-acondicionador y la temperatura de salida para que las harinas, mejora la obtención de la humedad, estando ahora en rangos de 15 -16.5% de humedad.
2. Producción más constante por la mejora de la transferencia de masa en el termo-acondicionador debido al tiempo de retención de 40 s.
3. Se mejoraron los parámetros del laboratorio de aseguramiento de la calidad y productividad.

CONCLUSIONES

1. Se determinaron los parámetros del termo-acondicionador estándar de 89m² para el producto de pollo con lo que se tiene una mayor producción y un producto de calidad; como también los parámetros operacionales para una peletizadora de tres termo acondicionadores enchaquetados para la obtención de una mayor eficiencia de la máquina y un producto de calidad.
2. El tiempo de retención del termo-acondicionador debe de ser de 40s para obtener una adecuada transferencia de masa, con lo que se mejora el funcionamiento de la maquinaria y la obtención de un producto de calidad
3. Se determinó un 15.5% de humedad promedio, para mantener los niveles de operación de la maquinaria y de producción.
4. Para que exista una adecuada transferencia de masa y calor la maquinaria debe de trabajar con presiones de 1 a 2 Bares y $\leq 140^{\circ}$ C.
5. La máquina con temperaturas de salida del termo-acondicionador mayores de 83° C, no se cumple debido que el suministro de vapor que se tiene es insuficiente.
6. Para el producto de Camarón el vapor directo debe entrar $\leq 140^{\circ}$ C y a una presión de 2.6 Bares y la temperatura a salida del termo-acondicionador debe estar en un rango de 80-90° C

RECOMENDACIONES

1. Mejorar la productividad del equipo y la implementación de un pre-acondicionamiento para alargar el tiempo de retención de las harinas y aumentar las revoluciones por minuto (Hz) en el termo-acondicionador para que la capacidad de llenado aumente.
2. Otra implementación que se puede realizar es el enchaquetamiento del termo-acondicionador para asegurar la esterilización del producto y de esta forma ayudar a la transferencia de calor por vapor. Al obtener temperaturas de salida del termo-acondicionador arriba de 83°C, se puede aplicar agua en la mezcladora y esta ayudaría al suministro de vapor que se insuficiente.
3. Para proporcionar un producto de calidad y que asegure una buena digestión del alimento balanceado, es importante hacer uso del viscosímetro con la tecnología RVA, el cual determina el cocimiento de las harinas.

BIBLIOGRAFÍA

1. *Alimentos tratados por calor* [en línea]. Fundación Eroskis, Eroskis consumer, 26 de septiembre 2006 [ref. 13 de octubre de 2009]. Disponible en Web: <<http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/sociedad-y-consumo/2003/09/26/8513.php>>.
2. *Almidón* [en línea]. enciclo@listas.us.es, Enciclopedia libre universal en español, 22 de enero 2008 [ref. 17 de octubre de 2009]. Disponible en Web: <<http://enciclopedia.us.es/index.php/Almid%C3%B3n#Gelatinizaci.C3.B3n>>.
3. ALVAREZ VINAJERAS, Giselle. *Guía estadística capítulo IV* [en línea]. CESMa. Estadística II, Carreras de administración hotelera. Abril a julio 2005 [ref. 25 de octubre de 2009]. Disponible en Web: <<http://www.cesma.usb.ve/~giselle/FC1623/guiaestiicapituloIV.prn.pdf>>.
4. BEHNKE, Keith. *Pelletizado mitos vs realidad*. Informe irédito. Manhattan, KS: Kansas State University, 2006. p. 1 - 52.
5. _____. *Productivity parameters used pellet vs. Mash feeds*. Informe irédito. Manhattan, KS: Department Gaint Science & Industry, Kansas State University, 2001. p. 1- 18.

6. _____. *The art (science) of pelleting*. Informe irédito. Manhattan, KS: Department Gaint Science & Industry, Kansas State University, 2005. p. 1 - 7.
7. BETANCOURT GRAJALES, Ramiro. *Transferencia molecular de calor masa y cantidad de movimiento* [en línea]. Ferómenos de transferencia. Universidad Virtual [ref. 26 de octubre de 2009]. p. 71 – 174. Disponible en Web: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4090013/Links/PDF/cap_2.pdf>.
8. *Coloide* [en línea]. Textos científicos.com, 19 de septiembre 2005 [ref. 23 de octubre de 2009]. Disponible en Web: <<http://www.textoscientificos.com/quimica/coloide>>.
9. *Equipo dosificación reengrase matriz granulación fat spray* [en línea]. MANGRA, S.A. [ref. 14 de noviembre de 2010]. Disponible en Web: <<http://www.mangrasa.com/Castella/fatspray/fatspray.htm>>.
10. FIGUEROA, Mario. *Proyecto de empresa de planta peletizadora de alimento para langostinos* [en línea]. Mayo, 2009 [ref. 15 de octubre de 2009]. Disponible en Web: <www.bidnetwork.org/page/124294/en?lang=es>.
11. *Foro preacondicionamiento antes de peletizado* [en línea]. Engormix.com, 27 de octubre 2005 [ref. 13 de octubre de 2009]. Disponible en Web: <http://www.engormix.com/preacondicionamiento_antes_peletizado_forumsvi7663.htm>.

12. *Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal*. Tasa de gelatinización del almidón [en línea]. Normas Fedna especificación técnica de análisis, julio del 2000 [ref. 22 de octubre de 2009]. Disponible en Web: <<http://www1.etsia.upm.es/fedna/analisis/ana61x.htm>>
13. *Gelación: transición sol líquido polimérico a estado de gel sólido* [en línea]. Geles. Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero, 2008 [ref. 16 de octubre de 2009]. Disponible en Web: <http://faa.unse.edu.ar/document/apuntes/fisica3/5Geles_alimentarios.ppt>.
14. IZARIETA, Macarena. *11a análisis proximal en harinas de pescado*. Depósitos de documentos de la FAO, [ref. 23 de octubre de 2009]. Disponible en Web: <<http://www.fao.org/docrep/field/003/ab482s/ab482s12.htm>>.
15. LAIDLER, Keith; MEISER, John. *Fisicoquímica*. Ortega, María (trad.); Ruiz, Lena (rev. tec). México: Continental. 1997. 987 p. ISBN 968-26-1309-4.
16. MAIER, Dirk. *Curso de manufactura de alimentos*. Informe inédito. San José, Costa Rica: RAPCO, 2006. p. 1 – 12.

17. QUEZADA, Celerino. *Aplicación de la espectroscopia de reflectancia infrarojo cercano (NIRS) en el análisis de suelo*, Ciencia... Ahora [en línea]. Marzo a septiembre 2008, no 21 [ref. 20 de octubre de 2009], p. 77 - 85. Disponible en Web: <<http://www.ciencia-ahora.cl/Revista21/12EspectroscopiaReflectancia.pdf>>.

18. *Tratamiento térmico en la industria de la alimentación* [en línea]. HRS spiratube, S.L., 2010 [ref. 7 de marzo de 2010]. Disponible en Web: <<http://www.hrs-spiratube.com/es/recursos/tratamiento-termico-industria-alimentacion-1-2.php>>.

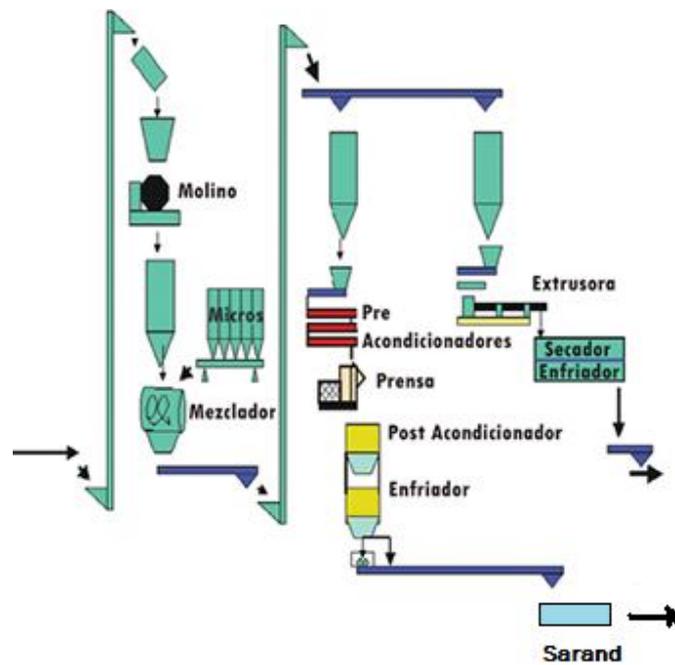
APÉNDICE

Material didáctico

- Libros
- Internet
- Computadora

Sistema de computación gestión y brill para la información del contenido de almidón de las fórmulas

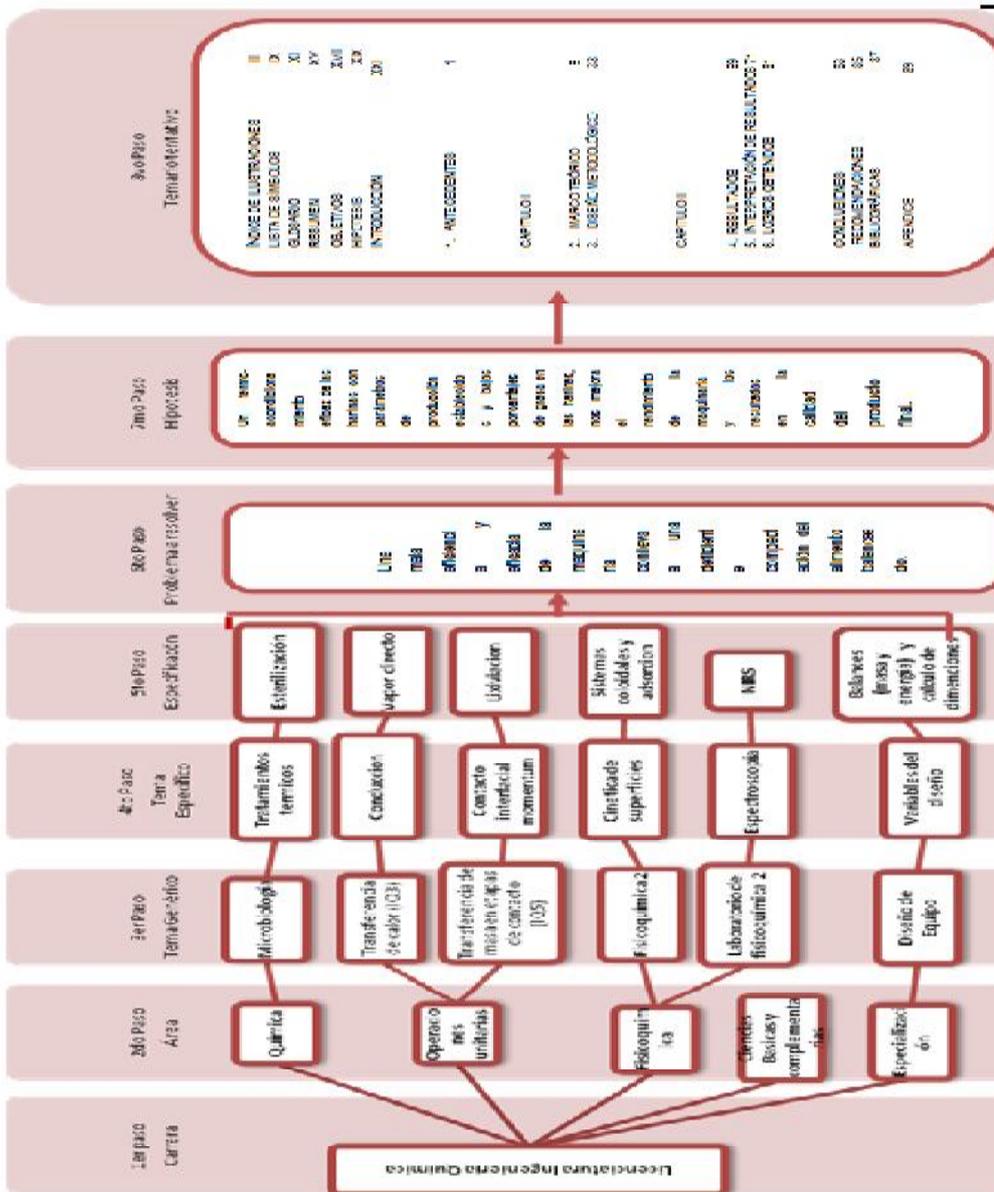
Flujograma de una planta de alimentos balanceados



Fuente: elaboración propia.

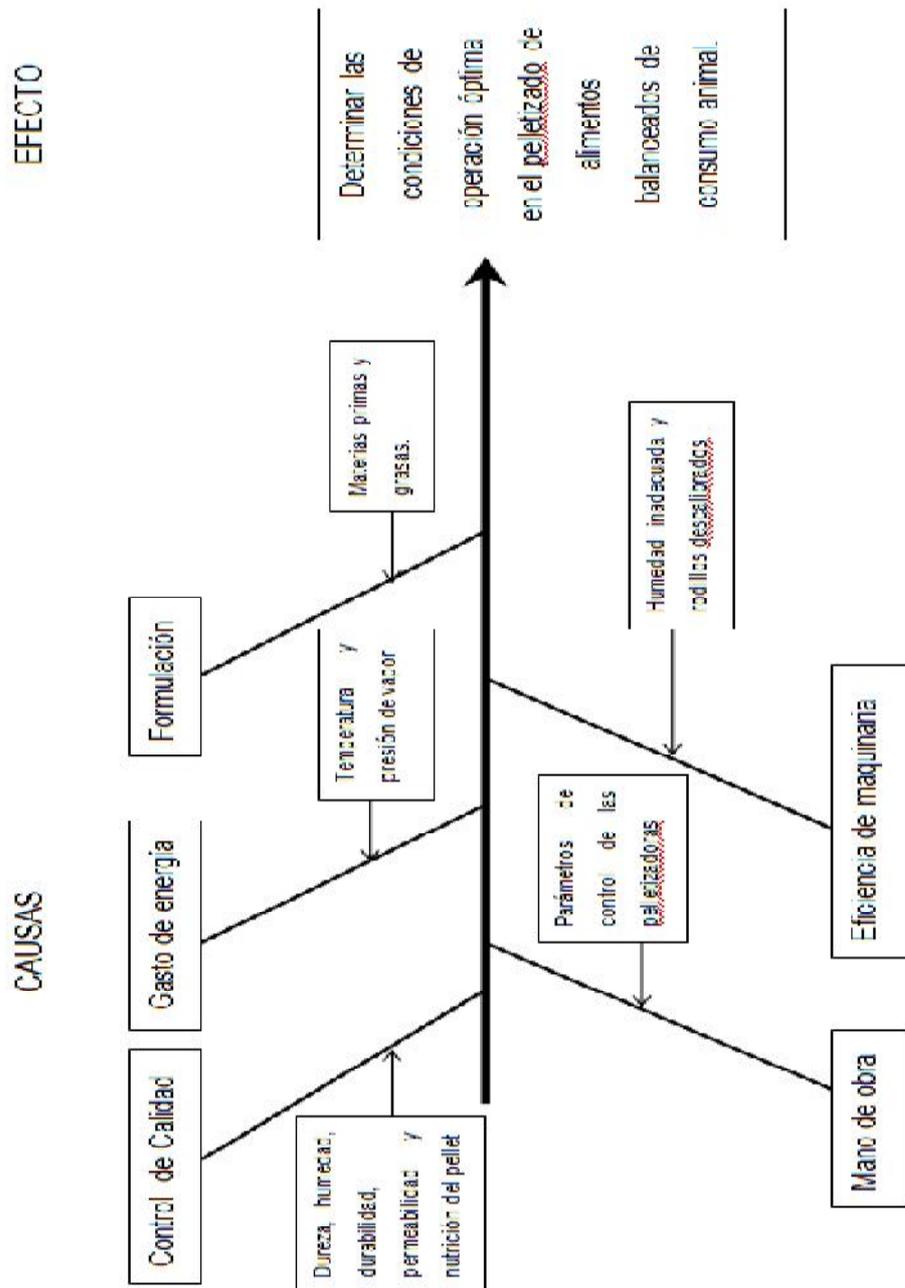
Tabla de requisitos académicos.

Estudio técnico a nivel de planta para la eficiencia y eficacia de las peletizadoras, proporcionando un producto de calidad, en la planta de alimentos balanceados en la autopista puerto getzsal 80 km.



Fuente: elaboración propia.

Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.