

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SECADOR ROTATIVO DIRECTO
CILÍNDRICO PARA POLLINAZA**

**YESID JAVIER RUEDA ORDÓÑEZ
DIEGO ÁNDRES RUEDA ORDÓÑEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2.009

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SECADOR ROTATIVO DIRECTO
CILÍNDRICO PARA POLLINAZA**

**YESID JAVIER RUEDA ORDÓÑEZ
DIEGO ÁNDRES RUEDA ORDÓÑEZ**

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

Director

OMAR ARMANDO GELVEZ AROCHA

Ingeniero Mecánico

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2.009

DEDICATORIA

A mis padres María y Diego por su comprensión y apoyo en los momentos difíciles, por su confianza en mi.

A mi hermano Diego por su compañía y gran aporte en el desarrollo de este trabajo y durante toda mi carrera.

A mis hermanos Carol Y Román por su apoyo moral.

A mis amigos que nunca me defraudaron y siempre estuvieron en los momentos buenos y malos.

Yesid Javier Rueda Ordóñez

DEDICATORIA

A mis padres Luzmila y Diego y mis hermanos Carol, Roman y Yesid que en todo momento me apoyaron y creyeron en mi con paciencia y con esfuerzo, a Andrea y Ana María por su compañía y su buenos deseos de progreso hacia mi, a mis amigos y compañeros por sus palabras y su compañía, a Dios por hacer realidad una meta mas en mi vida.

Diego Andrés Rueda

AGRADECIMIENTOS

A Omar Gélvez Arocha, director del proyecto y amigo, por su paciencia, respaldo y colaboración.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. OBJETIVOS	3
1.1. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO	3
1.1.1. Objetivo general	3
1.1.2. Objetivos específicos	3
2. PROPUESTA PARA EL PROCESAMIENTO DE LA POLLINAZA	5
2.1. EFECTOS DEL SECADO EN LA POLLINAZA	7
2.2. COMPARACION ENTRE EL SECADO NATURAL Y EL SECADO ARTIFICIAL DE LA POLLINAZA	8
3. GENERALIDADES DEL SECADO	9
3.1. PRINCIPIOS DEL SECADO	9
3.1.1 Definición del secado	10
3.2. OPERACIONES DE SECADO	12
3.3. PROCESOS DE SECADO ARTIFICIAL	13
3.3.1. Tipos de secadores	14
3.3.2. Factores de comparación entre secadores directos e indirectos	15
3.4. SELECCIÓN GENERAL DEL TIPO DE SECADOR PARA LA POLLINAZA	16
3.4.1. Tipos de secadores directos continuos para sólidos	16

	pág.
3.4.2. Secadores de bandejas	16
3.4.3. Secadores de lecho fluidizado	16
3.4.4. Secadores de circulación a través del material	18
3.4.5. Secadores de transporte neumático	19
3.4.6. Secadores rotatorios	19
3.5. FACTORES COMPARATIVOS DE LOS SECADORES DIRECTOS CONTINUOS PARA POLLINAZA	22
3.6. SELECCIÓN FINAL DEL SECADOR CONTINUO DIRECTO	23
4. CÁLCULO Y DISEÑO DEL SECADOR ROTATIVO DIRECTO CILINDRICO PARA POLLINAZA	24
4.1. DETERMINACIÓN DEL CALOR ESPECÍFICO	24
4.2. MEDIDA DE LA HUMEDAD DE LA POLLINAZA	28
4.2.1. Cálculo De la rata de humedad a retirar de la pollinaza por el secador	31
4.3. COMBUSTION TEORICA DEL PROPANO	33
4.4. BALANCE DE ENERGIA Y MATERIA	35
4.5. MEZCLA Y CANTIDADES DE AIRE – GASES DE COMBUSTION.	39
4.6. DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD DEL SECADOR	41
4.6.1. Cálculo de las unidades de transferencia	43
4.7. DISEÑO DE LAS ALETAS.	48
4.8. POTENCIA CONSUMIDA POR EL SECADOR	52
4.9. SELECCION DEL MOTO REDUCTOR	61

	pág.
4.10. SELECCION DE RODAMIENTOS PARA LAS GUIAS (SEGÚN NORTON).	63
4.11. SELECCION DEL VENTILADOR CENTRÍFUGO.	64
5. PROGRAMA PARA CÁLCULO DE VARIABLES DE SECADORES ROTATIVOS	65
6. CARACTERÍSTICAS DE LAS PARTES DEL SECADOR DISEÑADO	70
6.1. TOLVA DE DESCARGA	70
6.2. TOLVA DE ENTRADA	72
6.3. BASE DEL CILINDRO	74
6.4. CILINDRO	75
6.5. SECADOR ROTATIVO DIRECTO CILÍNDRICO PARA POLLINAZA	77
7. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SECADOR ROTATIVO DIRECTO CILINDRICO PARA POLLINAZA	79
7.1. PRIMERA PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DEL SECADOR ROTATIVO CILINDRICO	83
7.2. SEGUNDA PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DEL SECADOR ROTATIVO CILINDRICO	86

	pág.
7.3. OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES DE LAS PRUEBAS HECHAS AL SECADOR CILINDRICO ROTATIVO	89
8. PRESUPUESTO	91
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	93
BIBLIOGRAFÍA	97
ANEXOS	99

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Secador de Bandejas	17
Figura 2. Secador de Lecho Fluidizado	18
Figura 3. Secador de Circulación a Trabes del Material	20
Figura 4. Secador de Transporte Neumático	20
Figura 5. Secador Rotativo Cilíndrico.	21
Figura 6. Horno eléctrico del laboratorio de transferencia de calor con el que se realizaron las pruebas de cálculo de humedad y Calor Específico	29
Figura 7. Balance de materia y entalpía, secador continuo	35
Figura 8. Mezcla de aire – gases de combustión	39
Figura 9. Separación ideal del secador.	42
Figura 10. Perfil de las aletas.	49
Figura 11. Distribución del porcentaje de producto en las aletas.	56
Figura 12. DCL del contacto entre la rueda de tracción y el cilindro.	61
Figura 13. Esfuerzo de contacto entre rueda y anillo.	61
Figura 14. Imagen de presentación del programa.	65
Figura 15. Imagen de presentación del programa.	66
Figura 16. Temperaturas que inciden en el cálculo de secadores rotativos.	66
Figura 17. Datos que inciden en el cálculo de secadores rotativos.	67
Figura 18. Resultados del programa.	67
Figura 19. Datos del material.	68
Figura 20. Características de la aleta.	69

	pág.
Figura 21. Tolva de descarga	70
Figura 22. Fotos de la tolva de descarga.	71
Figura 23. Tolva de entrada.	72
Figura 24. Fotos de la tolva de entrada.	73
Figura 25. Base del cilindro	74
Figura 26. Foto Base del cilindro	74
Figura 27. Foto Base del cilindro, con el cilindro y la tolva de descarga.	75
Figura 28. Cilindro	75
Figura 29. Fotos del cilindro, cilindro y base, aletas y ruedas de soporte.	76
Figura 30. Secador rotativo directo cilíndrico para pollinaza.	77
Figura 31. Recipiente de volumen constante	79
Figura 32. Esquema representativo del proceso de prueba del secador rotativo	81
Figura 33. Variación en el peso de la pollinaza antes y después del proceso de secado	84
Figura 34. Variación de temperaturas en la pollinaza antes y después del proceso de secado	85
Figura 35. Variación de la humedad a la entrada y salida del proceso de secado	85
Figura 36. Variación en el peso de la pollinaza antes y después del proceso de secado	87
Figura 37. Variación de temperaturas en la pollinaza antes y después del proceso de secado	88

	pág.
Figura 38. Variacion de la humedad a la entrada y salida del proceso de secado	88
Figura 39. Triturador de pollinaza	89

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Factores de comparación entre el secado natural y el secado artificial	8
Tabla 2. Tipos de secadores.	14
Tabla 3. Factores de comparación entre secadores directos e indirectos.	15
Tabla 4. Factores comparativos de los secadores directos continuos para pollinaza	22
Tabla 5. Prueba #1 para hallar el valor del calor específico de la pollinaza (Cp).	25
Tabla 6. Prueba #1 para hallar el valor del calor específico de la pollinaza (Cp).	26
Tabla 7. Prueba #1 para hallar el valor del calor específico de la pollinaza (Cp).	27
Tabla 8. Parámetros para la medida experimental de la humedad en la pollinaza	30
Tabla 9. Datos de humedad en la pollinaza hallados experimentalmente	30
Tabla 10: Selección de rodamiento según libro de diseño mecánico de Norton.	63
Tabla 11. Parámetros para la medida experimental de la humedad en la pollinaza	81

	pág.
Tabla 12. Datos de peso, humedades y temperaturas iniciales de la pollinaza sin deshidratar en la primera prueba	83
Tabla 13. Resultados del peso, temperatura y humedad de la pollinaza al final de la primera prueba	84
Tabla 14. Datos de peso, humedades y temperaturas iniciales de la pollinaza sin deshidratar en la segunda prueba	86
Tabla 15. Resultados del peso, temperatura y humedad de la pollinaza al final de la segunda prueba	87

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Generalidades, antecedentes y evolución del sector avícola colombiano y santandereano	99
Anexo B. Problemática regional en el procesamiento de la pollinaza	108
Anexo C. Código para programación para MATLAB en GUIDE	115
Anexo D. Manual de seguridad y uso del secador	130
Anexo E. Contenido de proteína en la pollinaza	138

GLOSARIO

POLLINAZA: Excretas de pollo mezcladas con tamo de arroz.

SANITIZACIÓN: Aumento de temperatura por medio de la humidificación de las excretas del pollo con el fin de eliminar parte de las bacterias presentes en la misma.

CALOR ESPECÍFICO: Capacidad Calorífica correspondiente a la unidad de masa del sistema.

TOLVA: Dispositivo diseñado para depositar y canalizar materiales granulares o pulverizados.

PROPANO: Gas incoloro e inodoro que al mezclarse con aire u oxígeno se convierte en una mezcla combustible.

C.D.M.B.: Corporación por la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, ente regulador del manejo y procesado de la pollinaza.

RESUMEN

TITULO:
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SECADOR ROTATIVO DIRECTO CILÍNDRICO PARA POLLINAZA.*

AUTORES:
Diego Andrés Rueda Ordóñez
Yesid Javier Rueda Ordóñez **

PALABRAS CLAVES:
Pollinaza, Secador, Rotativo, Calor, Humedad, Aire, Propano.

DESCRIPCIÓN:
En este trabajo de grado se diseño y construyo un secador rotativo directo cilíndrico para pollinaza, con capacidad de secado de 250 kilogramos por hora de trabajo, que cumple con las necesidades de reducción de la humedad, eliminación de bacterias coliformes y permanencia de proteínas en la materia prima a tratar, facilitando este tipo de tecnología a las granjas del sector avícola.

El diseño se realizo con modelos matemáticos presentados para el cálculo de este tipo de maquinas, enmarcando todo el diseño en herramientas CAD como Solid Works V18. En la construcción y montaje se realizo un estricto seguimiento a los procesos de corte, soldadura y montaje mecánico como eléctrico. El secador fue construido en su mayoría en acero cold rolled calibre 16. El proceso es realizado por un cilindro que va girando por la acción de un moto reductor, a este cilindro esta acoplado un ventilador y un quemador de propano.

Finalmente el resultado es una maquina que satisface las necesidades automatizando un proceso artesanal a bajo costo y ofreciendo una buena competitividad debido al sistema de secado por aire caliente que permite disminuir el tiempo de secado del producto, para ser evacuado en menor tiempo y mayor cantidad.

En este proyecto el mayor énfasis es procurar una mejoría en el procesamiento de la pollinaza buscando una solución ambiental para la región y más enfocado en la granja Villa Laury ubicada en la Mesa de los Santos

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela Ingeniería Mecánica, Ing. Omar Gélvez.

SUMMARY

TITLE:
DESIGN AND CONSTRUCTION OF DIRECT CYLINDRICAL ROTARY DRYER FOR CHICKEN WASTE. *

AUTHORS:
Diego Andrés Rueda Ordóñez
Yesid Javier Rueda Ordóñez **

KEY WORDS:
Chicken Waste, Dryer, Rotary, Heat, Moisture, Air, Propane.

DESCRIPTION:
In this degree work is designed and built a direct cylindrical rotary dryer for chicken waste with drying capacity of 250 kilograms per hour of work, which meets the needs of reducing the moisture, removal of coliform bacteria and retention of the protein in the raw material to be treated, providing this type of technology to the poultry farms.

The design was done with mathematical models presented for the calculation of this kinds of machines, framing all the design whit CAD tools such as Solid Works V18. In the construction and assembly was done a strict monitoring of the processes of cutting, welding and electrical and mechanical assembly. The dryer was built mostly in cold rolled steel 16 gauge. The process is performed by a rotating cylinder that goes by the action of an electric motor whit gearbox, the cylinder is connected to a centrifugal fan and a propane burner.

Finally the result is a machine that meets the needs automating a craft process to low-cost and providing a competitive product because the drying system by hot air can reduce drying time of the product to be evacuated in less time and greater quantity.

In this work the main emphasis is to ensure an improvement in the processing of the chicken waste looking for an environmental solution for the region and more focused on the farm Villa Laury located in the Mesa de los Santos.

* Degree Work

**Physical-Mechanical Engineer Faculty, Mechanical Engineering, Eng. Omar Gélvez

INTRODUCCIÓN

Uno de los renglones productivos más importantes del departamento de Santander corresponde a la producción avícola, la cual es un motor económico de la región, generador de ingresos económicos y una fuente de empleo directo e indirecto para gran número de familias y personas en general. Sin embargo, los sistemas de producción intensivos de aves que existen en la actualidad, generan volúmenes considerables de residuos sólidos altamente contaminantes, como pollinaza y mortandad.

La generación de los residuos sólidos en el proceso de producción avícola en la región es un dilema y una gran problemática que se presenta hace varias décadas, ocasionando inconvenientes ambientales que en muchos casos trasciende las fronteras de la región y del país.

De esta forma conceptos como la segregación, gestión, tratamiento, valorización, disposición adecuada de los residuos generados en las diferentes actividades de la sociedad, se tornan prioritarios y obligan a la búsqueda de alternativas que sean técnicas y económicamente viables, con el fin de mejorar los niveles de gestión de los residuos en la región.

Por las características que tienen estos residuos es posible mediante procesos sencillos transformarlos de tal manera que dejen de ser un inconveniente para los productores, y sea apropiada su comercialización sin generar impacto ambiental en ciudades y zonas rurales, si se manejan según criterios de valorización y se implementa un proceso apropiado y tecnológico que permita a la vez reducir el problema de contaminación y obtener subproductos con valor agregado, útiles para la utilización como fertilizantes o suplemento alimenticio.

Este proyecto se ha realizado buscando una alternativa para implementar en el procesamiento y manejo de los desechos de aves de engorde

provenientes de los galpones en la zona de la Mesa de los Santos, mas específicamente de la granja Villa Laury, los residuos sólidos (pollinaza).

Como se dijo una solución o alternativa viable es la aceleración del secado del producto, para poder transportarla y evacuarla en un tiempo reducido, para este propósito se implementará un secador rotativo directo cilíndrico.

Con la implementación de es proceso de secado mecánico se espera la movilización de la pollinaza y la eliminación de malos olores y focos patógenos en la zona de la mesa de los santos además de presentar una alternativa para el procesamiento de este ya no residuo si no subproducto avícola.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO

1.1.1 Objetivo General

Contribuir en el compromiso de desarrollo regional y protección ambiental que tiene la Universidad Industrial de Santander, con un método de aceleración de secado de la pollinaza para el sector avícola, y su implementación en los sectores agrícola y ganadero.

1.1.2 Objetivos Específicos

1. Diseñar y construir un sistema para secar pollinaza, retirando del producto el excedente de humedad, que genera descomposición, y manteniendo la humedad necesaria en la que se conservan los nutrientes.

Con las siguientes especificaciones del sistema.

- Capacidad de procesar 250 Kg. de pollinaza por hora.
- Obtener el nivel de humedad de 15%, requerido por la CDMB y FENAVI para el transporte y manejo de la pollinaza.
- Obtener un porcentaje de proteína cruda de mínimo el 30% después del proceso de secado.

Para lo cual se deberá:

- a.** Diseñar y construir el cilindro rotativo donde se llevara a cabo la interacción de los gases de combustión del gas propano con la pollinaza para su secado.

Con las siguientes características:

- Mecanismo de accionamiento por medio de un motor eléctrico y un reductor de velocidad.
- Velocidad de rotación máxima de 15 r.p.m.
- Angulo de inclinación máximo de 10 °.
- Sistema de carga por medio de tolva y esclusa.

- b.** Diseñar y construir un quemador con fuente de energía gas propano.

Con las siguientes características:

- Temperatura máxima de secado de 150°C.
- Mecanismo de impulsión de gases de combustión por medio de un ventilador.
- Mecanismo de regulación de temperatura de los gases de combustión por medio de aire externo controlado por válvula de compuerta.

- 2.** Entregar Planos de construcción del secador y quemador de gas propano en el software solidworks.
- 3.** Elaborar un Manual de uso, seguridad y mantenimiento del secador para el usuario.

2. PROPUESTA PARA EL PROCESAMIENTO DE LA POLLINAZA

Documentar y diseñar un proyecto de investigación que permita desarrollar nuevas alternativas para procesar este subproducto avícola (pollinaza), visualizar nuevas oportunidades de vincular la academia en el desarrollo industrial de la región, mas aún si se tiene en cuenta que a nivel nacional se ha estudiado muy poco y las alternativas existentes presentadas por los entes reguladores son aún escasas y en su mayoría artesanales.

No obstante, es pertinente tener en cuenta que las actuales técnicas de sanitización y secado, propician la contaminación del medio ambiente en la localidad, como es el caso de la Mesa de los Santos, municipio aledaño al Área Metropolitana de Bucaramanga, y caracterizado por una fuerte producción avícola.

Por ello, la pertinencia de un proceso de secado, en el cual se elimine la humedad del sólido, lo que aceleraría el compostaje, tecnificaría el proceso de sanitización de la pollinaza y así su movilización y evacuación en un tiempo más corto, lo que impactaría la inversión en tiempo de los productores y la disminución de agentes contaminantes.

Al generar el secado del producto por un medio mecánico, en este caso un *Secador rotativo directo cilíndrico*, en el cual se tengan en cuenta todas las características y problemáticas que enmarcan el producto, abre un nuevo espectro de investigación en la región, considerada una de las más importantes en cuanto a cantidad de pollinaza generada.

Ahora bien, al analizar la situación de la zona y tomando como referencia a la granja Villa Laury, conformada por una hectárea y media, ocupada en su mayoría por los dos galpones con capacidad para 18000 aves cada uno, piletas de tratamiento de agua, una la cisterna y la respectiva zona de bioseguridad, se observa que el espacio es insuficiente para el apropiado

almacenamiento de pollinaza.

Adicionalmente, en los alrededores de la granja se encuentran viviendas e instituciones de educación que están siendo afectadas con la proliferación de moscas y los malos olores que genera la pollinaza durante su proceso de secado por medios artesanales durante 60 días.

La Corporación Regional por la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB) y FENAVI en su reglamentación y en cumplimiento con las Resoluciones del Ministerio de Medio Ambiente No. 1489 de 1995, y mediante No. 001312 de 2005, prohíben la movilización y transporte de pollinaza y cualquier otro residuo de ave sin antes pasar por un proceso de secado y compostaje.

Un secador para esta granja puede ampliar las posibilidades de tecnificación y aprovechamiento de subproductos avícolas, y constituir un proyecto piloto en el tratamiento de las excretas de aves de engorde, un proceso para implementar en granjas del sector que busquen mejorar y acelerar el proceso de sanitización de la pollinaza.

2.1 EFECTOS DEL SECADO EN LA POLLINAZA

El transporte y movilización de las excretas de las aves (pollinaza), ya sea hacia áreas de cultivo en donde se utilizan como fertilizante orgánico los suelos, o hacia las fábricas de suplementos alimenticios, han creado conflictos, por lo que se han dictado normas por parte de los entes reguladores (FENAVI, CDMB) para el manejo y tratamiento de pollinaza, con la finalidad de prevenir la posible diseminación de enfermedades como el Newcastle, salmonelosis aviar e influenza aviar, las cuales son enfermedades peligrosas y requieren de una constante vigilancia epidemiológica y de un esfuerzo constante para evitar su propagación.

El secar la pollinaza facilita su manejo y conservación, reduce la posibilidad de diseminar enfermedades y darle un valor agregado.

Los entes de regulación locales y nacionales pocas investigaciones han hecho al respecto y no existe suficiente conocimiento bajo las condiciones locales, del efecto de la temperatura y del tiempo utilizado en este proceso sobre el valor nutricional, ni sobre la carga bacteriana de la pollinaza sometida a un proceso de secado.

En pruebas realizadas por algunas universidades extranjeras y los entes de regulación locales muestran que el deshidratado de la pollinaza en temperaturas entre 60 a 120°C disminuye su valor proteico y energético. Las pérdidas energéticas pueden ser del 5% y de la proteína de un 5 a 10%. Pero aunque se generan pérdidas aun es un subproducto avícola con grandes potenciales alimenticios para rumiantes y como fertilizante.

Pruebas realizadas por la CDMB a muestras deshidratadas y no deshidratadas de pollinaza muestran como varían los valores de humedad de proteína cruda de coliformes fecales y la ausencia después del secado de la salmonela aviar como se puede ver en la tabla 1.¹

¹ Arturo F. castellanos, María de Luz Murguía Olmedo, Yolanda B. Moguel Ordóñez, efecto del deshidratado sobre el valor nutritivo de la pollinaza y la presencia de microorganismos.2000.

2.2 COMPARACION ENTRE EL SECADO NATURAL Y EL SECADO ARTIFICIAL DE LA POLLINAZA

Como justificación para un secado artificial de la pollinaza que es el objetivo de este proyecto se compara el secado natural y artesanal que se esta llevando a cabo en la región santandereana y mas puntual en la Mesa de los Santos y el secado artificial o mecánico que se propone como alternativa.

Tabla 1. Factores de comparación entre el secado natural y el secado artificial.

FACTORES	SECADO NATURAL	SECADO ARTIFICIAL
Tiempo	60 días al aire ambiente cualquier cantidad	250 Kg. de pollinaza por hora de trabajo
Contaminación	Proliferación de moscas y ratones y enfermedades además de malos olores.	Se evita la acumulación de pollinaza por lo tanto la proliferación de plagas y malos olores.
Propiedades	No se lleva a cabo un control de agentes patógenos ni de sus nutrientes y niveles de humedad.	Control de la humedad y de los porcentajes de nutrientes, y remoción de agentes patógenos (coliformes).
Economía	Falta de cumplimiento en la demanda del producto Mientras este esta almacenado.	Producción inmediata.
Área de almacenamiento	Se ocupa gran área durante el tiempo de secado sin oportunidad de evacuación.	Área con evacuación rápida

3. GENERALIDADES DEL SECADO

3.1 PRINCIPIOS DEL SECADO

El secado de sólidos consiste en separar pequeñas cantidades de agua (u otro líquido) de un material sólido con el fin de reducir el contenido de humedad hasta un valor aceptable para la industria. Es la etapa final de una serie de operaciones en la producción precedente a la salida del producto resultante y luego de esto pasa al proceso de empaquetado o almacenado. Comúnmente a este proceso se le denomina secado pero su nombre científico es el de Secado de vaporización térmica y en el mercado industrial este proceso es más costoso que el hecho de usar métodos mecánicos aunque ambientalmente sea más correcto. El secado describe el proceso térmico para remover sustancias volátiles (humedad) con el fin de obtener un producto sólido. La humedad se presenta en forma de solución líquida dentro del sólido a atrapada en su micro estructura, la cual ejerce una presión de vapor menor que el líquido puro, esta es llamada humedad intrínseca, la humedad en exceso es llamada humedad extrínseca.²

² Paulina Pino, Christopher López, Michael Aranda, Felipe Paredes. Operaciones unitarias, Proceso de Secado, universidad católica de Temuco.

3.1.1 Definición del secado

Por lo general, el término **secado** se refiere a la eliminación de humedad en una sustancia. Se aplica tan fácil e incongruentemente que es necesario restringir su significado en el análisis presente del tema. Por ejemplo, un sólido húmedo, como madera, tela o papel, puede secarse por evaporación de la humedad ya sea en una corriente de gas o sin el beneficio del gas para separar el vapor; sin embargo, generalmente no se considera como secado la eliminación mecánica de esta humedad mediante el exprimido o centrifugado. Una solución puede “secarse” esparciéndola en forma de pequeñas gotas en un gas caliente y seco, lo que provoca la evaporación del líquido; la evaporación de la solución mediante ebullición en ausencia de un gas para retirar la humedad por lo común se considera una operación de secado. En la práctica, la humedad es con tanta frecuencia agua y el gas con tanta frecuencia aire que esta combinación proporcionará las bases para la mayor parte de los análisis de secado industrial.³

Cuando la superficie sólida se encuentra húmeda y es sometida a un tratamiento de secado, ocurren dos procesos simultáneamente:

1. Transferencia de energía (sobre todo como calor sensible) desde el ambiente circundante para evaporar la humedad superficial.
2. Transferencia de humedad interna hacia la superficie para la evaporación subsiguiente debido al proceso 1.

La transferencia de energía desde el ambiente circundante hacia el sólido mojado puede ocurrir como resultado de la convección, conducción o

³ Robert E. Treybal. Operaciones de Transferencia de Masa. Segunda edición. McGRAW-HILL.

radiación y en algunos casos puede darse como la combinación de estos mecanismos.⁴

La velocidad (rata de secado) depende de las características particulares de los siguientes procesos:

Proceso 1: La remoción de vapor de agua desde la superficie húmeda está determinada por las condiciones externas, como temperatura, humedad, flujo de aire, área expuesta superficial y presión.

Proceso 2: El movimiento interno de la humedad dentro del sólido el cual es función de la naturaleza física del mismo, la temperatura, y su contenido de humedad.

El transporte de humedad dentro de un sólido puede ocurrir por cualquiera de los siguientes mecanismos de transferencia de masa:

- Difusión líquida en los sólidos húmedos, ocurre a una temperatura por debajo del punto de ebullición.
- Difusión de vapor si el líquido se vaporiza dentro del material.
- Difusión superficial (posible pero no probado)
- Diferencias de presión hidrostática, cuando la rata de vaporización interna exceden la rata de movimiento del vapor por el sólido al entorno.⁵

⁴ Handbook Drying Principles. Classification, and Selection of Dryers.

⁵ Handbook Drying Principles. Classification, and Selection of Dryers.

3.2. OPERACIONES DE SECADO

Las operaciones de secado pueden clasificarse ampliamente según que sean por lotes o continuas. Estos términos pueden aplicarse específicamente desde el punto de vista de la sustancia que se está secando. Así, la operación denominada secado por lotes, generalmente es un proceso en similotes, en donde una cierta cantidad de sustancia que se va a secar se expone a una corriente de aire que fluye continuamente, en la cual se evapora la humedad. En las operaciones continuas, tanto la sustancia que se va a secar, como el gas pasan continuamente a través del equipo.

Generalmente, no se utilizan métodos normales por etapas; en todas las operaciones ocurre el contacto continuo entre el gas y la sustancia que se seca.

El equipo que se utiliza para el secado se puede clasificar de acuerdo con el tipo del equipo y por la naturaleza del proceso de secado. La clasificación siguiente es útil para delinear las teorías de secado y los métodos de diseño.

1. Método de operación sea por lotes o continuo. El equipo por lotes, o Similotes, se opera intermitente o cíclicamente en condiciones de estado no estacionario: el secador se carga con la sustancia, que permanece en el equipo hasta que se seca; entonces, el secador se descarga y se vuelve a cargar con un nuevo lote. Los secadores continuos generalmente se operan en estado estacionario.

2. Método de obtención del calor necesario para la evaporación de la humedad. En los secadores directos, el calor se obtiene completamente por contacto directo de la sustancia con el gas caliente en el cual tiene lugar la evaporación. En los secadores indirectos, el calor se obtiene

independientemente del gas que se utiliza para retirarla humedad evaporada. Por ejemplo, el calor puede obtenerse por conducción a través de una pared metálica en contacto con la sustancia o, con menos frecuencia, por exposición de la sustancia a radiación infrarroja o calentamiento dieléctrico. En este último caso, el calor se genera dentro del sólido mediante un campo eléctrico de alta frecuencia.

3. Naturaleza de la sustancia que se va a secar. La sustancia puede ser un sólido rígido como madera, un material flexible como tela o papel, un sólido granular, como una masa de cristales, una pasta ligera o un lodo ligero, o una solución. Si es un sólido, puede ser frágil o fuerte. La forma física de la sustancia y los diferentes métodos de manejo necesarios tienen tal vez, la mayor influencia sobre el secador que se va a utilizar.⁶

3.3. PROCESOS DE SECADO ARTIFICIAL

El proceso de secado de sólidos consiste en eliminar parte del agua que posee originalmente por medio de un proceso mecánico hasta obtener una humedad deseada o simplemente la disminución del porcentaje de humedad inicial.

El secado de productos sólidos corresponde a una serie de procesos que normalmente finaliza con el empaquetado. En nuestro caso la serie está dada así: *sanitización, recogida, secado, empaque, transporte*. La parte que se desarrollará en este proyecto es el secado, que se puede clasificar en secado directo e indirecto.

- **Secadores directos** son los que usan aire caliente o gases de combustión encargados de suministrar el calor que hace contacto directo con el sólido y retira la humedad vaporizada, este tipo de secadores también es llamado secadores adiabáticos.

- **Secadores indirectos** son aquellos en los que el calor se transmite a los sólidos, sujetos de secado, por medio de las paredes que lo contienen eliminando la humedad vaporizada, de manera independiente del medio que genera el calor.

3.3.1 Tipos de secadores

Tabla 2. Tipos de secadores.

DIRECTOS	CONTINUOS	<ul style="list-style-type: none"> a. Bandejas secadoras b. Transporte neumático c. Rotativos d. De lecho fluidizado e. Circulación a través del material
	NO CONTINUOS	<ul style="list-style-type: none"> a. Circulación a través del material b. Bandejas y compartimiento
INDIRECTOS	CONTINUOS	<ul style="list-style-type: none"> a. Cilíndricos b. Tambores c. Transporte por tornillo d. Tubo giratorio con vapor e. Bandejas vibradoras f. Tipos especiales

Fuente: Introducción al secado de alimentos por aire caliente, Pedro José Fito Maupoey, Pedro Fito, José Manuel Barat Baviera, Pedro José Fito Maupoey.

3.3.2. Factores de comparación entre secadores directos e indirectos.

Tabla 3. Factores de comparación entre secadores directos e indirectos.

FACTORES	DIRECTOS	INDIRECTOS
TEMPERATURA	<ul style="list-style-type: none"> Alcanza valores superiores a los 750°C. 	<ul style="list-style-type: none"> Desde bajas para congelación hasta 550°C.
TAMAÑO	<ul style="list-style-type: none"> Ocupa gran espacio en planta. 	<ul style="list-style-type: none"> Ocupa gran espacio en planta.
ECONOMÍA	<ul style="list-style-type: none"> Consumo menor de combustible por Kg. de humedad retirada. Bajo costo de construcción inicial. Gran capacidad de carga inicial, desde 50 Kg. 	<ul style="list-style-type: none"> Consumo mayor de combustible por Kg. de humedad retirada. Mayor costo de construcción inicial. Baja capacidad de carga inicial, menor a 50 Kg.
SÓLIDO A SECAR	<ul style="list-style-type: none"> Sólidos granulados abrasivos y cristalinos. Seca sólidos finos hasta de gran tamaño. 	<ul style="list-style-type: none"> Láminas u hojas, como papel, celofán, pulpas vegetales, materiales pastosos, y sólidos finos.
CONTAMINACION DEL SÓLIDO	<ul style="list-style-type: none"> Utilizado en sólidos que no se afecten sus propiedades por el contacto con gases de combustión o aire caliente. 	<ul style="list-style-type: none"> Utilizado en alimentos, pulpas vegetales y sólidos que tengan riesgos de contaminación por el contacto directo con gases de combustión.

Fuente: Investigación directa de los autores

3.4. SELECCIÓN GENERAL DEL TIPO DE SECADOR PARA LA POLLINAZA

De acuerdo con la clasificación descrita en la sección 5.3.1 los secadores directos continuos presentan las mejores características para la aplicación del secado de pollinaza, ya que es un producto granular y abrasivo, porque en su contenido suele llevar piedras y cal, producto de la recogida, además no se corre riesgo de contaminación por el contacto directo con gases de combustión, por lo tanto esta sería la selección mas adecuada y económica.

3.4.1. Tipos de secadores directos continuos para sólidos

Los secadores directos continuos al ser los más apropiados para el secado de la pollinaza se explican a continuación para así llegar a la conclusión de cual es el secador seleccionado para la realización del proyecto.

3.4.2. Secadores de bandejas

Consiste en una cámara rectangular con soportes móviles que sostienen los bastidores. Cada bastidor lleva numerosas bandejas de poca profundidad; entre las cuales se hace circular aire. Este tipo de secadores es semicontinuo.

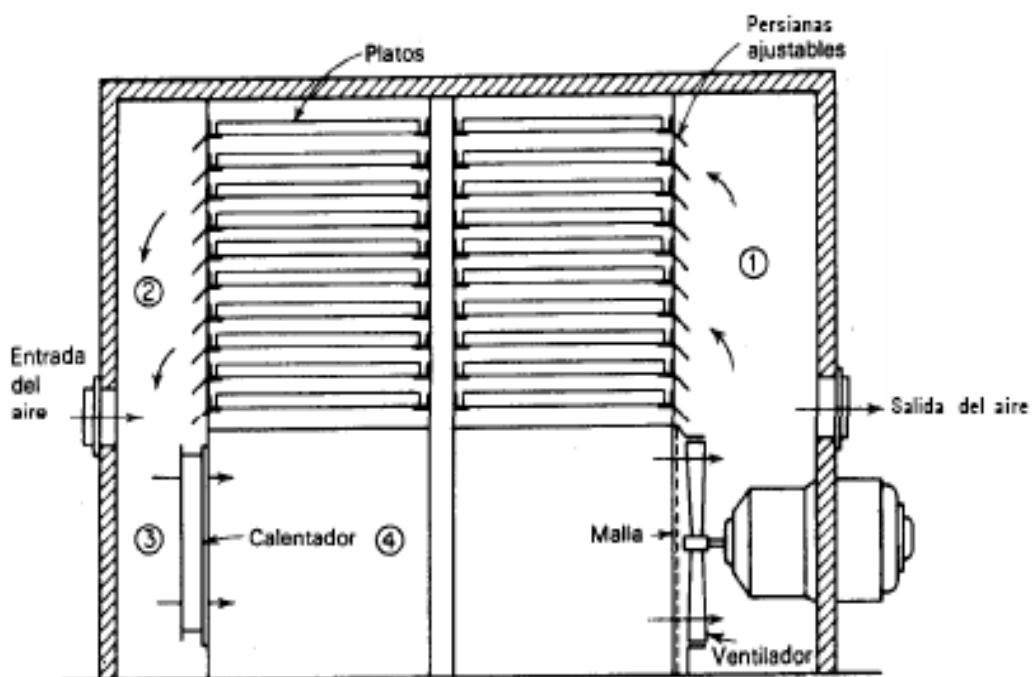
Los secadores de bandejas resultan convenientes cuando la capacidad de producción es pequeña.

3.4.3. Secadores de lecho fluidizado.

Los secadores en los que los sólidos están fluidizados por el gas de secado se utilizan en diversas aplicaciones. Las partículas se fluidizan con aire o gas

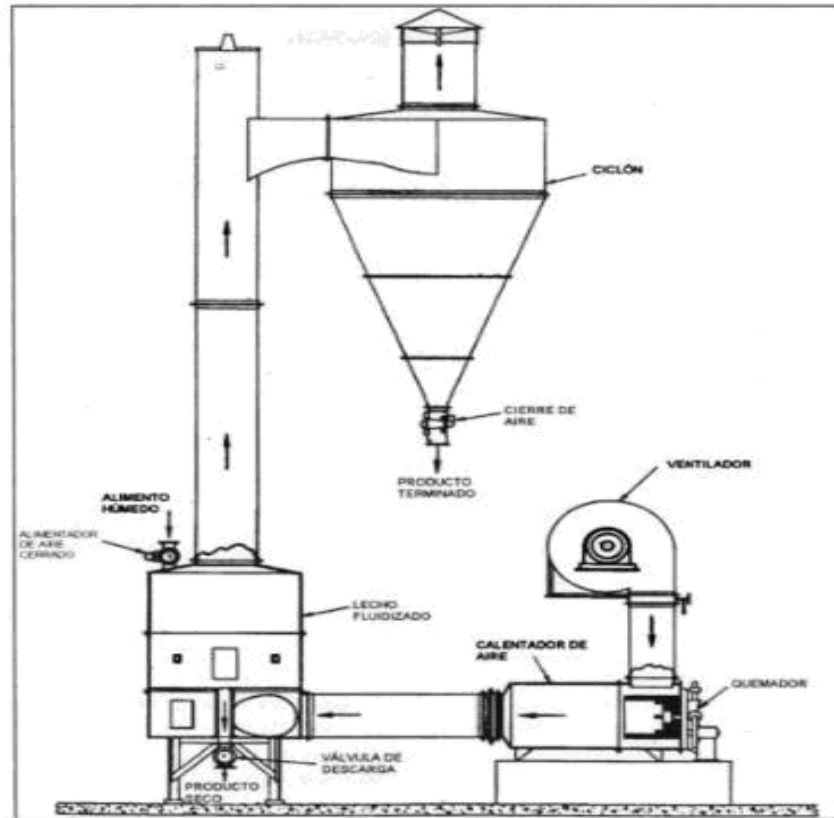
y en ocasiones con la ayuda de vibraciones mecánicas. La alimentación húmeda se introduce por la parte superior del lecho y el medio de calentamiento, estos secadores pueden trabajar con altas temperaturas lo cual disminuiría los tiempos de secado.

Figura 1. Secador de Bandejas



Fuente: Robert E. Treybal. Operaciones de Transferencia de Masa.

Figura 2. Secador de Lecho Fluidizado



Fuente: Introducción al secado de alimentos por aire caliente, Pedro José Fito Maupoey, Pedro Fito, José Manuel Barat Baviera, Pedro José Fito Maupoey.

3.4.4. Secadores de circulación a través del material

Son secadores en los que el fluido se desplaza por gravedad desde lo alto de una torre. El flujo de gas caliente circula de manera transversal al desplazamiento del sólido.

3.4.5. Secadores de transporte neumático

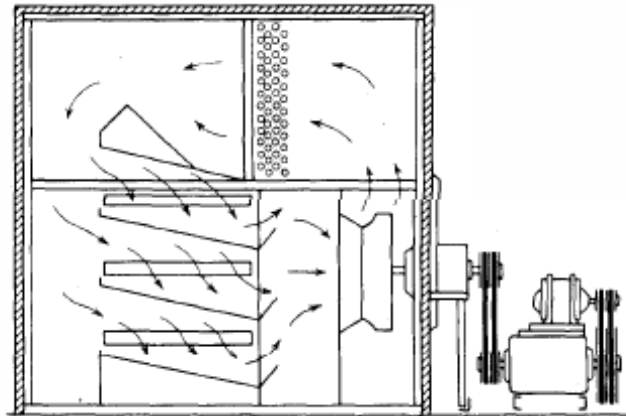
El secado se realiza en conjunto con el proceso de triturado del material, este se transporta a alta temperatura, y los gases fluyen a gran velocidad, hasta un colector.

2.4.6. Secadores rotatorios

Consisten en una carcasa cilíndrica giratoria, dispuesta horizontalmente o ligeramente inclinada hacia la salida. Al girar la carcasa, una serie de pestañas levantan los sólidos para dejarlos caer después en forma de cascada a través del interior de la carcasa. La alimentación entra por un extremo del cilindro y el producto seco descarga por el otro, se calientan por contacto directo del gas con los sólidos, normalmente son de contraflujo, el gas caliente entra por un lado y el producto húmedo por otro movilizándose uno en dirección contraria al otro.

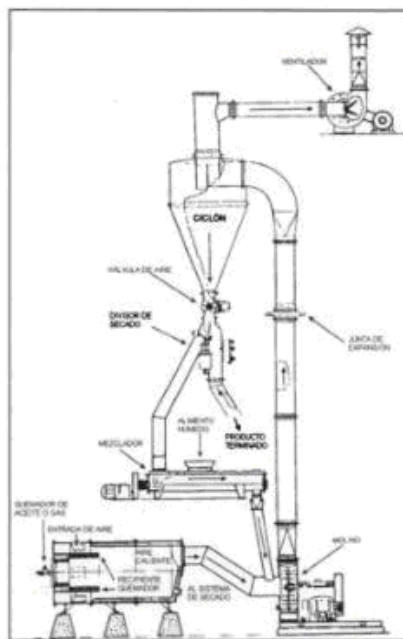
Los secadores rotatorios de ese tipo se utilizan con frecuencia para que no se puedan exponer directamente a gases de combustión muy calientes, o aire a gran temperatura, este tipo de secadores son de funcionamiento continuo y suelen usarse para sólidos granulados y cristalinos.

Figura 3. Secador de Circulación a Través del Material



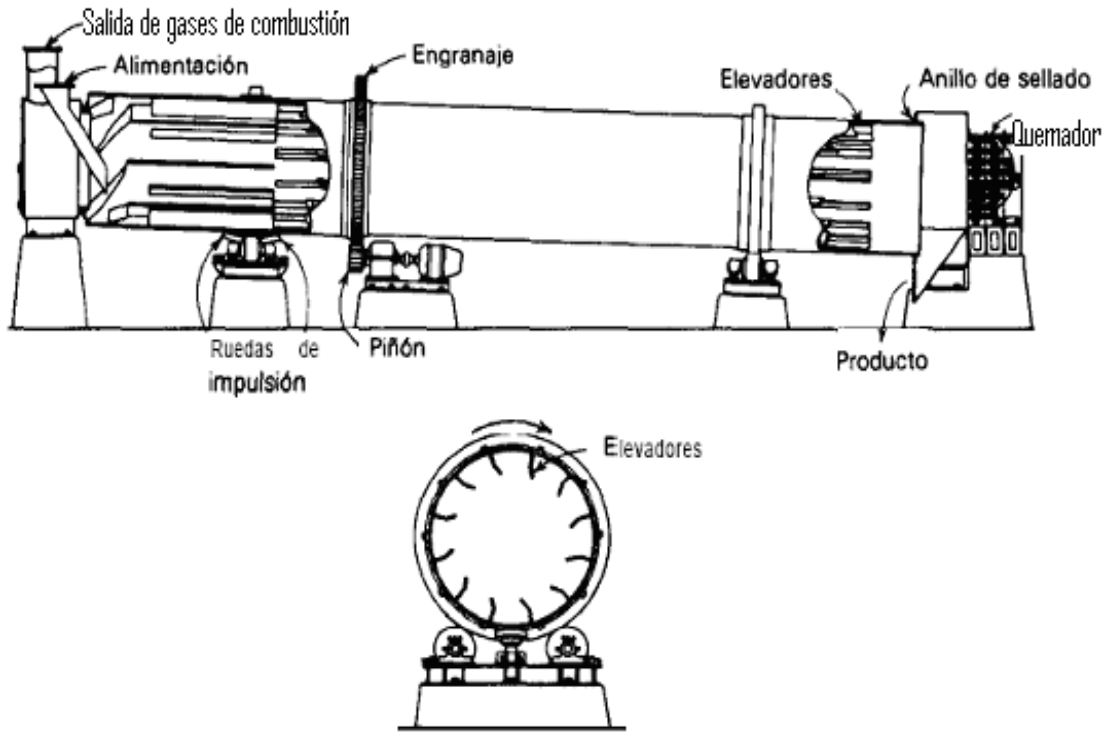
Fuente: Robert E. Treybal. Operaciones de Transferencia de Masa.

Figura 4. Secador de Transporte Neumático



Fuente: Introducción al secado de alimentos por aire caliente, Pedro José Fito Maupoey, Pedro Fito, José Manuel Barat Baviera, Pedro José Fito Maupoey.

Figura 5. Secador Rotativo Cilíndrico.



Fuente: Obtenida del libro introducción al secado por aire caliente Fig. 2.7

3.5. FACTORES COMPARATIVOS DE LOS SECADORES DIRECTOS CONTINUOS PARA POLLINAZA

Tabla 4. Factores comparativos de los secadores directos continuos para pollinaza

FACTORES	BANDEJAS	LECHO FLUIDIZADO	CIRCULACION A TRAVES DEL MATERIAL	TRANSPORTE NEUMATICO	ROTATORIO
TAMAÑO	Gran volumen en planta	Poco espacio en planta	Requiere gran altura	Gran tamaño en planta y altura	Gran tamaño en planta
COSTO INICIAL	Gran costo inicial	Costo moderado	Gran costo inicial	Gran costo inicial	Bajo costo inicial
TEMPERATURA	Temperaturas moderadas	Puede manejar altas temperaturas	Temperaturas moderadas	Temperaturas moderadas	Puede alcanzar altas temperaturas
SÓLIDO A SECAR	Cualquier tipo de material	Material no fibroso ni abrasivos	Cereales y sólidos granulares	Materiales no abrasivos ni que se adhieran a las paredes	Materiales que no se adhieran a las paredes
TAMAÑO DE PARTICULA	Pequeño tamaño de partículas	No apropiado para materiales de gran tamaño	Materiales de tamaño moderado	Materiales de tamaño pequeño	Apropiado para materiales de gran tamaño
CAPACIDAD	De poca carga inicial	De poca carga inicial	De poca carga inicial	Gran carga inicial	Gran carga inicial
NIVELES DE HUMEDAD	Seca hasta niveles medios de humedad	Seca hasta humedades muy bajas	Seca hasta niveles medios de humedad	Se requiere material de fácil extracción de humedad	Seca hasta humedades muy bajas
MANTENIMIENTO	moderado	Muy costoso	Moderado	Muy costoso	Muy bajo

Fuente: Investigación directa de los autores

3.6. SELECCIÓN FINAL DEL SECADOR CONTINUO DIRECTO

De acuerdo a los factores analizados en la tabla 4 de la sección 3.5 , el secador rotativo directo es el mas apropiado, puesto que este tipo de secadores tiene capacidad de carga amplias gracias a su gran tamaño, que pueden ser de 4 a 10 veces su diámetro, es decir, de 0.3 a 3 metros, además no requiere altas temperaturas y es de funcionamiento continuo, apto para materiales granulados y en este caso es importante pues la pollinaza se encuentra en partículas de gran tamaño y con un alto grado de apelmazamiento.

Para el secado de la pollinaza no se puede utilizar temperaturas muy altas ya que el nitrógeno que posee la pollinaza empieza a reaccionar y se eliminaría después de superar los 90 grados centígrados, lo que es desfavorable para el proceso de fertilización en el que se emplea el producto; de igual manera, las proteínas pierden su valor nutritivo.

En este caso, el secador es apto para la pollinaza, que al manejarse en un rango que oscile entre los 60 a 80 grados llega a ser bastante funcional y eficiente para granos. Los gases de combustión puede ir lo más rápido que se pueda inyectar teniendo en cuenta el tamaño de las partículas y de los finos.

Por costos de fabricación y materia prima, frente a la producción y material a secar, este tipo de secador es adecuado pues tiene un funcionamiento continuo de alta capacidad. Igualmente, estos secadores son usado con frecuencia en la industria, lo que proporciona varias alternativas de fabricación y de tal manera, lo hacen aplicable de forma novedosa para el secado de las excretas de aves.

Este tipo de secadores como se dijo anteriormente pueden funcionar con aire caliente o gases de combustión. En este caso se recomienda gases de combustión, es más económico de obtener.

Los secadores rotativos son relativamente baratos pues su fabricación inicial es medianamente alta pero con posibilidades de recuperar la inversión a corto plazo, además son fáciles de operar y requieren poco mantenimiento.

4. CÁLCULO Y DISEÑO DEL SECADOR ROTATIVO DIRECTO CILINDRICO PARA POLLINAZA

Las operaciones de secado por contacto directo llevadas a cabo en secadores rotativos continuos, pueden tratarse como balance de materia y energía y con expresiones para la rata de calor y transferencia de masa.

4.1 DETERMINACIÓN DEL CALOR ESPECÍFICO DE LA POLLINAZA

Para la determinación del calor específico de la pollinaza se hicieron pruebas calentando pollinaza en el horno del laboratorio de transferencia de calor de la escuela de ingeniería mecánica; luego el producto se puso en un torrente de aire y se tomaron datos de cómo variaba la temperatura de la pollinaza y del aire.

m_p = masa del producto.

m_a =masa del aire.

T_{ae} = temperatura de entrada del aire.

T_{as} =temperatura de salida del aire.

T_{pe} =temperatura de entrada de la pollinaza.

T_{ps} =temperatura de salida de la pollinaza.

C_{pa} =calor específico del aire.

C_{pp} =calor específico de la pollinaza.

TABLA 5. Prueba #1 para hallar el valor del calor específico de la pollinaza (Cp).

Tiempo	T° aire (°c)	T°pollinaza(c°)
0	22	48,2
1	22,7	42,7
2	22,7	32,7
3	22,8	34,6
4	22,7	31,3
5	22,4	29,8
6	22,3	29
7	23,2	29,1
8	23,2	29,7
9	23,3	28,7
10	22,9	28
11	22,9	27,4
12	23	27,1

$m_p = 93.51 \text{ gr} = 0.09351 \text{ kg}$

$m_a = 5.655 \text{ kg}$

$T_{ae} = 22 \text{ °C}$

$T_{as} = 22.8416 \text{ °C}$

$T_{pe} = 48.2 \text{ °C}$

$T_{ps} = 27.1 \text{ °C}$

$$m_a * C_{pa} * (T_{as} - T_{ae}) = m_p * C_{pp} * (T_{pe} - T_{ae})$$

$$C_{pp} = \frac{m_a * C_{pa} * (T_{as} - T_{ae})}{m_p * C_{pp} * (T_{pe} - T_{ae})}$$

$C_{pp} = 2.4203 \text{ (kJ/kg.c°)}$ Calor específico para la prueba #1

TABLA 6. Prueba #2 para hallar el valor del calor especifico de la pollinaza (Cp).

Tiempo	T° aire (°c)	T°pollinaza (c)
0	23	65
1	30,3	59,3
2	24,4	55,7
3	23,2	52,7
4	23,8	50,3
5	23,7	47,7
6	23,6	45,7
7	23,4	43,6
8	23,3	42
9	23,3	40,3
10	23	39
11	23	37,6
12	23	36,5

$m_p = 130.1 \text{ gr} = 0.1301 \text{ kg}$

$m_a = 5.655 \text{ kg}$

$T_{ae} = 23 \text{ °C}$

$T_{as} = 24 \text{ °C}$

$T_{pe} = 65 \text{ °C}$

$T_{ps} = 36.6 \text{ °C}$

$C_{pp} = 1.533 \text{ (kJ/kg.°c)}$ Calor especifico para la prueba #2

TABLA 7. Prueba #3 para hallar el valor del calor especifico de la pollinaza (Cp).

Tiempo	T° aire (°C)	T°pollinaza(°C)
0	22,4	80,1
1	23	75,4
2	23,5	62,3
3	23,2	43,1
4	23,4	40
5	23,6	36,8
6	23,7	34
7	23,6	31,6
8	23,6	30,3

$m_p = 97.82 \text{ gr} = 0.1301 \text{ Kg.}$

$m_a = 5.655 \text{ Kg.}$

$T_{ae} = 22.4 \text{ °C}$

$T_{as} = 23.45 \text{ °C}$

$T_{pe} = 80.1 \text{ °C}$

$T_{ps} = 30.3 \text{ °C}$

$C_{pp} = 1.225 \text{ (kJ/kg.°C)}$ Calor especifico para la prueba #3

Promediando los valores de Cp hallados en cada prueba obtenemos:

$$C_{pp} = \frac{C_{pp1} + C_{pp2} + C_{pp3}}{3}$$

$$C_{pp} = \frac{2.4203 + 1.533 + 1.225}{3}$$

$C_{pp} = 1.7261$ (kJ/kg.°C) Calor específico Promedio de la pollinaza

En estas pruebas se utilizó un ventilador con las siguientes especificaciones.

Velocidad del aire = 18 Km. /h = 5 (m/s)

Diámetro del tubo = 15 cm = 0.15 m

Área de salida = 0.0176

4.2 MEDIDA DE LA HUMEDAD DE LA POLLINAZA

La medida del contenido de humedad presente en las muestras de pollinaza se calcula experimentalmente tomando un recipiente de volumen V y peso Pr constantes, el recipiente se llena de pollinaza húmeda y en un horno eléctrico se le elimina toda cantidad de humedad presente, para este fin la muestra se va pesando hasta que la variación en su peso sea insignificante, en ese momento la muestra está totalmente seca.

Esta medida sirve como parámetro de comparación, siendo utilizada como muestra seca y comparada con las muestras húmedas, y la diferencia de peso se considera como la cantidad de humedad presente en la muestra.

El contenido de humedad en un sólido puede expresarse de dos maneras:

- Sobre la base del peso húmedo (w_w), indicando el contenido de humedad con un porcentaje del peso del sólido húmedo.
- Sobre la base de peso seco (w_d), indicando el contenido de humedad de un sólido húmedo en Kg. de agua por kg de sólido completamente

seco.

- Designando como P_h el peso de la muestra húmeda, y P_s el peso de la muestra seca, podemos decir:

$$w_w = \frac{P_h - P_s}{P_h} \left[\frac{\text{kg.humedad}}{\text{kg.solido.humedo}} \right] \quad \text{Contenido de humedad en base en peso}$$

húmedo

$$w_w = \frac{w_d}{1 + w_d} \left[\frac{\text{kg.humedad}}{\text{kg.solido.humedo}} \right]$$

$$w_d = \frac{P_h - P_s}{P_s} \left[\frac{\text{kg.humedad}}{\text{kg.solido.seco}} \right] \quad \text{Contenido de humedad en base en peso seco}$$

$$w_d = \frac{w_w}{1 - w_w} \left[\frac{\text{kg.humedad}}{\text{kg.solido.seco}} \right]$$

Figura 6. Horno eléctrico del laboratorio de transferencia de calor con el que se realizaron las pruebas de cálculo de humedad y Calor Específico.



Fuente: Archivo de los autores.

A continuación se dan los datos medidos en el experimento para realizar el cálculo de la humedad en la pollinaza.

Tabla 8. Parámetros para la medida experimental de la humedad en la pollinaza.

Datos del experimento	
Volumen recipiente	V=1008 [cm3]
Peso del recipiente	Pr=478,07 [gr.]
Peso muestra pollinaza seca	Ps=359.67 [gr.]

A partir de los datos de la tabla. 8 se procede a calcular la humedad en la pollinaza por el método explicado anteriormente.

Tabla 9. Datos de humedad en la pollinaza hallados experimentalmente.

N° Muestra Húmeda	Peso Muestra Húmeda [gr.]	Humedad Base Seca	Humedad Base Húmeda
1	627,63	0,74501	0,427
2	614,76	0,709233	0,415
3	620,65	0,72561	0,4205
4	707,34	0,96663	0,49151

La tabla. 9 muestra los resultados de las humedades encontrados por medio de análisis experimentales en el laboratorio de transferencia de calor.

Con los datos encontrados se saca un promedio de las humedades y se supone como la humedad que posee la pollinaza antes del proceso de secado.

$$w_d = \frac{w_{d1} + w_{d2} + w_{d3} + w_{d4}}{4} \left[\frac{\text{kg.humedad}}{\text{kg.sólido.seco}} \right] \text{ Humedad promedio en base seca.}$$

$$w_d = 0.78662 \left[\frac{\text{kg.humedad}}{\text{kg.sólido.seco}} \right]$$

$$w_w = \frac{w_{w1} + w_{w2} + w_{w3} + w_{w4}}{4} \left[\frac{\text{kg.humedad}}{\text{kg.sólido.húmedo}} \right]$$

$$w_w = 0.4385 \left[\frac{\text{kg.humedad}}{\text{kg.sólido.húmedo}} \right] \text{ humedad promedio en base húmeda.}$$

El porcentaje de humedad en la muestra es de un 43.85% y se le debe retirar la humedad necesaria para llevarla hasta un 15%.

El 15% de humedad al ser interpretado en humedad en base seca es el siguiente valor $w_{d2} = 0.17647$ (Kg. de hum/ Kg. de sólido seco) y es al valor al cual debe llegar la humedad en la pollinaza después del proceso de secado.

4.2.1. Cálculo de la rata de humedad a retirar de la pollinaza por el secador

Para saber el peso de la pollinaza después del proceso de secado, es necesario conocer la cantidad de humedad a retirar de la pollinaza por cuenta del secador, para así poder hacer la diferencia de pesos y conocer el peso final de la pollinaza.

Basándonos en los datos de la sección anterior hallaremos la rata de pollinaza seca que ingresa al secador al suministrarle 250 kg/h de sólido húmedo.

$$\dot{m}_p = 250 [\text{kg/h}] \text{ Rata de pollinaza húmeda que ingresa al secador}$$

$$\dot{m}_s = \dot{m}_p - w_w \times \dot{m}_p \text{ Rata de sólido seco que circula por el secador.}$$

$\dot{m}_{w1} = w_{w1} \times \dot{m}_p = 0.4385 \times 250 = 109.625 \text{ (kg.humedad / h)}$ Rata de humedad en entrada del secador.

$$\dot{m}_s = 250 - 109.625$$

$$\dot{m}_s = 140.375 \text{ (kgs.s / h)}$$

$\dot{W} = \dot{m}_{w1} - \dot{m}_{w2}$ Rata de humedad a retirar de la pollinaza por el secador

$W_{w2} = \frac{\dot{m}_{w2}}{\dot{m}_{w2} + \dot{m}_s}$ Humedad en base húmeda a la salida del secador

$$0.15 = \frac{\dot{m}_{w2}}{\dot{m}_{w2} + 140.375}$$

Despejamos la rata de humedad a la salida \dot{m}_{w2} del secador.

$$\dot{m}_{w2} = \frac{0.15 \times 140.375}{1 - 0.15}$$

$$\dot{m}_{w2} = 24.77206 \text{ [Kg. Humedad/hora]}$$

$$\dot{W} = 109.625 - 24.77206$$

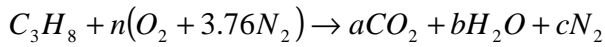
$\dot{W} = 84.853 \text{ (kg / h)}$ Rata de humedad a retirar.

$$\dot{W} = \dot{m}_{wi} - W = 109.625 - 84.853$$

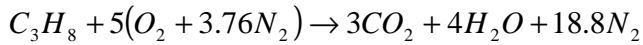
$\dot{W} = 24.754 \text{ (kg / h)}$ Rata de humedad a la salida del secador.

$$\dot{m}_{p2} = 250 - 84.853 = 165.147 \text{ [Kg / h]} \text{ Flujo de masico de pollinaza final.}$$

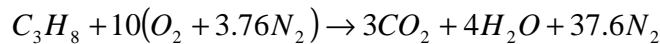
4.3. COMBUSTION TEORICA DEL PROPANO



$$a=3 \quad b=4$$



- Suponiendo 200% de aire de exceso en esta operación.



- Cantidad de aire suministrado para la combustión:

$$m_a = 10(32 + 3.76 \cdot 28)$$

$$m_a = 1372.8 \text{ Kg.}$$

- Cantidad de combustible suministrado.

$$m_f = 1 \cdot (12 \cdot 3 + 8)$$

$$m_f = 44 \text{ Kg.}$$

- Relación aire combustible

$$\left. \frac{A}{F} \right|_m = 31.2 \left[\frac{\text{kg aire}}{\text{kg combustible}} \right]$$

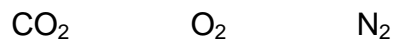
- Cantidad de agua en los gases producto.

$$m_w = 4 (2 + 16)$$

$$m_w = 72 \text{ Kg.}$$

- Cantidad de gases secos en los productos:

$$m_t = 3(32 + 12) + 5(32) + 37.6 (28)$$



$$m_t = 1344.8 \text{ Kg.}$$

- Temperatura de llama adiabática.

Según los cálculos de llama adiabática la temperatura de los gases debe ser $T_g = 1511 \text{ K} = 1240 \text{ }^\circ\text{C}$

Pero se encontró que la temperatura de los gases por pérdidas de calor

es aproximadamente 600C° al final de la llama y de acuerdo a este dato nos basaremos en los cálculos de la temperatura de entrada del aire.

- Humedad de los gases de combustión.

$$w_g = m_w / m_t$$

$$w_g = 72/1344.8 \quad w_g = 0.05354 \text{ [kg vapor / kg aire seco]}$$

- Medida de la humedad en el aire (Bucaramanga).

$$P_{atm} = 91.2 \text{ kPa} \quad \Phi = 80\% \quad T = 25^\circ\text{C}$$

$$w_a = 0.6213 * \frac{\Phi * P_{25^\circ\text{C}}^*}{P_{atm} - \Phi P_{25^\circ\text{C}}^*}$$

$$P_{25^\circ\text{C}}^* = 3.169 \text{ kPa}$$

$$w_a = 0.6213 * \frac{0.8 * 3.169}{91.2 - 0.8 * 3.169}$$

$$w_a = 0.017765 \text{ [kg vapor / kg aire seco]}$$

Nota: para cuestiones de cálculo se utilizara un promedio de la humedad del ambiente y la de los gases de combustión.

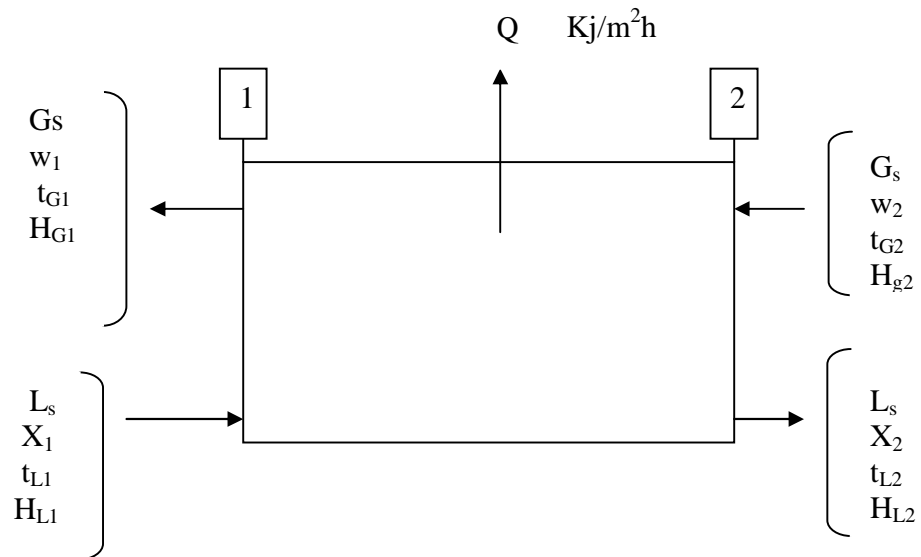
$$w = (w_a + w_g) / 2$$

$$w = (0.017765 + 0.05354) / 2$$

$w = 0.03565$ [kg vapor / kg aire seco] Humedad del aire a la entrada del secador.

4.4. BALANCE DE ENERGIA Y MATERIA EN EL SECADOR

Figura 7. Balance de materia y entalpía, secador continuo



Fuente: Robert E. Treybal. Operaciones de Transferencia de Masa. Pagina 774.

Definición de variables:

G_s : Rata de aire seco que se necesita en el secador para las condiciones dadas.

w_1 : Humedad del aire a la salida.

t_{G1} : Temperatura del aire a la salida.

H_{G1} : Entalpía del aire a la salida.

w_2 : Humedad del aire a la entrada.

t_{G2} : Temperatura del aire a la entrada.

H_{G2} : Entalpía del aire a la entrada.

L_s : Flujo de sólido seco que va a pasar por el secador.

X_1 : Humedad del sólido a la entrada.

t_{L1} : Temperatura del sólido a la entrada.

H_{L1} : Entalpía del sólido a la entrada.

X_2 : Humedad del sólido a la salida.

t_{L2} : Temperatura del sólido a la salida.

H_{L2} : Entalpía del sólido a la salida.

Balance de materia:

$$L_s X_1 + G_s w_2 = L_s X_2 + G_s w_1$$

Balance de energía:

$$L_s H_{L1} + G_s H_{G2} = L_s H_{L2} + G_s H_{G1} + \dot{Q}$$

Condiciones de entrada y salida del sólido:

$$L_s = 140.375 \text{ [kg s.s / h]}$$

$$X_1 = 0.78662 \text{ [kg hum / kg s.s]}$$

$$t_{L1} = 40 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$X_2 = 0.17647 \text{ [kg hum / kg s.s]}$$

$$t_{L2} = 120 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Condiciones de entrada y salida del gas:

$$G_s = ?$$

$$w_1 = ?$$

$$t_{G1} = 70 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$w_2 = 0.03565 \text{ [kg v / kg a.s]}$$

$$t_{G2} = 150 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$t_w = 48.888 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Entalpía del sólido:

$$H_l = C_{p_p} t_L + X C_L t_L$$

C_{p_p} = Calor específico de la Pollinaza.

C_L = Calor específico de la humedad como líquido (agua) = 4.18 Kg. /Kg.

$$H_{L1} = 1.73 * 40 + 0.78662 * 4.18 * 40$$

H_{L1} = 200.7232 kJ/kg entalpía a la entrada del secador.

$$H_{L2} = 1.73 * 120 + 0.78662 * 4.18 * 120$$

H_{L2} = 296.1174 kJ/kg entalpía a la salida del secador.

Entalpía del gas:

$$H_G = (C_{pa} + C_{pv} w) (t_G) + \lambda_0 w$$

C_{pa} = Calor específico del aire = 1.005 [kJ/kg]

C_{pv} = Calor específico del vapor = 1.8723 [kJ / kg]

λ_0 = Calor latente de vaporización = 2500.9 [kJ / kg]

$$H_{G2} = (1.005 + 1.8723 * 0.03565) (150) + (2500.9 * 0.03565)$$

H_{G2} = 249.919 kJ/kg entalpía del aire a la entrada del secador.

Calor de pérdidas en el secador [\dot{Q}]:

Al no tener aun medidas de longitud ni diámetro se asume el calor Q como el 15% de la entalpía de entrada del aire.

$$\dot{Q} = 0.15 * H_{G2} * G_s$$

$$\dot{Q} = 0.15 * 249.919 * G_s$$

$$\dot{Q} = 37.487 * G_s$$

Solucionando encontramos la rata de gas y la humedad del gas a la salida

para estas condiciones.

Reemplazando en el balance de energía y de materia se tiene:

$$140.375 * 200.7232 + G_s * 249.919 = 140.375 * 296.1174 + G_s * H_{G1} + 37.487 * G_s$$

$$212.432 G_s = 13390.961 + G_s * H_{G1} \quad \underline{1}$$

$$140.375 * 0.78662 + G_s * 0.03565 = 140.375 * 0.17647 + G_s * w_1$$

$$\frac{885.65 + 0.03565 * G_s}{G_s} = w_1 \quad \underline{2}$$

Reemplazando 2 en H_{G1} se tiene que:

$$H_{G1} = (C_{pa} + C_{pv} w) (t_G) + \lambda_0 w$$

$$H_{G1} = (1.005 + 1.8723 * \left[\frac{85.65 + 0.03565 G_s}{G_s} \right]) * 70 + 2500.9 \left[\frac{85.65 + 0.03565 G_s}{G_s} \right]$$

$$H_{G1} = 70.35 + \frac{11225.374}{G_s} + 4.67231 + \frac{214202.085}{G_s} + 89.157$$

$$H_{G1} = 164.179 + \frac{225427.459}{G_s}$$

Reemplazando en 1 se tiene que:

$$212.432 G_s = 13390.961 + G_s \left[164.179 + \frac{225427.459}{G_s} \right]$$

$$212.432 G_s = 13390.961 + 164.179 G_s + 225427.459$$

$$48.253 G_s = 238818.42$$

$G_s = 4949.3$ [Kg. a.s/h] Rata de aire seco que se necesita en el secador para las condiciones.

Ahora reemplazando G_s en 2 se tiene:

$$w_1 = 0.052955$$

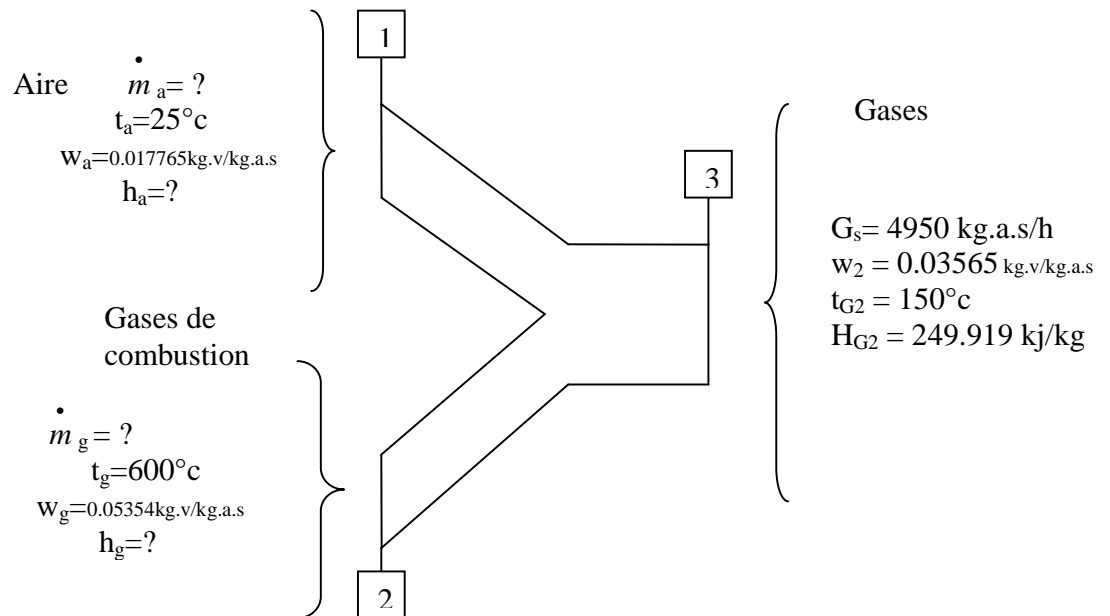
4.5. MEZCLA Y CANTIDADES DE AIRE – GASES DE COMBUSTION.

$$G_s = \dot{m}_a + \dot{m}_g \quad \underline{1}$$

$$G_s * w_2 = \dot{m}_a w_a + \dot{m}_g w_g \quad \underline{2}$$

$$G_s * H_{G2} = \dot{m}_a h_a + \dot{m}_g h_g \quad \underline{3}$$

Figura 8: Mezcla de aire – gases de combustión



Utilizando la ecuación para la entalpía del gas, se obtiene h_a y h_g .

$$h_a = (C_{pa} + C_{pv} w_a) (t_a) + \lambda_0 w_a$$

$$h_a = (1.005 + 1.8723 * 0.017765) * 25 + 2500.9 * 0.017765$$

$$h_a = 70.385 \text{ kJ/kg Entalpía del aire}$$

$$h_g = (C_{pa} + C_{pv} w_g) (t_g) + \lambda_0 w_g$$

$$h_g = (1.005 + 1.8723 * 0.005354) * 600 + 2500.9 * 0.05354$$

$$h_g = 797.044 \text{ kJ/kg Entalpía de los gases de combustión.}$$

Ahora reemplazando h_a y h_g en **3**.

$$4950 * 249.919 = \dot{m}_a * 70.385 + \dot{m}_g * 797.044$$

$$\frac{1237099.05 - \dot{m}_a * 70.385}{797.044} = \dot{m}_g$$

$$\dot{m}_g = 1552.1088 - \dot{m}_a * 0.0883076$$

Reemplazando \dot{m}_g en **1**.

$$4950 = \dot{m}_a + 1552.1088 - \dot{m}_a * 0.0883076$$

$$3397.8912 = 0.9117 * \dot{m}_a$$

$$\dot{m}_a = 3726.984 \text{ kg a.s/ h} \quad \text{Cantidad de aire suministrada a la mezcla.}$$

$$\dot{m}_g = 1223.01612 \text{ kg a.s/ h} \quad \text{Cantidad de gases de combustión a suministrar a la mezcla.}$$

4.6. DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD DEL SECADOR

Método por unidades de transferencia de calor.

Separación ideal del secador.

Análisis de datos

L= flujo de sólidos: 140.375 kgs.s/h = 308.825 lb s.s / h

G= flujo de aire: 4950 kg a.s/h = 10890 lb a.s/h

$T_2 = 150^\circ\text{C} = 302^\circ\text{F}$

$t_2 = 120^\circ\text{C} = 248^\circ\text{F}$

$C_p = 0.4131 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}$

$N_t = \#$ de unidades de transferencia

$L_t =$ longitud de las unidades de transferencia (pies).

$Z =$ longitud Del secador (pies)

$G_s =$ velocidad masica (lb aire seco / h. pie^2)

$C_s =$ calor húmedo del aire (Btu / lb $^\circ\text{F}$)

$U =$ coeficiente global de transferencia de calor (Btu / h pie^2 $^\circ\text{F}$)

$a =$ superficie para la transferencia de calor o masa por unidad de volumen ($\text{pie}^2 / \text{pie}^3$).

$U_p =$ Coeficiente para flujo de aire paralelo a la superficie del sólido.

$U_n =$ Coeficiente para flujo normal a la superficie del sólido.

$S =$ area para transferencia de masa o calor en el lecho de sólidos ($\text{pie}^2 / \text{pie}^3$).

$e =$ Porosidad, definida como (volumen de espacio vacío/volumen total de material seco)

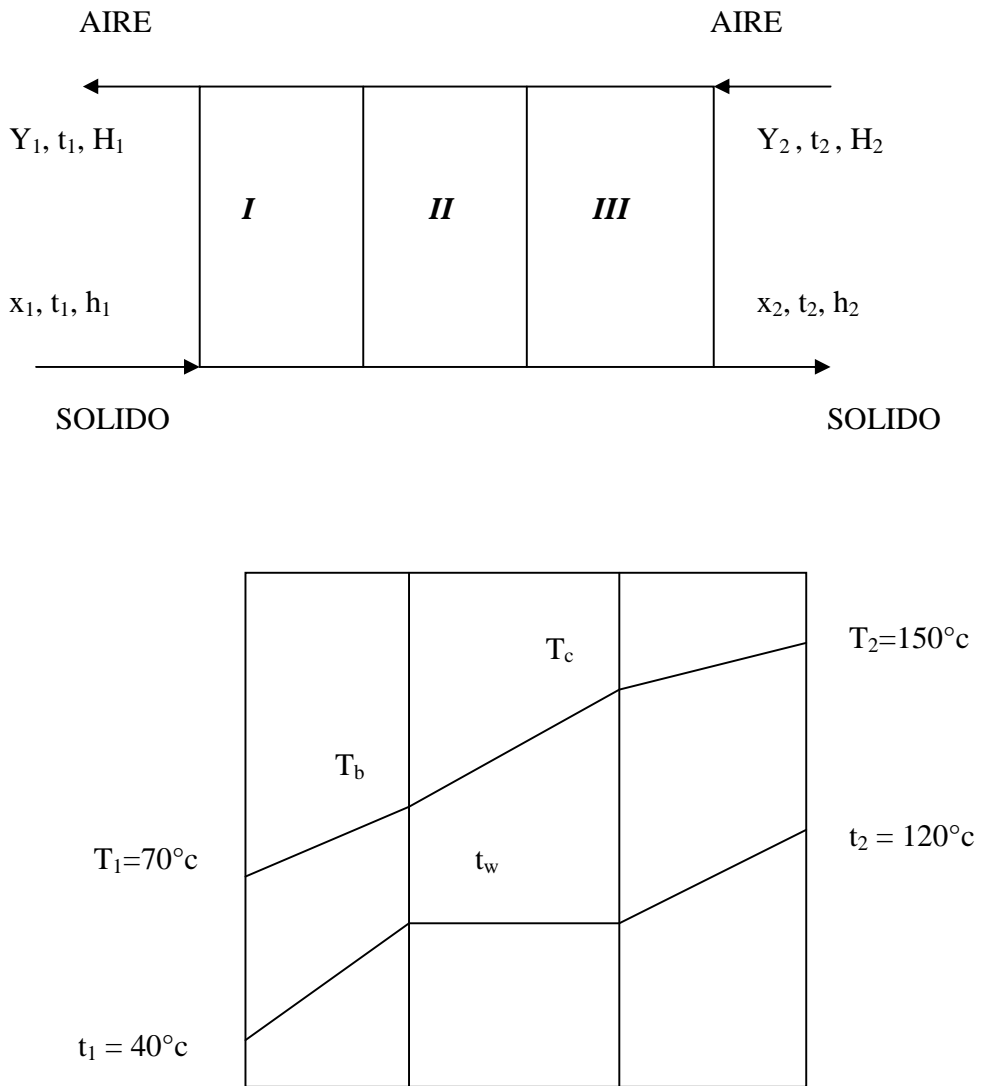
$\phi =$ Factor de forma.

$D_p =$ diámetro promedio de las partículas.

Según el libro de Perry el Manual del Ingeniero Químico, un secador rotativo

debe operar en un rango “n” del 3% al 12% de su volumen total para evitar atascamientos.

Figura 9. Separación ideal del secador.



Fuente: Obtenido del libro introducción al secado por aire caliente.

La velocidad del aire de un secador rotativo debe oscilar entre 200 y 10000 [lb/h.pie²].

El diámetro del cilindro debe estar en un rango entre 1 – 10 pies.

4 < L/D < 10 relación largo /diámetro.

4.6.1 Cálculo de las unidades de transferencia.

Análisis en el interior del secador.

$$T_c = T_2 - \frac{C_p * L}{C_s * G} (T_2 - T_w)$$

Para hallar Tw se asume que la psicrometría de la mezcla gas propano – aire es la misma que la del aire, según capítulo 3 manual del ingeniero químico.

$$T_G - t_w = \frac{\lambda_w * (y'_w - Y_w)}{\frac{h_G}{k_Y}}$$

Según tabla 3.3

$$\frac{h_G}{k_Y} = 0.294(Sc)^{0.56} \quad Sc = 0.6 - 3 \quad \text{suponemos un dato intermedio de 2.}$$

$$\frac{h_G}{k_Y} = 0.294(2)^{0.56} = 0.431 \text{ Btu} / \text{lb}^\circ \text{f}$$

$$Y_w = 0.03565 \text{ lb a.h} / \text{lb a.s}$$

$$T_G = 302 = T_2 \quad 302 - t_w = \frac{\lambda_w}{0.431} (y'_w - Y_w)$$

$$\text{Si se supone que } t_w = 580 \text{ R} = 120^\circ \text{f} \quad \lambda = 138.66 \text{ Btu/lb}$$

$$P_a = 1.6945 \text{ psi}$$

$$P_v = \phi P_a$$

$$P_v = 0.8 * 1.6945 = 1.3566 \text{ psi} = 70.164 \text{ mmHg}$$

$$Y'w = \frac{70.164}{760 - 70.164} * \frac{92.1}{29} = 0.3230 \text{ lb a.h / lb a.s}$$

$$T_G = 120 + \frac{138.66}{0.431}(0.3230 - 0.03565)$$

$$T_G = 212.44\text{f} \neq 302\text{f}$$

Se supone otro valor asi se comprueba que el dato es de $t_w = 137\text{f}$

$$C_s = 0.24 + 0.44 Y_2$$

$$C_s = 0.24 + 0.446 (0.03565) = 0.2559 \text{ Btu / lb f}$$

$$T_c = 302 - \frac{0.4131 * 308.825}{0.2559 * 10890} (248 - 137)$$

$$T_c = 296.92\text{f}$$

$$T_b = T_1 + \frac{L}{G} \left(\frac{C_p + X_1 C_w}{C_s} \right) (T_w - t_1)$$

$$X_1 = 0.7857 \text{ lb/lb s.s \% inicial del 44\%}$$

$$C_w = 1 \text{ Btu/lb f}$$

$$T_1 = \text{temperatura del aire a la salida} = 158\text{f}$$

$$t_1 = 104\text{f entrada del solido.}$$

$$T_b = 158 + \frac{308.825}{10890} * \left(\frac{0.4131 + 0.7857}{0.2559} \right) (137 - 104)$$

$$T_b = 162.384 \text{ f}$$

- Unidades de transferencia en la zona I

$$Nt_1 = \frac{T_b - T_1}{\Delta T m_1}$$

$$\Delta T m_1 = \frac{(T_b - T_w) - (T_1 - t_1)}{\ln \frac{(T_b - T_w)}{(T_1 - t_1)}}$$

$$\Delta T m_1 = \frac{(162.384 - 137) - (158 - 104)}{\ln \frac{(162.384 - 137)}{(158 - 104)}}$$

$$\Delta Tm_1 = 37.91 \text{ f}$$

$$Nt_1 = \frac{162.384 - 158}{37.91} = 0.115642$$

- Unidades de transferencia en la zona II

$$Nt_{II} = \frac{Tc - Tb}{\Delta Tm_{II}}$$

$$\Delta Tm_{II} = \frac{(Tc - Tw) - (Tb - t_w)}{\ln \frac{(Tc - Tw)}{(Tb - t_w)}}$$

$$\Delta Tm_{II} = \frac{(296.92 - 137) - (162.384 - 137)}{\ln \frac{(296.92 - 137)}{(162.384 - 137)}}$$

$$\Delta Tm_{II} = 75.812$$

$$Nt_{II} = \frac{296.92 - 162.384}{75.812} = 1.7746$$

- Unidades de transferencia en la zona III

$$Nt_{III} = \frac{T_2 - Tc}{\Delta Tm_{III}}$$

$$\Delta Tm_{III} = \frac{(T_2 - t_2) - (Tc - t_w)}{\ln \frac{(T_2 - t_w)}{(Tc - t_w)}}$$

$$\Delta Tm_{III} = \frac{(302 - 248) - (296.92 - 137)}{\ln \frac{(302 - 248)}{(296.92 - 137)}}$$

$$\Delta Tm_{III} = 97.56011$$

$$N_{t_{II}} = \frac{302 - 296.92}{97.56011} = 0.052070$$

Total de unidades de transferencia.

$$N_t = N_{t_i} + N_{t_{II}} + N_{t_{III}}$$

$$N_t = 0.115642 + 1.7746 + 0.052070$$

$$N_t = 1.942312$$

Longitud de unidades de transferencia.

$$L_T = \frac{G_s * C_s}{U * a}$$

Velocidad masica por unidad de superficie; se supone un valor dentro del rango dado en el libro del manual del ingeniero químico de Perry.

$$200 < G_s < 10000 \text{ [lb/h pie}^2\text{]}$$

Asumiendo un valor de 6000 [lb/h pie²] y aplicando.

$$De = \left[\frac{4 * 10890}{\pi * 6000} \right]^{1/2} = 1.5201 \text{ pies} = 46.332 \text{ cm} \text{ Dentro del rangote } 1 < De < 10.$$

Coefficiente Global de transferencia de calor (Flujo Paralelo)

$$U_p = 0.0128 (G_s)^{0.8}$$

$$U_p = 0.0128 (6000)^{0.8} = 13.48 \text{ Btu/h pie}^2 \text{ } \checkmark$$

Coefficiente Global de transferencia de calor (Flujo Normal)

$$U_n = 0.37 (G_s)^{0.37}$$

$$U_n = 0.37 (6000)^{0.37} = 9.24 \text{ btu/h. pie}^2 \text{ } \checkmark$$

$$U = \frac{U_p + U_n}{2} = \frac{9.24 + 13.48}{2} = 11.36 \text{ btu/h. pie}^2 \text{ } \checkmark$$

Superficie efectiva de secado

$$a = n * s$$

n : rango permitido de porcentaje volumétrico entre 3% < 12%

Se asume $n = 10\%$.

Partículas de tamaño aproximado de 2 mm de diámetro aproximadamente.

$s =$ área para La transferencia de calor o masa en el lecho de los sólidos
[$\text{pie}^2 / \text{pie}^3$].

$\Phi_s =$ factor de forma según el libro Operaciones de Transferencia De Masa.

$e = 0.739$ porosidad según prueba de laboratorio.

$$s = \frac{6(1 - e)}{\phi_s * D_p}$$

$$s = \frac{6(1 - 0.739)}{0.69 * 2^{-3} * 3.281}$$

$$s = 345.86 \text{ [pie}^2 / \text{pie}^3 \text{].}$$

$$a = n * s = 0.1 * 345.86 = 34.586 \text{ [pie}^2 / \text{pie}^3 \text{].}$$

Longitud de las unidades de transferencia.

Zona I

$$L_{T1} = \frac{6000 * 0.2559}{11.36 * 34.586} = 3.9$$

Zona II

$$C_s = 0.24 + 0.446 \left(\frac{y_1 + y_2}{2} \right)$$

$$C_s = 0.24 + 0.446 \left(\frac{0.050316 - 0.03565}{2} \right)$$

$$C_s = 0.2432 \text{ Btu/lb}^\circ\text{f}$$

$$L_{TII} = \frac{6000 * 0.2432}{11.36 * 34.586} = 3.71$$

Zona III

$$L_{TIII} = \frac{6000 * 0.25389}{11.36 * 34.586} = 3.8778$$

Longitud total de las unidades de transferencia.

$$Z = (L_T * N_T)_I + (L_T * N_T)_{II} + (L_T * N_T)_{III}$$

$$Z = (3.9 * 0.115642)_I + (3.71 * 1.7746)_{II} + (3.8778 * 0.052070)_{III}$$

$$Z = 7.2367 \text{ pies} = 2.20 \text{ m}; \text{ Se asume por factor de seguridad } Z = 2.4.$$

$$L/D = 7.2367 / 1.5201 = 4.7606 \text{ dentro del rango.}$$

$$4 < L/D < 10.$$

4.7. DISEÑO DE LAS ALETAS.

$n = 10\%$ Volumen del producto retenido en el secador.

$$V = 0.1 * V_e.$$

$V_e =$ volumen efectivo del secador.

$$V_e = \frac{\pi}{4} * D_e^2 * L_e$$

$$V_e = \frac{\pi}{4} * 46.4^2 * 220 = 372004.78 \text{ cm}^3$$

$$V = 0.1 * 37200.47825 \text{ cm}^3$$

$$V = \frac{n_f * A_f}{2} * L_e$$

$n_f =$ # de aletas.

$L_e =$ long del secador.

En estudios de Friedman y Marshall para secadores de pequeñas dimensiones se recomienda un numero de aletas entre 6 – 12; se asume un # de 8 aletas.

$$n_f * A_f = \frac{2V}{L_e}$$

$$n_f * A_f = \frac{2 * 37200.47825}{220}$$

$$n_f * A_f = 338.186 \text{ cm}^2.$$

$$A_f = 338.1786/12 = 28.1822 \text{ cm}^2. \text{ Tomando } n_f = 12.$$

A_f : área en sección transversal proyectada entre aleta y cilindro.

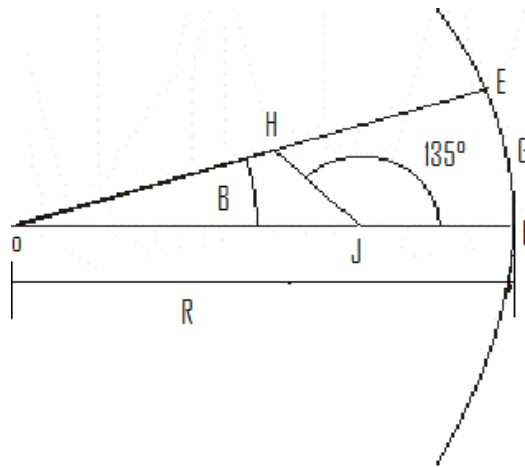
Angulo del labio de la aleta.

Basándonos en el manual del ingeniero químico y en el tipo de material a secar el mejor tipo de aleta es una con un ángulo de 135° .

Figura 10. Perfil de las aletas



Características de la aleta.



Fuente: Archivo de los autores.

Asumiremos una relación entre la altura de la aleta y su labio:

$h/b = 1.5$; h = altura de la aleta; b =labio de la aleta.

Podemos decir que el área transversal de la aleta es igual a la diferencia entre el área DEGFO y el área del triangulo OHJO.

$$A_f = A_1 - A_2 \quad \underline{1}$$

$$A_1 = \frac{\pi R^2 \beta}{360}$$

$$A_2 = \frac{(R-h) * t}{2}; \quad R = R_e * \cos \beta + b * \cos 45 + h$$

$R_e = D_e / 2 =$ radio efectivo Del secador $= 1.52/2 = 0.76$ pies $= 23.166$ cm.

$$T = b * \cos 45^\circ$$

β = ángulo del área transversal.

Reemplazando en 1.

$$A_f = \frac{\pi R^2 \beta}{360} - \frac{(R-h) * t}{2}$$

$$28.1822 = \frac{\pi * (R_e * \cos \beta + (h/1.5) * \cos 45 + h)^2 * \beta}{360} -$$

$$\frac{(23.166 * \cos \beta + 0.4714 * h) b \cos 45}{2} \quad \underline{\underline{2}}$$

$$\text{Sen } \beta = t/\text{Re} ; \text{ Sen } \beta = \frac{b \cos 45^\circ}{\text{Re}}$$

$$\text{Sen } \beta = \frac{h \cos 45^\circ}{1.5 \text{Re}} ; \text{ Sen } \beta = \frac{h * \cos 45}{1.5 * 25.15}$$

$$\text{Sen } \beta = 0.0187437 * h \quad \underline{\underline{3}}$$

Solucionando simultáneamente 2 y 3 se obtiene.

$$\beta = 6.4573; \quad h = 6 \text{cm}; \quad b = 4 \text{cm}$$

1. Diámetro final del secador (real).

$$D = 2R; \quad D = 2(\text{Re} * \cos \beta + b * \cos 45 + h)$$

$$D = 2(23.166 * \cos 6.4573 + 4 * \cos 45 + 6)$$

$$D = 64 \text{ cm.}$$

2. Longitud final del secador.

$$L = L_e * N; \quad N = 1.1 \text{ factor de corrección.}$$

$$L = 2.20 * 1.1$$

$L = 2.40 \text{ m}$; a L se L_e agregan 20cm mas correspondientes a los espirales de entrada y salida, 10cm a La entrada y 10 a La salida.

3. Pasos de las aletas.

La separación angular de las aletas será:

$$\theta = \frac{360}{n_f}; \frac{360}{12}$$

$$\theta = 30^\circ$$

4. Paso circunferencial

$$\text{Paso} = \frac{\pi * D}{n_f} \Rightarrow p = \frac{\pi * 63.7}{12}$$

$$P = 16.676 \text{ cm.}$$

5. Rendimiento térmico del secador.

$$n_f = \frac{T_2 - T_1}{T_2 - T_0} * 100$$

$$n_f = \frac{150 - 70}{150 - 25} * 100$$

$$n_f = 64\%$$

4.8. POTENCIA CONSUMIDA POR EL SECADOR

Peso muerto= W_m =peso tambor+peso aletas+peso espirales+peso anillos+ otros.

E = espesor de la lamina c14= 1.897mm.

ρ = Densidad del acero = 7850 kg/m³.

V_{cil} = perímetro* e * l .

$$V_{cil} = (2\pi * 0.32) * (1.897 * 10^3) * 2.6$$

$V_{cil} = 9.916 * 10^{-3} \text{ m}^3$ volumen del cilindro.

$W_{cil} = V_{cil} * \rho$.

$$W_{cil} = 9.916 * 10^{-3} * 7850.$$

$W_{cil} = 77.85 \text{ kg}$ peso cilindro.

V_{con} = volumen del cono.

$$V_{con} = \frac{\pi(D+d)}{2} * l * e.$$

$$V_{con} = \frac{\pi(0.637 + 0.4)}{2} * 0.15 * 1.897 * 10^{-3}$$

$V_{con} = 4.63 * 10^{-4} \text{ m}^3$. Volumen del cono.

$W_{con} = V_{con} * \rho$

$$W_{con} = 4.63 \cdot 10^{-4} \cdot 7850.$$

$$W_{con} = 3.64 \text{ kg. Peso del cono.}$$

Peso de las aletas.

$$\text{Area de cada aleta} = h \cdot l + b \cdot l.$$

$$\text{Area de cada aleta} = 240 \cdot (0.04 + 0.06) = 0.24 \text{ m}^2.$$

$$V_a = A_a \cdot e$$

$$V_a = 0.24 \cdot 1.897 \cdot 10^{-4} \text{ volumen de cada aleta.}$$

W_a = peso de cada aleta.

$$W_a = V_a \cdot \rho$$

$$W_a = 4.5528 \cdot 10^{-4} \cdot 7850$$

$$W_a = 3.6 \text{ kg peso de cada aleta.}$$

$$W_{\text{todas las aletas}} = W_{fa} = W_a \cdot 12 = 42 \text{ kg.}$$

Peso de cada espiral.

$$L = 10 / \cos 45^\circ = 14.1421$$

$$A_{esp} = (h + b \cos 45^\circ) \cdot l$$

$$A_{esp} = (6.3 + 4.5 \cos 45^\circ) \cdot 10 / \cos 45^\circ.$$

$$A_{esp} = 0.01341 \text{ m}^2.$$

$$V_{esp} = A_{esp} \cdot e$$

$$V_{esp} = 0.01341 \cdot 1.897 \cdot 10^{-3}$$

$$V_{esp} = 2.54 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$W_{esp} = V_{esp} \cdot \rho \cdot 24$; 24 es el numero de espirales.

$$W_{esp} = 2.54 \cdot 10^{-5} \cdot 7850 \cdot 24.$$

$$W_{esp} = 4.7925 \text{ kg peso de los espirales.}$$

Las varillas que unen el aro motriz como las varillas guias son de acero de $\frac{1}{2}$ ".

$$\text{Longitud de cada aro} = 2\pi r_a$$

$$r_a = 35 \text{ cm.}$$

Laro = $2\pi \cdot 0.35 = 2.2$ m; el numero de aros es 2.

Area de cada aro = $\pi r^2 = 1.26644 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$.

Waros = Laro * Aaros * ρ * # de aros

Waros = $2.2 * 1.26677 \cdot 10^{-4} * 7850 * 2$

Waros = 4.4 kg. Peso de los aros.

Peso varillas de unión.

Wvarillas = $a * l * \# * \rho$.

Wvarillas = $1.26677 \cdot 10^{-4} * 18 * 0.03 * 7850$.

Wvarillas = 0.537 kg. Peso varillas.

Peso de la rueda.

$r_r = 35$ cm. Ancho = 3cm.

Arueda = ancho de la rueda * l rueda; a rueda = $0.03 * 2.2 = 0.066 \text{ m}^2$.

Wrueda = Arueda * e * ρ .

Wrueda = $0.066 * 1.897 \cdot 10^{-3} * 7850$.

W rueda 1 kg peso de la rueda.

Peso de la soldadura se aproxima a 5kg.

Peso alma.

Lalma = $2\pi r_a = 2\pi * 0.351897 = 2.210$ m.

Walma = Lalma * Aancho * e * ρ .

Walma = $2.2110 * 0.05 * 2 \cdot 10^{-3} * 7850$

Walma = 1.735661kg.

Peso muerto.

$W_m = W_{cil} + W_{Qcon} + W_{fa} + W_{esp} + W_{aros} + W_{varillas} + W_{ruedas} + W_{sol} + W_{alma}$.

$W_m = 77.85 + 3.64 + 43 + 4.8 + 4.4 + 0.54 + 1 + 5 + 4.75$.

$W_m = 142$ kg peso muerto.

Peso vivo.

El volumen que ocupara la carga sera el 15% del volumen del secador.

$$W_v = (V_{cil} - V_{al}) * 0.12 * \rho_{pollinaza}$$

$$\rho_{pollinaza} = 0.35967 / 1.008 * 10^{-3}$$

$$\rho_{pollinaza} = 356.815 \text{ kg / m}^3$$

$$V_{cil} = \pi r^2 * l = 0.836417 \text{ m}^3.$$

$$V_{al} = 4.5528 * 10^{-4} * 12 = 5.46336 * 10^{-3}.$$

$$W_v = (0.801025 - 5.343 * 10^{-3}) * 0.12 * 356.8154$$

$$W_v = 35.58 \text{ kg. Peso vivo.}$$

Peso total.

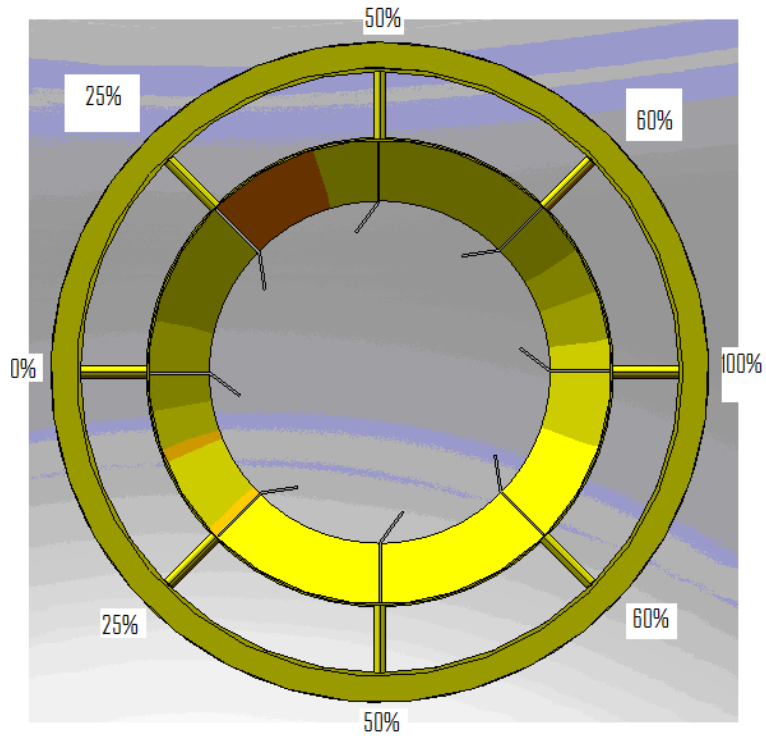
$$W_t = W_v + W_m.$$

$$W_t = 142 + 35.6$$

$$W_t = 177.6 \text{ kg. Peso tota.}$$

Cálculo del torque.

Figura 11. Distribución del porcentaje de producto en las aletas.



Fuente: Archivo de los autores.

Volumen máximo que soportan las aletas.

$$V_a = A_f \cdot l$$

$$V_a = 28.1822 \cdot 240$$

$$V_a = 6.764 \cdot 10^{-3}$$

Este volumen máximo en las aletas representa el 100%.

Su distribución será:

$$\text{Aleta 1} = V = 7.186 \cdot 10^{-3}; \quad W_p = 2.56 \text{ Kg.}$$

$$\text{Aleta 2} = V = 5.3895 \cdot 10^{-3}; \quad W_p = 1.9230 \text{ Kg.}$$

$$\text{Aleta 3} = V = 4.3116 \cdot 10^{-3}; \quad W_p = 1.5384 \text{ Kg.}$$

$$\text{Aleta 4} = V = 3.593 \cdot 10^{-3}; \quad W_p = 1.2820 \text{ Kg.}$$

Aleta 5= $V=1.7965 \cdot 10^{-3}$; $Wp=0.64$ Kg.

Aleta 6= $V=7.186 \cdot 10^{-3}$; $Wp=0.256$ Kg.

Masa acumulada o en cascada en el secador

Se asume cuando todo esta en la parte baja del secador.

$Wp = 23.722$ kg; $Vac= 0.0665$ m³ volumen acumulado en la parte baja.

Debemos encontrar el centro de masa para la carga viva.

$MR = m_1r_1 + m_2r_2 + m_3r_3 + \dots + m_n r_n$.

$X = (m_1x_1 + m_2x_2) / M$; $Y = (m_1y_1 + m_2y_2) / M$.

$X = [(2.56 \cdot 0.2963) + (1.9230 \cdot 0.1482) + (1.5384 \cdot 0.1482) - (1.2820 \cdot 0.018) - (0.64 \cdot 0.1482) + (0.256 \cdot 0.25667) + (23.722 \cdot 0)] / 34.07$

$X = 0.038$ m.

$Y = [(2.56 \cdot 0.018) + (1.9230 \cdot 0.1482) + (1.5384 \cdot 0.52667) + (1.2820 \cdot 0.2963) + (0.64 \cdot 0.25667) + (0.256 \cdot 0.1482) - (23.722 \cdot 0.27)] / 34.07$

$Y = -0.15$ m.

Análisis de fuerzas y torque asumiendo un $\mu=0.1$.

$\uparrow + \sum F_y = 0$; $F_f = \mu * N$.

$2 * (N_1 * \cos 30) + 2 * (N_2 * \cos 30) - 2 * (F_{f2} * \sin 30) + 2 * (F_{f1} * \sin 30) - W_m - W_v = 0$

$2 * (N_1 * \cos 30) + 2 * (N_2 * \cos 30) - 2 * (\mu * N_2 * \sin 30) + 2 * (\mu * N_1 * \sin 30) - W_m - W_v = 0$

$2 * N_1 (\cos 30 + \mu * \sin 30) + 2 * N_2 (\cos 30 - \mu * \sin 30) - W_m - W_v = 0$ **1**

$\rightarrow + \sum F_x = 0$

$2 * (N_1 * \sin 30) + 2 * (N_2 * \sin 30) - 2 * (F_{f1} * \cos 30) + 2 * (F_{f2} * \cos 30) = 0$

$2 * N_1 (\sin 30 + \mu * \cos 30) - 2 * N_2 (\sin 30 - \mu * \cos 30) = 0$

$N_1 = \frac{N_2 (\sin 30 + \mu \cos 30)}{(\sin 30 - \mu \cos 30)}$; **2**

Reemplazando 2 en 1.

$$2 * \frac{N_2(\text{sen}30 + \mu \cos 30)}{(\text{sen}30 - \mu \cos 30)} * (\cos 30 + \mu * \text{sen}30) + 2 * N_2 (\cos 30 - \mu * \text{sen}30) =$$

$$W_m + W_v$$

$$2 * N_2 \left[\frac{(\text{sen}30 + \mu \cos 30)}{(\text{sen}30 - \mu \cos 30)} * (\cos 30 + \mu * \text{sen}30) + (\cos 30 - \mu * \text{sen}30) \right] = W_m +$$

$$W_v$$

$$N_2 = \frac{136 + 34.07}{2 \left[\frac{(\text{sen}30 + 0.1 \cos 30) * (\cos 30 + 0.1 \text{sen}30)}{(\text{sen}30 - 0.1 \cos 30)} + (\cos 30 - 0.1 \text{sen}30) \right]}$$

$$N_2 = 40.1862 \text{ kg} = 88.41 \text{ lb.}$$

$$N_1 = 57.0234 \text{ kg.}$$

$$F_{f1} = 5.70234 \text{ kg.}$$

$$F_{f2} = 4.01862 \text{ kg.}$$

$$F_1 = 125.4515 \text{ kg.}$$

Calculo del torque

Velocidad max rotación = 15 rpm; Velocidad minima de rotación = 7 rpm.

Velocidad max rotación = 1.5708 rad/s; Velocidad minima de rotación = 0.7330 rad/s.

$$V = \omega * r$$

$$V = 1.5708 * 0.35 ; V_{\text{max}} = 0.55 \text{ m/s.}$$

$$V = 0.7330 * 0.35; V_{\text{min}} = 0.2565 \text{ m/s.}$$

Suponiendo un tiempo de 5 seg en alcanzar la velocidad.

$$a = \alpha * r.$$

$$a_{\text{max}} = V_{\text{max}}/t ; a_{\text{min}} = V_{\text{min}}/t .$$

$$a_{\text{max}} = 0.55/5 = 0.11 \text{ m/s}^2.$$

$$a_{\text{min}} = 0.2565/5 = 0.0513 \text{ m/s}^2.$$

$$\alpha_{\text{max}} = 0.3143 \text{ rad/ s}^2.$$

$$\alpha_{\min} = 0.1466 \text{ rad/ s}^2.$$

Momentos de inercia.

$$I = I_{\text{cilindro}} + 2 * I_{\text{aros}} + 18 * I_{\text{uniones}} + 12 * I_{\text{aletas}} + I_{\text{rueda}}.$$

$$I_{\text{cilindro}} = 1/2 * 72.8 * (0.328^2 + 0.33^2).$$

$$I_{\text{cilindro}} = 7.8775 \text{ kg-m}^2.$$

$$I_{\text{aros}} = 2.2 * 0.35^2 .$$

$$I_{\text{aros}} = 0.27 \text{ kg-m}^2.$$

$$I_{\text{uniones}} = 1/3 ML^2 + Md^2; \quad d = R + e.$$

$$I_{\text{uniones}} = 1/3 * 0.022 * 0.022^2 + 0.022 * 0.33^2.$$

$$I_{\text{uniones}} = 2.4 * 10^{-3} \text{ kg-m}^2.$$

$$I_{\text{rueda}} = 1/2 * M * (R_1^2 + R_2^2).$$

$$I_{\text{rueda}} = 1/2 * 1 * (0.35^2 + 0.354^2).$$

$$I_{\text{rueda}} = 0.124 \text{ kg-m}^2.$$

$$I_{\text{aleta}} = Mh^2/12 + Md^2.$$

$$I_{\text{aleta}} = (3.5 * 0.108^2)/12 + (3.5 * 0.22^2)$$

$$I_{\text{aleta}} = 0.173 \text{ kg-m}^2.$$

$$I_{\text{pollinaza}} = 1/2 M * R^2 * 0.12.$$

$$I_{\text{pollinaza}} = 1/2 * 35.6 * 0.32^2 * 0.12-$$

$$I_{\text{pollinaza}} = 0.218726 \text{ kg-m}^2.$$

$$\sum I = 7.8775 + 2 * 0.27 + 2 * 10^{-3} * 18 + 0.113 * 12 + 0.124 + 0.2187.$$

$$I = 10.4 \text{ kg-m}^2.$$

$$\sum T = I * \alpha.$$

$$\alpha_{\max} = 0.3143 \text{ rad/ s}^2.$$

$$\alpha_{\min} = 0.1466 \text{ rad/ s}^2.$$

$$W_V * \bar{X} + 2F_{f2} * R + 2F_{F1} * R - T_m = I\alpha_{\max}$$

$$34.1 * 9.81 * 0.038 + 2 * 4.0186 * 9.81 * 0.328 + 2 * 5.70234 * 0.328 - T_m = 10.4 * 0.3143.$$

$$42.3138 - 10.4 * 0.3143 = T_m$$

$$T_m = 39.04508 \text{ N-m. Torque del motor con } \alpha_{\max}.$$

$$T_m = 40.79 \text{ N-m. Torque del motor con } \alpha_{\min}.$$

$$\text{Pot} = T * N / K$$

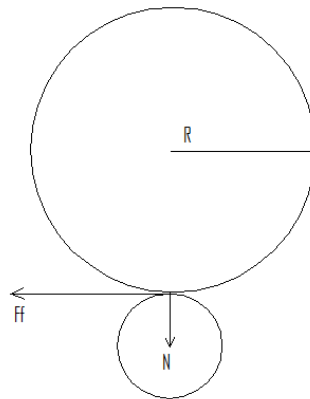
$$N_{\max} = 15 \text{ rpm.}$$

$$N_{\min} = 7 \text{ rpm.}$$

$$\text{Pot} = \frac{15 * 39.04508}{9550} = 0.06144 \text{ kw} = 0.083 \text{ hp} \quad \text{con } N_{\max}.$$

$$\text{Pot} = \frac{7 * 40.79}{9550} = 0.03 \text{ kw} = 0.04023 \text{ hp} \quad \text{con } N_{\min}.$$

Figura 12. DCL del contacto entre la rueda de tracción y el cilindro.



Fuente: Archivo de los autores.

4.9. SELECCION DEL MOTO REDUCTOR

Tomamos un moto reductor con las siguientes especificaciones:

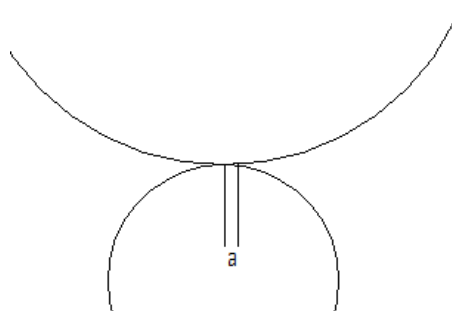
20:1; $h_{\text{pinicial}}=0.9$; torque =6.3 kg-m; $h_{\text{psalida}}=0.8$.

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{D_2}{D_1}$$

$$\frac{15}{87.5} = \frac{D_2}{0.708}$$

$$D_2 = 0.12137 \text{ m.}$$

Figura 13. Esfuerzo de contacto entre rueda y anillo.



Fuente: Archivo de los autores.

γ = módulo de Poisson

E=módulo de Young.

$\gamma=0.3$ para El acero. $E_1=30*10^6$ psi para el acero. $R_1=35.4$ cm.)=13.937 in

$\gamma=0.48$ para el hule. $E_2=0.2*10^6$ psi para el hule. $R_2=12.14$ cm.)=4.856 in.

Constantes Geométricas:

$$m_1 = \frac{1 - \gamma_1^2}{E_1} = \frac{1 - 0.3^2}{30 * 10^6} = 3.0333 * 10^{-8}$$

$$m_2 = \frac{1 - \gamma_2^2}{E_2} = \frac{1 - 0.48^2}{0.2 * 10^6} = 3.848 * 10^{-6}$$

$$B = \frac{1}{2} * \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{1}{2} * \left(\frac{1}{13.937} + \frac{1}{4.856} \right) = 0.1388411$$

F=776.9533 n. = 174.2403 lb.

$$a = \sqrt{\frac{2}{\pi} * \left(\frac{m_1 + m_2}{B} \right) \frac{F}{L}} = \text{Longitud de contacto requerido.}$$

Tomando L=1 in.

$$a = \sqrt{\frac{2}{\pi} * \left(\frac{3.0333 * 10^{-8} + 3.848 * 10^{-6}}{0.1388411} \right) \frac{174.2403}{1}} = 3.1 * 10^{-3} \text{ in}$$

$$P_{\max} = \frac{2 * F}{\pi * a * L} = \frac{2 * 174.2403}{\pi * 3.1 * 10^{-3} * 1} = 35782.2 \text{ psi. Presión maxima de contacto.}$$

Empuje longitudinal del cilindro rotativo.

E= Wsen α . $A=5^\circ$.

E= 177.6 * sen 5 = 15.48 kg = 34.056 lb.

4.10. SELECCION DE RODAMIENTOS PARA LAS GUIAS (SEGÚN NORTON).

Al ser cargas radiales no muy grandes y una carga de empuje pequeña se tomo un cojinete de bolas tipo CONRAD.

$$P=X * V *Fr + Y * Fa.$$

Tabla 10. Selección de rodamiento según libro de diseño mecánico de Norton.

	diam interno	C	Co
6302	0,5906 in	1930	1200

Fuente: libro diseño mecánico de Norton.

P = carga equivalente.

Fr = carga radial.

Fa = Carga de empuje.

V = factor de rotación = 1.2.

X = Factor radial = 0.56.

Y = Factor de empuje = 2.30.

$$P_1 = m0.56 * 1.2 *125.4515 + 2.30 * 34056.$$

$$P_1= 162.63221 \text{ lb.}$$

$$L= (C/P)^3= (1930/162.63221)^3.$$

$$L=1.671*10^9 \text{ rev.}$$

Este tipo de rodamiento se usara para todas las ruedas guías. Pues están poco cargadas y su capacidad esta sobre diseñada.

4.11. SELECCION DEL VENTILADOR CENTRÍFUGO.

Según catálogos de la Greenheck encontramos la serie de ventiladores centrífugos de las siguientes referencias

SFB-12

Rpm=824; Rpm=861; Rpm=896.

BHp= 1.02; BHp= 1.08; BHp= 1.14.

12 BISW

RPM=2629; Bhp=1.34; ϕ = 12 ¼ in.

13 BISW

RPM=2003; Bhp=1; ϕ = 13 1/2 in.

18 TCF

2800 cfm ; RPM= 1013; Bhp= 0.35; ϕ =18 ¼ in.

Estas referencias cumplen con la cantidad de cfm necesarias para el buen funcionamiento de la maquina.

Según estudios y análisis de costos el más económico que encontramos en el mercado fue el:

12 BISW

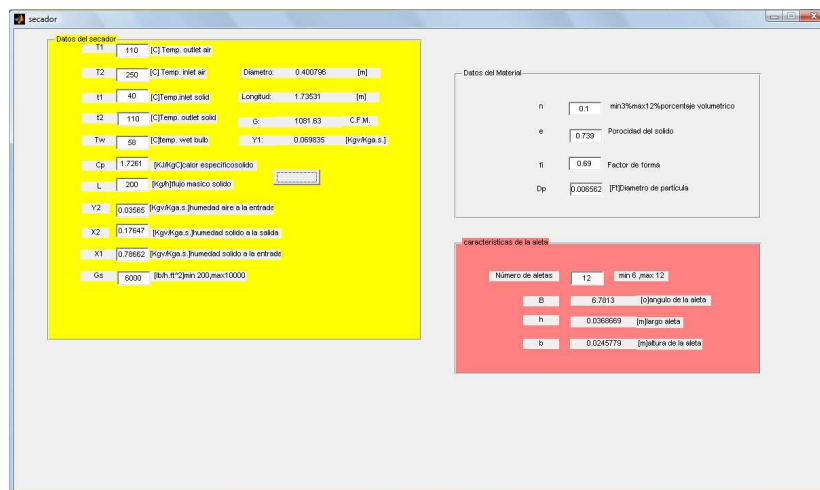
RPM=2629; Bhp=1.34; D= 12 ¼ in.

5. PROGRAMA PARA CÁLCULO DE VARIABLES DE SECADORES ROTATIVOS

La creación de este programa se realizó con el ánimo de aumentar la información que se encuentra sobre el diseño de los secadores rotativos, que es deficiente, y al mismo tiempo hacer una herramienta práctica para estudiantes y profesionales.

El programa fue diseñado con el programa MATLAB R2007a, en el subprograma GUIDE que se presenta como una herramienta.

Figura 14. Imagen de presentación del programa.



Fuente: Archivo de los autores.

Figura 15. Imagen de presentación del programa.

Variable	Valor	Unidad / Descripción
T1	110	[C] Temp. outlet air
T2	250	[C] Temp. inlet air
t1	40	[C]Temp.inlet solid
t2	110	[C]Temp. outlet solid
Tw	58	[C]temp. wet bulb
Diametro	0.400796	[m]
Longitud	1.73531	[m]
G	1081.63	C.F.M.
Y1	0.069835	[Kgr/Kga.s.]
Cp	1.7261	[KJ/KgC]calor especifico solido
L	200	[Kgr/h]flujo masico solido
Y2	0.03565	[Kgr/Kga.s.]humedad aire a la entrada
X2	0.17647	[Kgr/Kga.s.]humedad solido a la salida
X1	0.78662	[Kgr/Kga.s.]humedad solido a la entrada
Gs	6000	[lb/h.ft*2]min 200,max10000

Fuente: Archivo de los autores.

En la introducción de datos para el cálculo de las variables de secadores rotativos se debe introducir en el programa:

Figura 16. Temperaturas que inciden en el cálculo de secadores rotativos.

T1	110	[C] Temp. outlet air
T2	250	[C] Temp. inlet air
t1	40	[C]Temp.inlet solid
t2	110	[C]Temp. outlet solid
Tw	58	[C]temp. wet bulb

Fuente: Archivo de los autores.

Las temperaturas que se introducen en el programa son:

- T1: temperatura de salida del aire al secador.
- T2: temperatura de entrada del aire al secador.
- t1: temperatura de entrada del sólido al secador.
- t2: temperatura de salida del sólido al secador.
- Tw: Temperatura de bulbo húmedo hallada por tablas psicrométricas.

Figura 17. Datos que inciden en el cálculo de secadores rotativos.

Cp	1.7261	[KJ/KgC]calor especificosolido
L	200	[Kg/h]flujo masico solido
Y2	0.03565	[Kgv/Kga.s.]humedad aire a la entrada
X2	0.17647	[Kgv/Kga.s.]humedad solido a la salida
X1	0.78662	[Kgv/Kga.s.]humedad solido a la entrada
Gs	6000	[lb/h.ft^2]min 200,max10000

Fuente: Archivo de los autores.

Los datos ha introducir son datos básicos para el diseño de secadores los cuales hay que tener previamente de acuerdo a la necesidad para la cual se va a calcular el secador.

Estos datos son:

Cp: Calor especifico del sólido (pollinaza).

L: Flujo masico del sólido (pollinaza).

Y2: Humedad del aire a la entrada.

X2: Humedad del aire a la entrada.

Gs: Velocidad masica por unidad de superficie.

Figura 18. Resultados del programa.

Diametro:	0.400796	[m]
Longitud:	1.73531	[m]
G:	1081.63	C.F.M.
Y1:	0.069835	[Kgv/Kga.s.]

Fuente: Archivo de los autores.

El programa entrega los resultados mas importantes en el diseño de un secador cilíndrico como lo son:

Diámetro: diámetro efectivo del cilindro.

Longitud: longitud efectiva del largo del cilindro.

G: flujo volumétrico de aire.

Y1: Humedad del aire a la salida del secador.

Figura 19. Datos del material.

Datos del Material

n	<input type="text" value="0.1"/>	min3%max12%porcentaje volumetrico
e	<input type="text" value="0.739"/>	Porosidad del solido
fi	<input type="text" value="0.69"/>	Factor de forma
Dp	<input type="text" value="0.006562"/>	[Ft]Diametro de partícula

Fuente: Archivo de los autores.

En el programa se tienen que introducir datos específicos del material a secar.

Estos datos son variables con fuerte influencia en los cálculos pues cada material o producto a secar tiene sus propias cualidades.

Estos datos son:

n: porcentaje volumétrico.

e: porosidad del sólido.

fi: factor de forma.

Dp: diámetro de partícula.

En el programa también entrega las características de la aleta que va dentro del cilindro el único dato que no se calcula es el número de las aletas ese dato se selecciona a conocimiento y preferencia del diseñador. Los resultados que nos entrega el programa son:

B: ángulo de la aleta.

h: largo de la aleta.

b: altura de la aleta.

Figura 20. Características de la aleta.

características de la aleta

Número de aletas	<input type="text" value="12"/>	min 6 ,max 12
B	<input type="text" value="6.7813"/>	[o]angulo de la aleta
h	<input type="text" value="0.0368669"/>	[m]largo aleta
b	<input type="text" value="0.0245779"/>	[m]altura de la aleta

Fuente: Archivo de los autores.

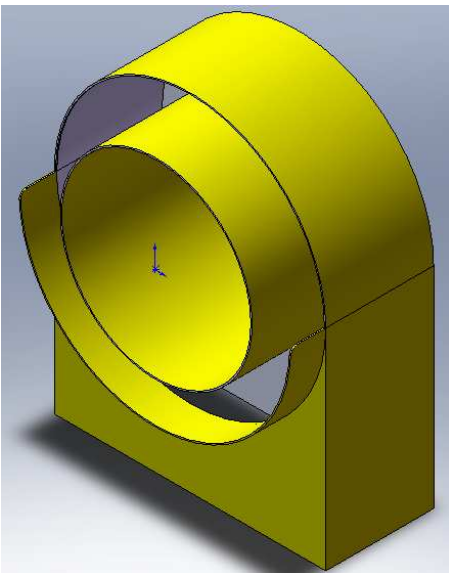
6. CARACTERÍSTICAS DE LAS PARTES DEL SECADOR DISEÑADO

El secador rotativo directo cilíndrico para pollinaza tiene otros componentes aparte del cilindro como lo es la tolva de entrada, la tolva de descarga y la base.

A continuación se muestra cada una de estas partes con una breve explicación de su funcionamiento lo cual es muy básico, también se habla del material a usar en cada uno de estos componentes del secador.

6.1. TOLVA DE DESCARGA

Figura 21. Tolva de descarga.



Fuente: Archivo de los autores.

La tolva de descarga va en la parte de entrada del aire en la foto podemos ver que lleva adherido el ventilador centrífugo el cual se puso en la parte posterior de la tolva por comodidad.

La tolva esta dividida en dos partes, un cilindro el cual es el encargado de darle dirección al aire y los gases de combustión provenientes del quemador

de gas propano, el cual esta colocado también en la parte posterior de la tolva de manera que los gases de combustión salgan paralelos al aire de entrada.

La segunda parte es la de la salida del producto que es la parte baja de la tolva por donde saldrá la pollinaza proveniente del cilindro después del proceso de secado.

Figura 22. Fotos de la tolva de descarga.

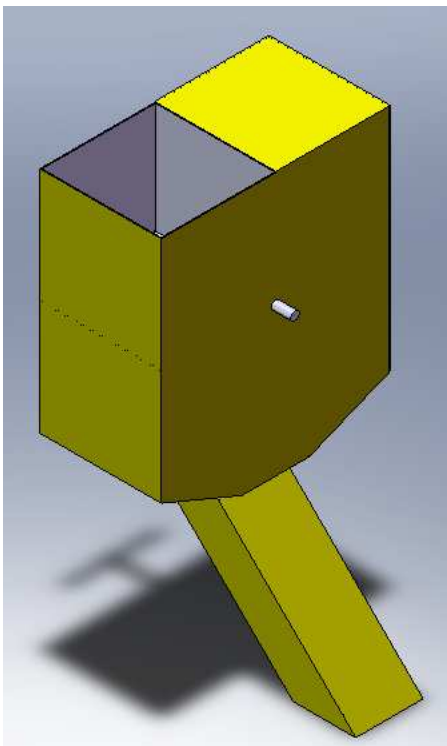


Fuente: Archivo de los autores.

La tolva de descarga fue fabricada con acero cold rolled calibre 16. Esta se adiciona para ecualizar sobre la base del secador a la que esta sujeta, esto con el fin de poder revisarla en caso de atascamientos o averías sin tener que desarmarla y retirarla del conjunto que conforma la maquina.

6.2. TOLVA DE ENTRADA

Figura 23. Tolva de entrada.



Fuente: Archivo de los autores.

La tolva de entrada va en la parte de salida del aire por ella entra el producto el cual es dosificador por medio de unas aspas.

La tolva de descarga funciona con un motor de 1/4 de caballo y 1750 rpm.

El cual por medio de un juego de poleas tiene una reducción hasta 250 rpm, para cumplir con la finalidad de dosificar la carga depositada.

Figura 24. Fotos de la tolva de entrada.

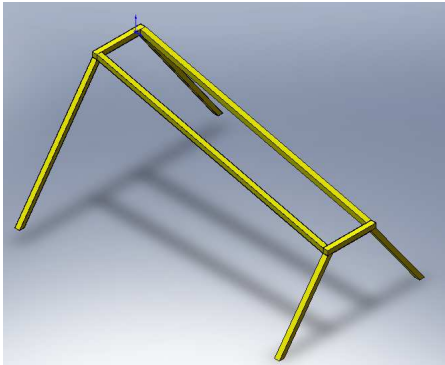


Fuente: Archivo de los autores.

La tolva fue fabricada en acero cold rolled calibre 20 y fue echa un base para sostenerla en ángulo de $1" \times 3/16"$.

6.3. BASE DEL CILINDRO

Figura 25. Base del cilindro



Fuente: Archivo de los autores.

La base del cilindro se hizo de manera que llevara un ángulo de 10 grados por las exigencias del diseño de la maquina, esta base soporta el cilindro y la tolva de descarga.

El cilindro esta soportado en la base por medio de unos rodamientos.

En la base también se encuentra soportado el moto reductor.

Figura 26. Foto Base del cilindro



Fuente: Archivo de los autores.

Figura 27. Foto Base del cilindro, con el cilindro y la tolva de descarga.

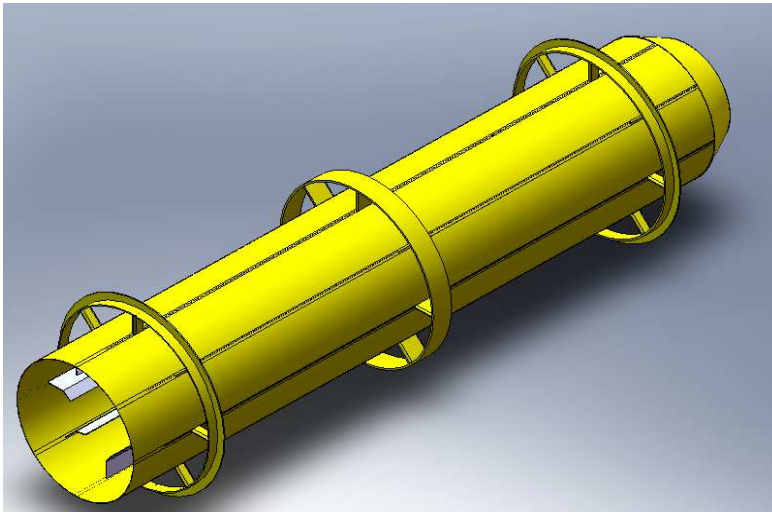


Fuente: Archivo de los autores.

La base fue fabricada en tubo de acero cuadrado de $1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2}$.

6.4. CILINDRO

Figura 28. Cilindro



Fuente: Archivo de los autores.

La mayoría de los cálculos hechos son enfocados en el diseño del cilindro rotativo, el cual esta conformado por el cilindro, dos aros guías un aro de tracción, las aletas y el cono de entrada.

Los aros guías son los que estas en contacto con los rodamientos que lo soportan en la base, están en los extremos del cilindro, el es sostenido por su propio peso.

En el centro esta la rueda de tracción que es la que hace contacto con la rueda motriz, y en su interior encontramos las aletas que se encargan de arrastrar el material y hacerlo caer a modo de cascada para que pase el aire en medio de el.

Figura 29. Fotos del cilindro, cilindro y base, aletas y ruedas de soporte.



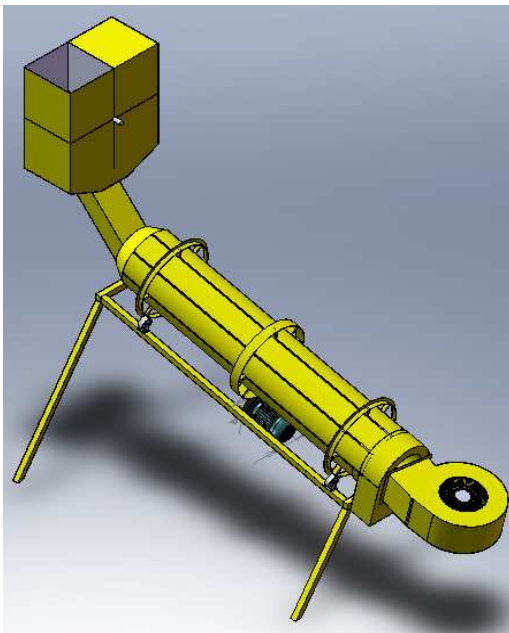
Fuente: Archivo de los autores.

El cilindro fue fabricado en acero cold rolled calibre 16, los aros son hechos en ángulo de $\frac{3}{4}$ "x $\frac{3}{16}$ " , la rueda de tracción y las aletas fueros echas en acero cold rolled calibre 16, los radios que se usaron para la rueda y los aros son de varilla de $\frac{3}{8}$ de diámetro.

6.5. SECADOR ROTATIVO DIRECTO CILÍNDRICO PARA POLLINAZA

Todas las partes antes mencionadas en este capitulo hacen parte del conjunto que conforma al secador rotativo directo cilíndrico para pollinaza. Todo fue diseñado y calculado procurando mantener el presupuesto del patrocinador del proyecto el cual es el propietario de la Granja Villa Laury, Manteniendo bajos costos y materiales apropiados en la calidad final de la maquina diseñada, construida y entregada.

Figura 30. Secador rotativo directo cilíndrico para pollinaza





Fuente: Archivo de los autores.

7. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SECADOR ROTATIVO DIRECTO CILINDRICO PARA POLLINAZA

En la entrega de la maquina a la granja Villa Laury se realizaron dos pruebas de funcionamiento una en horas de la mañana y otra en horas de la tarde en dos días diferentes, cada una de una hora de trabajo ininterrumpido, esto con el fin de ver el impacto de la temperatura ambiental con los resultados del secado de la maquina, siendo la maquina diseñada para secar 250 Kg. en una hora de trabajo, estos 250 Kg. equivalen a aproximadamente 10 recipientes de volumen V y peso Pr constantes.

Los 250 Kg. de pollinaza después del proceso de deshidratación deben quedar pesando 165.147 Kg. según cálculos realizados anteriormente.

Figura 31. Recipiente de volumen constante.



a. Recipiente vacío.



b. Recipiente con pollinaza.

Fuente: Archivo de los autores.

Para realizar las respectivas pruebas de secado se separa la pollinaza que sera parte de la prueba, posteriormente es vertida en el recipiente y se le toma la temperatura y peso inicial, después esta cantidad de pollinaza es procesada por el secador cilindrico rotativo.

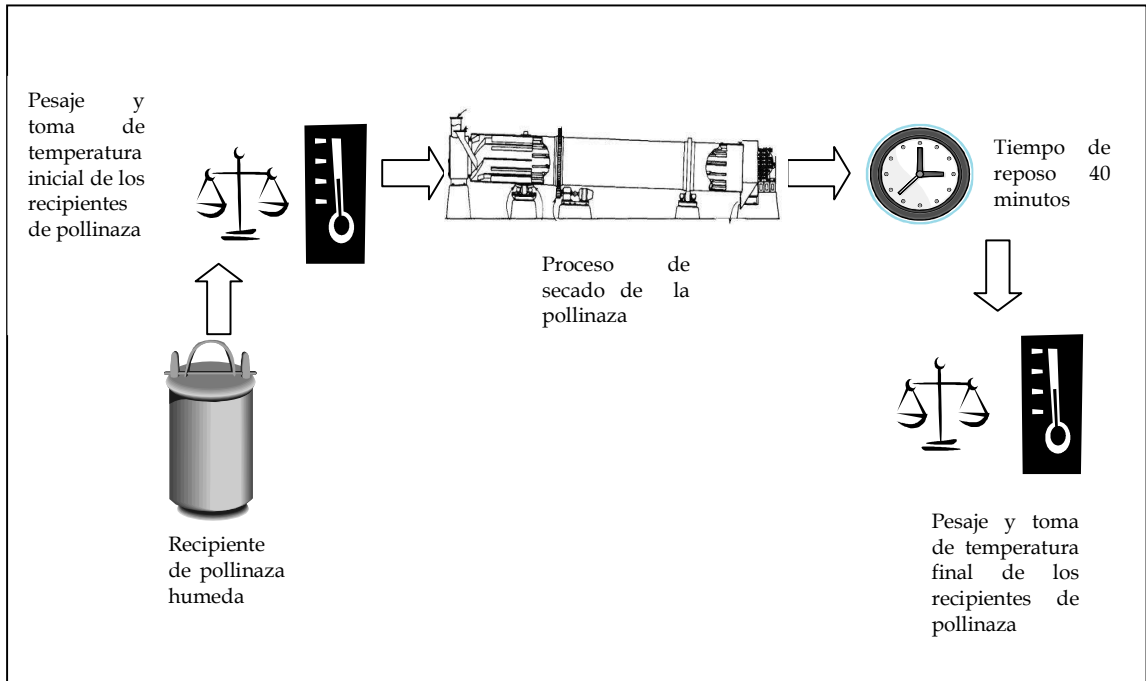
Despues de procesado cada recipiente de pollinaza en el secador se deja reposar por un periodo de 40 minutos, con el fin de que la temperatura se equilibre con el ambiente puesto que del secador sale con una temperatura elevada debido al aire caliente que circula a traves de la misma. Pasado el tiempo de reposo se introduce la pollinaza de nuevo en el recipiente, se pesa y se toma la temperatura interna.

El pesaje se realiza después del tiempo de reposo porque la pollinaza en este periodo puede tomar humedad del medio ambiente; esto con el fin de comparar el peso inicial y final para determinar la humedad perdida y comprobar si se logro el objetivo de la disminuci3n de la humedad hasta un 15% .

Al haber comprobado que la humedad disminuyo, la temperatura debe disminuir debido a la mínima reacci3n bacteriana, la cual es responsable de las altas temperaturas antes del proceso de secado en la pollinaza.

El ideal es que la temperatura se mantenga por debajo de 32 °C y esto se logra disminuyendo la humedad a 15% por exigencia de las autoridades reguladoras como la C.D.M.B. y FENAVI.

Figura 32. Esquema representativo del proceso de prueba del secador rotativo



Fuente: Archivo de los autores.

Tabla 11. Parámetros para la medida experimental de la humedad en la pollinaza.

Datos del experimento	
Volumen recipiente	$V=45038$ [cm ³]
Peso del recipiente	$P_r=2000$ [gr.]
Peso muestra pollinaza seca	$P_s=16070.21$ [gr.]

Fuente: Archivo de los autores.

7.1. PRIMERA PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DEL SECADOR ROTATIVO CILINDRICO

En la primera prueba comparativa realizada en horas de la mañana en la mesa de los santos, se midieron pesos inicial y final para establecer humedad perdida después del proceso de secado y las temperaturas inicial y final de la pollinaza.

En la primera prueba se pesaron con una balanza 9 recipientes de pollinaza, al final de la prueba y después del tiempo de reposo estos mismos se volvieron a pesar y a medir la temperatura.

Tabla 12. Datos de peso, humedades y temperaturas iniciales de la pollinaza sin deshidratar en la primera prueba

<i>Nº de muestra</i>	<i>PESO [Kg]</i>	<i>Temp. [°C]</i>	<i>% humedad</i>
Muestra 1	27	47	40,5
Muestra 2	25	48	35,72
Muestra 3	32,5	48	50
Muestra 4	30	49	46,4
Muestra 5	27	48	40,5
Muestra 6	28	47	42,6
Muestra 7	30,5	48	47,31
Muestra 8	31,5	49	48,9
Muestra 9	29	48	44,6

Sumatoria de los pesos de las muestras: 260.5 Kg.

Tabla 13. Resultados del peso, temperatura y humedad de la pollinaza al final de la primera prueba.

<i>N°de muestra</i>	<i>PESO [Kg]</i>	<i>Temp. [°C]</i>	<i>% humedad</i>
Muestra 1	18,5	32	13,13
Muestra 2	18	31	10,72
Muestra 3	21,5	31	25,5
Muestra 4	19	32	15,42
Muestra 5	20	32	19,65
Muestra 6	18	31	10,72
Muestra 7	19	30	15,42
Muestra 8	20	32	19,65
Muestra 9	18,5	32	13,13

Sumatoria de los pesos de las muestras : 172.5 Kg

Figura 33. Variación en el peso de la pollinaza antes y después del proceso de secado.

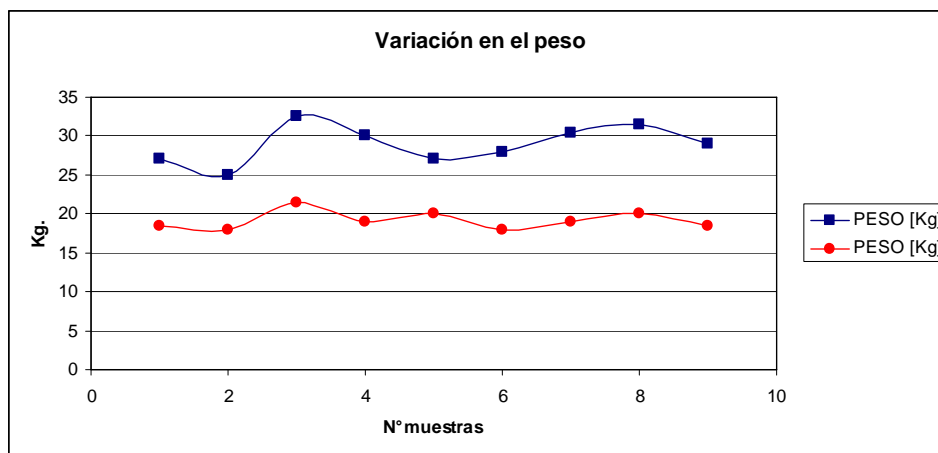


Figura 34. Variación de temperaturas en la pollinaza antes y después del proceso de secado.

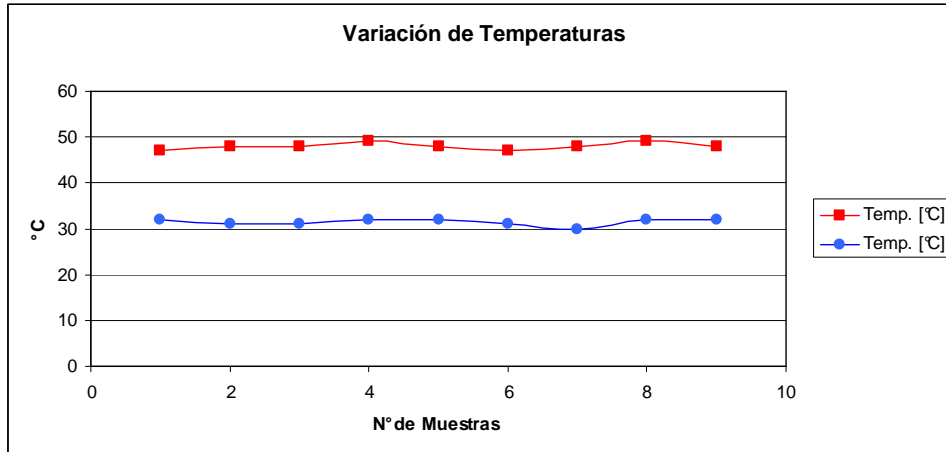
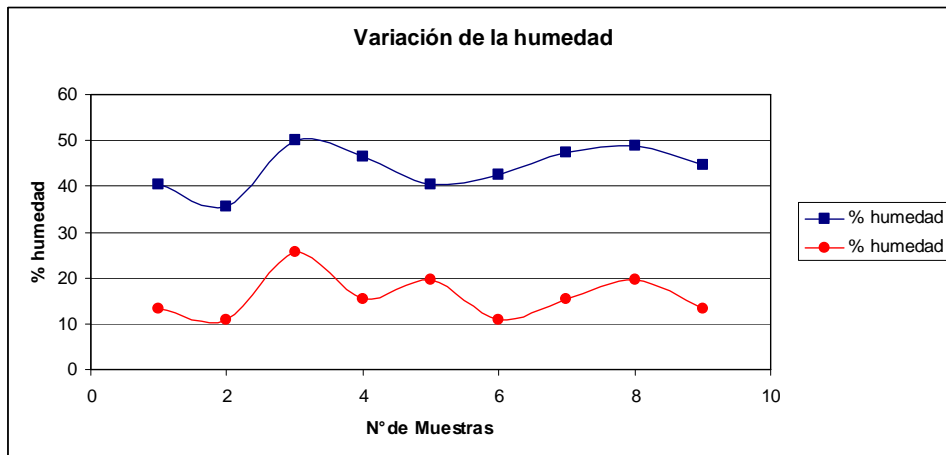


Figura 35. Variación de la humedad a la entrada y salida del proceso de secado.



En las graficas de variación en el peso de la pollinaza vemos que el peso inicial esta representado por la curva de color azul, mientras que el peso final esta representado por la de color rojo.

En las graficas de variación de temperatura en la pollinaza se representa la

temperatura inicial de la pollinaza como la curva roja, y la temperatura final esta representada por el color azul.

En la curva de la humedad a la salida del proceso, la curva azul representa la humedad al principio del proceso y la de color rojo la humedad final.

7.2. SEGUNDA PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DEL SECADOR ROTATIVO CILINDRICO

En la segunda prueba comparativa realizada en horas de la tarde en la mesa de los santos, se hizo el mismo procedimiento ya explicado para la primera prueba.

Tabla 14. Datos de peso, humedades y temperaturas iniciales de la pollinaza sin deshidratar en la segunda prueba.

<i>Nº de muestra</i>	<i>PESO [Kg]</i>	<i>Temp. [°C]</i>	<i>% humedad</i>
Muestra 1	28	49	42,6
Muestra 2	31,5	49	48,98
Muestra 3	27	50	40,48
Muestra 4	30	49	46,43
Muestra 5	31	48	48,16
Muestra 6	29	48	44,58
Muestra 7	31,5	48	48,98
Muestra 8	30	45	46,43
Muestra 9	28	48	42,6

Sumatoria de los pesos de las muestras: 266kg.

Tabla 15. Resultados del peso, temperatura y humedad de la pollinaza al final de la segunda prueba.

N°de muestra	PESO [Kg]	Temp. [°C]	% humedad
Muestra 1	17	32	5,47
Muestra 2	18,5	29	13,13
Muestra 3	20,5	31	21,6
Muestra 4	17,5	31	8,17
Muestra 5	19	32	15,42
Muestra 6	19,5	32	17,6
Muestra 7	21,5	32	25,25
Muestra 8	19	32	15,42
Muestra 9	18	30	10,72

Sumatoria de los pesos de las muestras: 170.5 Kg.

Figura 36. Variación en el peso de la pollinaza antes y después del proceso de secado.

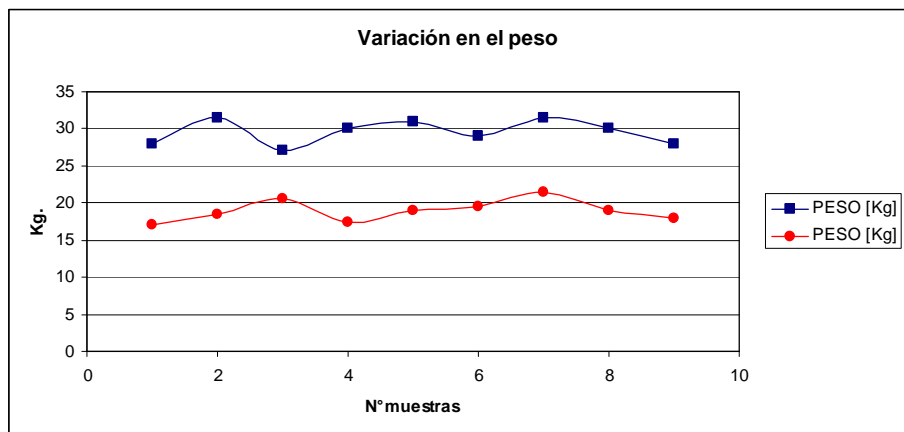


Figura 37. Variación de temperaturas en la pollinaza antes y después del proceso de secado.

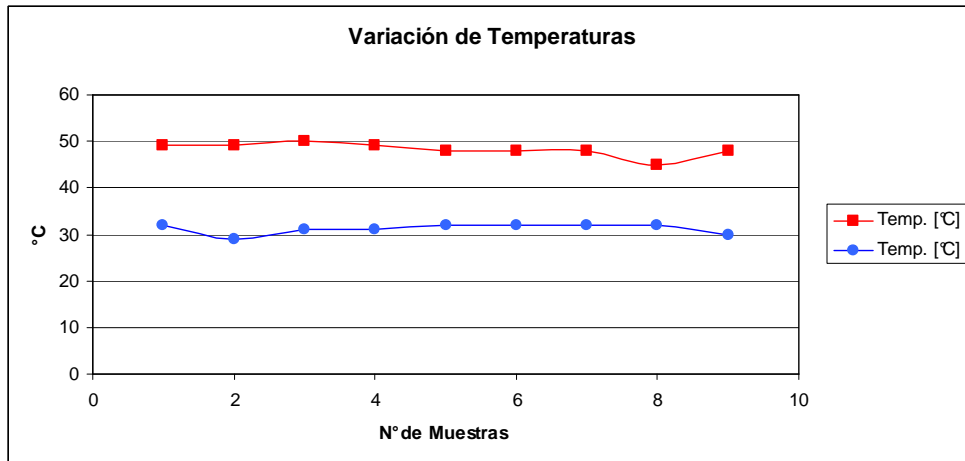
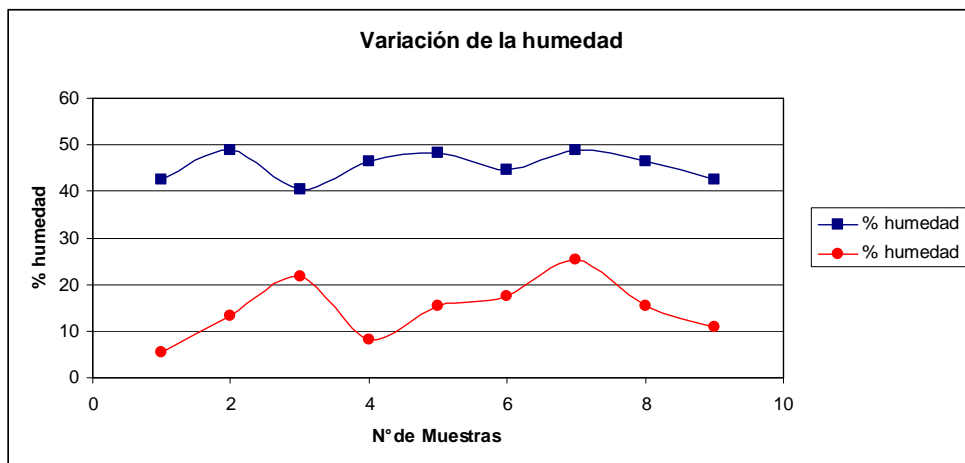


Figura 38. Variación de la humedad a la entrada y salida del proceso de secado.



7.3. OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES DE LAS PRUEBAS HECHAS AL SECADOR CILINDRICO ROTATIVO

En las pruebas realizadas al secador rotativo observamos que la pollinaza no tiene una humedad uniforme, porque las muestras son de diferentes galpones con condiciones diferentes uno de otro como lugar de ubicación, además las muestras de pollinaza son tomados al azar de el área de almacenaje de la pollinaza en donde puede haber tomado humedad del ambiente.

La pollinaza por su contextura apelmazada en ocasiones tiende a formar bloque exagerados de 30 y 40 cm de diámetro y 5 a 8 cm de espesor, por lo tanto se hace la observación que el secador para poder funcionar correctamente las partículas no deben ser mayores a 5cm de diámetro; para este fin se adiciono a la tolva de entrada un triturador con criva.

Figura 39. Triturador de Pollinaza



Fuente: Archivo de los autores.

Se observa la importancia que tiene la hora en que se hace las pruebas pues la mañana con respecto a la tarde varían con respecto a la humedad del medio ambiente, y el bulbo puede tomar humedad del medio en diferente cantidad de acuerdo a la hora del día.

Como conclusión después de las dos pruebas encontramos que la maquina disminuye la humedad de la pollinaza satisfactoriamente cumpliendo el objetivo trazado en el comienzo del proyecto además se observa que la pollinaza en ningún momento es incinerada por el secador cilíndrico rotativo.

8. PRESUPUESTO

Los costos de los diferentes elementos y accesorios que se utilizaron en la construcción del secador cilíndrico rotativo directo de pollinaza, se detallaron a continuación clasificándolos de acuerdo a sus funciones.

- **Estructura y sistema principal.**

2 laminas cold rolled calibre 16 (120 x 120cm).	300.000
2 tubos cuadrados cold rolled calibre 18 de (1 ½" x 1 ½")	100.000
2 ángulos en acero de 1" x 3/16"	90.000
1 lamina cold rolled calibre 20 (120 x 120cm)	100.000
2 Aros en ángulo ¾ x 3/16 y diámetro 50cm	80.000
4 varillas de acero 1040 de diámetro 3/8"	80.000
Tortillería en cero grado 8	100.000
5 kg de soldadura 6013 x 332	50.000

\$ 810.000

- **Sistemas mecánicos (Motores, Ventilador, quemador)**

1 Moto reductor de ¼ Hp, 60:1 monofasico	1.200.000
1 Ventilador centrifugo 1200 cfm	1.500.000
1 Motor de ¼ de caballo 1750rpm monofasicos	800.000
1 Quemador de propano	100.000
1 Cilindro de Propano de 40 psi	25.000

\$ 3.625.000

• Accesorios	
1 Rueda Motriz	35.000
4 Ruedas soporte	50.000
1 Polea de 12" de diámetro	30.000
1 Polea de 2 " de diámetro	5.000
1 Correa tipo A	20.000
2 Chumaceras	40.000
	<hr/>
	\$160.000
• Proceso de Fabricación y montaje	
Corte en cizalla	100.000
Uniones con soldadura	700.000
Pintura y acabados	600.000
Otros	100.000
	<hr/>
	\$1.500.000
• Papelería	
Impresiones	120.000
• Total	
	<hr/>
	6.215.000

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Finalizando con el proceso de diseño y construcción del secador rotativo directo cilíndrico, se concluyo:

- ❖ Después del proceso de diseño, construcción y prueba de la maquina se concluyó que se logro el objetivo satisfactoriamente de reducir la humedad presente en la pollinaza hasta un 15 % como es requerido por los entes reguladores la C.D.M.B. y los patrocinadores del proyecto La Granja Villa Laury.
- ❖ Se logro el objetivo de mantener una cantidad de proteína del 30 % como se explica en el anexo E.
- ❖ La maquina cumple con los requerimientos establecidos, se logro un equipo funcional y de bajo ruido, de fácil operación, siempre manteniendo el presupuesto establecido por los patrocinadores.
- ❖ A la maquina se le adiciono un triturador como medida para mejorar su funcionamiento, se recomienda no ser molida la pollinaza pero si picada ya que puede tener bloque de 20 a 40 cm de diámetro aproximadamente hasta finos que son arrastrados por el aire, podríamos decir que lo mas apropiado serian pedazos de 2 a 5 cm de diámetro.

- ❖ En las pruebas vimos que los finos no pasaban por el proceso pues eran arrastrados por la velocidad del viento, se pueden presentar ideas para la solución del problema y una nueva mejora para la maquina.
- ❖ Por la sencillez de los componentes del equipo y su forma de montaje, el mantenimiento necesario es básico y de fácil acceso para su realización además la maquina como tal es armable y desarmable con facilidad en caso de traslado.
- ❖ Se recomienda antes de usar el equipo tener en cuenta las advertencias y recomendaciones específicas en el manual de uso, operación y mantenimiento de la maquina.
- ❖ Los sistemas mecánicos como motor, moto reductor y ventilador son de fácil acceso para revisión y control.
- ❖ El dispositivo de entrada del material aunque se procuro que tuviera el mayor control no se puede decir que funciona de la manera mas recomendada, se deja para posibles mejoras del equipo y una nueva inversión de capital.
- ❖ El diseño y sobre todo la construcción de cualquier equipo es un proceso bien instructivo para cualquier futuro ingeniero, ya que en ese momento es donde en verdad se logra entender y apreciar que la ingeniería es una evolución y desarrollo entrelazado de muchas ramas del conocimiento y de la creatividad pura del ser humano, en nuestro caso se puede entrever el uso de muchas herramientas que se

adquirieron a través del proceso de aprendizaje en la universidad como lo fueron: (Diseño de maquinas, resistencia de materiales, transferencia de calor, termodinámica), entre otras, llevados a una sola finalidad que es la de lograr un sistema mecánico capaz de cumplir los objetivos trazados en el diseño y construcción.

- ❖ La experiencia que se obtuvo en este proceso fue enriquecedora por diversas razones, no todo lo que se idealiza en un diseño se puede lograr; ya sea por cuestiones de costos, por falta de consecución del material a nivel nacional a medida que se fue desarrollando el proyecto, en nuestro caso el diseño tubo algunos cambios con respecto a la idea inicial por cuestiones de costo o por facilidad de montaje de un dispositivo con respecto a otro.

- ❖ El costo del proyecto se logro con lo pactado con el patrocinador del mismo, además se logro una maquina que aunque ya existe en el mercado no se presentaba para el secado de Pollinaza ni en estas dimensiones, dando satisfacción al inversionista y a nosotros como diseñadores.

BIBLIOGRAFÍA

INCROPERA, Frank P. y DeWitt, David P. Fundamentos de Transferencia de Calor. México: Prentice Hall, 1.999. 912 p.

TREYBAL, Robert E. Operaciones de Transferencia de Masa. México: Mc Graw Hill. 862 p.

PERRY, Robert H. y Chilton, Cecil H. Manual del Ingeniero Químico. México: Mc Graw Hill, 1992.

NORTON, Robert L. Diseño de Máquinas. México:Prentice Hall, 1999. 950 p.

CENGEL, Yunus A. y Boles, Michael A. Termodinámica. México: Mc Graw Hill, 2006.1028 p.

MARADEY, Juan F. Termodinámica Aplicada. Bucaramanga: Ediciones Universidad Industrial de Santander, 2002. 641 p.

Corporación por la Defensa de la Meseta de Bucaramanga C.D.M.B. Alternativas Viables para la sanitización y compostación de gallinaza y pollinaza. Bucaramanga: Nodo de producción mas limpia de Santander. 2006, 60 p.

FITO Maupoey Pedro, Andrés Grau Ana, Barat Baviera José y Albors Sorolla Ana. Introducción al secado de alimentos por aire caliente. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, 2001.

KROKIDA Magdalini, Marinos-Kouris Dimitris y Mjumdar Arun S. Handbook Drying Principles. Classification and Selection of Dryers. Taylor and Francis Group, 2006.

Disponible en Internet vía:

<http://www.fao.org/docrep/x5059S/x5059S05.htm#4.%20Calentamiento%20del%20aire>

ANEXO A. GENERALIDADES, ANTECEDENTES Y EVOLUCIÓN DEL SECTOR AVÍCOLA COLOMBIANO Y SANTANDEREANO

El sector de la avicultura en Colombia, se inicia entre las décadas de los veinte y los cuarenta, en donde se importaron varios ejemplares para reproducción, aunque el punto de partida fue el año 1950, en donde se registró la muerte de aproximadamente 12.000 millones de aves, a causa de la enfermedad del New Castel, con lo cual se modificó el manejo casero y artesanal que se venía dando al interior de las granjas, siendo reemplazado por uno de carácter industrial.

El sector avícola ha venido evolucionando de manera favorable en los últimos años, lo que le ha permitido consolidarse dentro de la estructura actual de la economía colombiana y de manera particular en la estructura Económica del departamento de Santander. A comienzos de los años sesenta, este negocio pasó de ser una actividad eminentemente artesanal a una actividad con características industriales, de tal manera que en la actualidad absorbe cerca de 240.000 empleos, de los cuales el Departamento genera cerca de 40.800 empleos directos y 78.000 indirectos distribuidos dentro de la cadena productiva de este negocio. El sector avícola ofrece oportunidades de producción que contemplan varias alternativas: Las aves, los huevos y las carnes frías como producto alterno; sus ventas desde Colombia se orientan hacia mercados ubicados en la región Andina, siendo nuestro país el principal productor y comercializador de estos productos.

Así mismo vemos que son décadas las que lleva el departamento de Santander como industria estable y productora avícola del país y gran bastión de la economía en Colombia, pero esto conlleva a pagar un gran

precio el cual es la gran cantidad de residuos sólidos (pollinaza) que se generan, los cuales son foco de agentes contaminantes a nivel social y ambiental.⁷

LA POLLINAZA SUBPRODUCTO AVICOLA

La pollinaza son las excretas de ave de engorde en etapa de producción, sola o mezclada con otros materiales. Este subproducto avícola se genera cada 42 a 45 días y en donde se obtiene de una mezcla de la cama y las excretas de las aves.

La pollinaza es uno de los residuos sólidos más importantes en términos de la posibilidad de afectar significativamente el ambiente en las granjas de producción, debido a su composición y a las grandes cantidades generadas. En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos por el deshidratado de pollinaza a diferentes temperaturas; en este análisis se efectuaron pruebas de porcentaje de humedad, proteína cruda y presencia microbiana.

De acuerdo con estudios reportados por la literatura, el valor de la pollinaza utilizada como ingrediente en dietas balanceadas para rumiantes, es aproximadamente cuatro veces el valor de su uso como fertilizante, además como alimento, es ambientalmente amigable, puesto que muchos ingredientes son redistribuidos a la tierra como estiércol de ganado.

Según la composición la composición química de la pollinaza es posible su utilización como subproducto avícola y no ser tomada como residuo o

⁷ Amílcar Mojica Pimiento, Joaquín Paredes Vega, ENSAYOS SOBRE ECONOMIA REGIONAL. Centro Regional de estudios Económicos. Bucaramanga, CARACTERISTICAS DEL SECTOR AVICOLA, COLOMBIANO Y SU RECIENTE EVOLUCION EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER, Agosto, 2005, p. 6.

desecho, debido a su alto contenido de nitrógeno no proteico y fibra. No obstante que su composición depende de diversos factores como el tipo de cama utilizada, el porcentaje de humedad entre otros, ha sido empleada como suplemento proteico. La pollinaza es una buena fuente de energía, minerales para rumiantes y cultivos, su composición promedio se puede observar en la tabla 2. Estos productos influyen en forma directa en la calidad de la pollinaza como producto.

Evolución del contenido de humedad, proteína cruda y microorganismos presentes en la pollinaza dependiendo de la temperatura de deshidratado.(valor medio +- desviación estándar).

PARAMETROS	POLINAZA NO DESIDRATADA	POLLINAZA DESIDRATADA(°C)				
		80	90	100	110	120
HUMEDAD %	26+- 7,9	9,8 +- 3,1	9, 0 +- 3, 1	7, 0 +- 3, 0	7, 7 +- 1, 6	7, 0 +- 2, 6
PROTEINA CRUDA	31,3+-4,3	29, 2 +- 4,9	29, 2 +- 4, 9	26, 6 +- 3, 3	28, 6 +- 4, 2	28, 0 +- 4, 1
PRESENCIA MICROBIANA						
MESOFILOS AEROBICOS	100	18, 1 +- 14, 12	21, 7 +- 18, 2	17, 1 +- 22, 9	12, 7 +- 20, 7	7, 4 +- 11, 8
COLIFORMES TOTALES	100	2,9 +- 3,0	7, 8 +- 5, 8	11, 5 +- 0, 6	1, 3 +- 0, 1	0, 9 +- 0, 3
COLIFORMES FECALES	100	47, 9 +- 34, 9	36, 9 +- 18, 0	31, 2 +- 12, 4	6, 3 +- 7, 6	0, 4 +- 0, 3

Fuente: Nodo de producción mas limpia de Santander, tratamiento de residuos sólidos en empresas del sector avícola; 2000. Castellanos Ruelas, Carlos Fernando. Efecto del deshidratado sobre el valor nutritivo de la pollinaza y la presencia de microorganismos; 2000.

En la tabla se puede observar la composición media de la pollinaza, en la que se tienen parámetros como la humedad, la proteína cruda, la proteína digestible y la fibra cruda, entre otros; los cuales son útiles para determinar la viabilidad de aplicar la pollinaza como suplemento alimenticio para rumiantes.

Si comparamos los valores normales de los minerales en los forrajes con el contenido de minerales en la pollinaza, como se observa en la tabla 4.⁸

Contenido promedio de nutrientes en la pollinaza.

COMPONENTE	CONTENIDO PROMEDIO	RANGO
Materia seca	80,5	61-95
COMPOSICION DE MATERIA SECA		
Nutrientes digestibles totales	50	36-64
Proteína cruda	24,9	15-38
Fibra cruda%	23,6	11,0 - 52
Cenizas%	24,7	9,0 - 54
Calcio%	2,3	0,81- 6,13
Fosforo%	1,6	0,56- 3,92
Cobre(ppm)	473	25-1003
Magnesio(ppm)	348	125-667
Hierro(ppm)	2377	529- 12604

Fuente: Nodo de producción mas limpia de Santander, tratamiento de residuos sólidos en empresas del sector avícola; 2000.

⁸ Nodo de producción mas limpia de Santander, tratamiento de residuos sólidos en empresas del sector avícola; 2000, p.16.

Composición media de la pollinaza

PARAMETRO	PORCENTAJE%
Humedad	25,2
Proteína cruda	31,3
Proteína digestible	23,3
Digestibilidad	74,6
Fibra cruda	16,8
Extracto Etéreo	2,9 - 3,3
Ceniza	15
Extracto no nitrogenado	29,5

Fuente: Nodo de producción mas limpia de Santander, tratamiento de residuos sólidos en empresas del sector avícola; 2000. Corpoica regional. Alternativas de utilización mecanizada de subproductos agrícolas para la nutrición animal y control fitosanitario en la Provincia de Soto, mediante participación comunitaria, 2000.

También se puede comparar la pollinaza con otro tipo de estiércoles y ver su riqueza media como se muestra en la tabla 5.

Composición de minerales en la pollinaza

MINERALES	VALORES EN POLLINAZA	VALORES MINERALES EN FORRAJE
Calcio	2,37%	0,48%
Fósforo	1,80%	0,37%
Potasio	1,78%	0,93%
Magnesio	0,44%	0,29%
Cobre	98ppm	10ppm
Hierro	451ppm	100ppm
Manganeso	225ppm	60ppm
Zinc	235ppm	60ppm

Fuente: Nodo de producción mas limpia de Santander, tratamiento de residuos sólidos en empresas del sector avícola; 2000. Corpoica regional. Alternativas de utilización mecanizada de subproductos agrícolas para la nutrición animal y control fitosanitario en la Provincia de Soto, mediante participación comunitaria, 2000.

Riqueza media de los diferentes tipos de estiércol.

PRODUCTO	MATERIA SECA %	N (Kg.t ⁻¹)	PO (Kg.t ⁻¹)	KO (Kg.t ⁻¹)	MgO (Kg.t ⁻¹)	S (Kg.t ⁻¹)
DE VACUNO	32	7	6	8	4	-
DE OVEJA	35	14	5	12	3	0,9
DE CERDO	25	5	3	5	1,3	1,4
DE CABALLO	100	17	18	18	-	-
PURINAS	8	2	0,5	3	0,4	-
POLLINAZA	28	15	16	9	4,5	-

Fuente: NIÑO RIVERA, Ana Bella. Compostación acelerada de la pollinaza mediante microorganismos aerobios para su utilización como abono orgánico.2005.

USOS DE LA POLLINAZA

La pollinaza como fertilizante

La pollinaza se utiliza como fertilizante en la mayoría de cultivos gracias a su nutriente y bajo costo en comparación con otros fertilizantes del mercado.

En Colombia se usa en el área agrícola sin ninguna técnica ya que se aplica en estado bruto, ocasionando pérdidas en su composición por no tener coadyuvantes para la protección de los elementos disponibles como el nitrógeno. Las pérdidas también se ocasionan al tener la pollinaza al aire libre en donde se evaporan sus componentes y se lavan con las lluvias. De acuerdo con estudios hechos un lote de 30 ton supone un aporte por hectárea de 120 kg de nitrógeno, 75 kg de anhídrido fosforito y 165 kg de óxido de potasio. Puede ser usada en cultivos exigentes en abono y que toleran bien este tipo de materia orgánica como lo es la papa, remolacha, tomate, cebolla, así como en frutales y viñedos.⁹

La pollinaza como alimento.

El interés de la ganadería por la pollinaza en la región santandereana ha sido gradual y creciente. En un principio solo algunos ganaderos innovadores se interesaron por ella. Se adquiría y proporcionaba al ganado en forma fresca (tal y como sale de los galpones que terminaron su ciclo de engorde), sola o mezclada con melaza de caña. La presencia de pollinaza en el mercado regional actualmente es tan importante que, dependiendo de múltiples factores (sequía, disponibilidad de otros insumos, etc.), su precio puede llegar a ser muy elevado en comparación con otros alimentos disponibles. El manejo de la pollinaza fresca tiene algunas desventajas: por su gran contenido de humedad (20% o más), es posible que presente combustión espontánea en los sitios de almacenamiento; por su

⁹ RIVERO Y CARRACEDO. Efecto del uso de la pollinaza sobre algunos parámetros de fertilidad química de dos suelos de pH contrastante. Revista Facultad agronómica, 1999, Vol. 25, p.83.

elevado contenido microbiológico y por propiciar liberación de amoníaco, es un material contaminante para el medio ambiente y un factor de riesgo para la salud de los individuos que la manejan. Otra desventaja es, que existe la posibilidad de que algunos promotores del crecimiento o aditivos administrados en la dieta de

Las aves (antibióticos, coccidistatos, fungistatos, antioxidantes), o bien plaguicidas aplicados a los granos integrados a las dietas de las aves, mantengan su actividad en las excretas contaminando el medio ambiente o deprimiendo el crecimiento en los rumiantes que las consumen. Sin embargo, se ha descrito que su presencia en la pollinaza es mínima. Es posible eliminar totalmente la humedad de la pollinaza y esterilizarla aplicándole una temperatura de 150°C durante 3 h. Este proceso redundaría en una reducción en su contenido proteínico por la volatilización del nitrógeno. Otros tratamientos calóricos menos drásticos buscan la deshidratación parcial, tal como la aplicación de 80°C durante 12 minutos de duración. Este tratamiento también puede propiciar una disminución en el valor biológico de la proteína. Al reducir la humedad de un material orgánico, disminuye su Actividad de Agua (Aw). Este parámetro representa el grado de interacción del agua con los demás constituyentes del material y es responsable en gran medida de las reacciones químicas, enzimáticas y microbiológicas que son las causas principales de su deterioro. Una Aw igual o mayor de 0.9 es adecuada para el crecimiento de la mayor parte de los microorganismos. A la fecha Santander es uno de los pocos estados del país en donde se comercializa la pollinaza en forma deshidratada, ya sea sola o incorporada hasta en un 60% en la formulación de alimentos balanceados llamados comúnmente “forrajeros”, los cuales son de precio módico y de calidad nutricional regular. Al deshidratar a la pollinaza se facilita su conservación, su manejo, se reduce la posibilidad de diseminar enfermedades y se le da un valor agregado. Sin embargo,

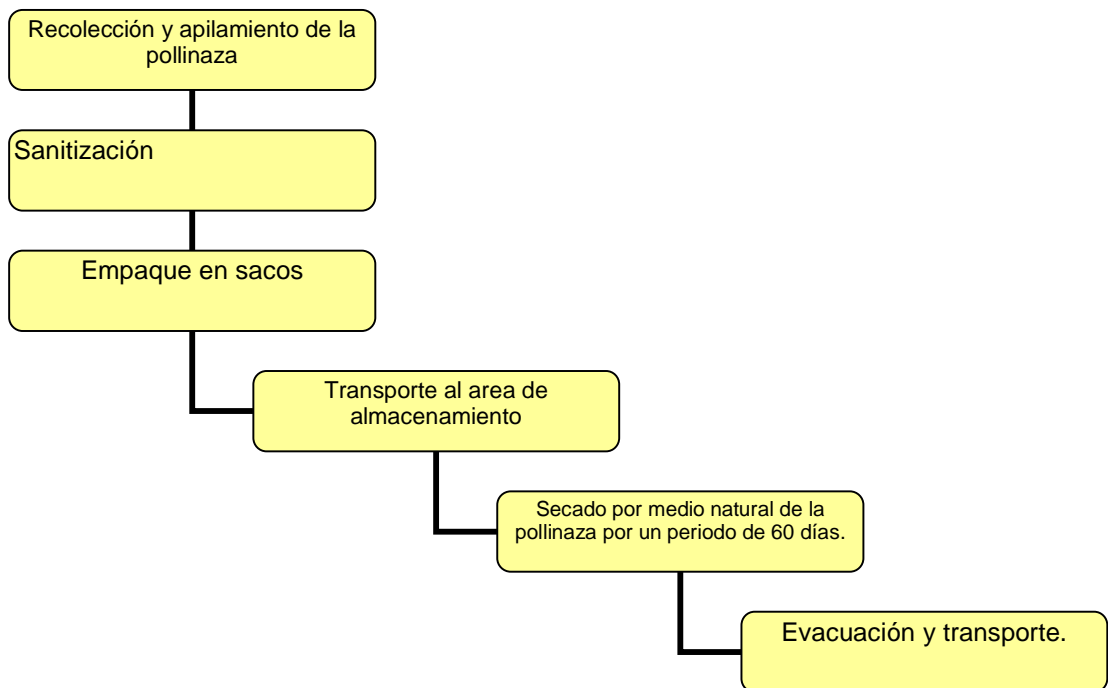
pocos esfuerzos han sido desarrollados en la región para cuantificar la presencia de microorganismos en la pollinaza sometida a deshidratación, así como en los alimentos balanceados elaborados con ella.

El proceso de deshidratado de la pollinaza disminuye grandemente su contenido microbiológico, continuándose esta disminución durante el almacenamiento, disminuyendo así su poder contaminante. La presencia bacteriana en un alimento balanceado de tipo forrajero (con un contenido de pollinaza igual o mayor al 50%).¹⁰

¹⁰ Arturo F. Castellanos-Ruelas, María de la L. Murguía-Olmedo. Comportamiento de la contaminación microbiológica en alimentos balanceados para rumiantes elaborados con pollinaza. 2002.

ANEXO B PROBLEMÁTICA REGIONAL EN EL PROCESAMIENTO DE LA POLLINAZA

El procesamiento y manejo de los desechos de aves de engorde provenientes de los galpones en la zona de la Mesa de los Santos, consiste en:



Este método es económico, pero ineficiente y poco eficaz para los productores y comercializadores de esta, puesto que la demanda de este producto va en aumento junto con la contaminación que genera.

Es de gran importancia buscar e implementar una alternativa más eficiente e inmediata para solucionar este problema que esta en aumento, como la aceleración del secado del producto, y así poder transportarla y evacuarla en un tiempo reducido, para este propósito en este proyecto se implementará un medio artificial o mecánico de secado.

PROCESAMIENTO ACTUAL DE LA POLLINAZA

Después de cumplido el tiempo de engorde de las aves, estas son retiradas de los galpones, sus desechos se almacenan formando una o varias pilas, que son regadas con agua para elevar su porcentaje de humedad en el sustrato y así generar una reacción exotérmica a causa del contacto del agua con la cal que viene mezclada en el momento de la recogida de la pollinaza, y la activación de las bacterias para así aumentar su temperatura y eliminar un porcentaje de agentes patógenos que descomponen el producto; en este estado se deja reposar entre 5 y 7 días, conformando así el proceso de sanitización establecido por los entes reguladores (FENAVI, CDMB).

Apilado de la pollinaza en los galpones recién termina el ciclo de engorde de los pollos.



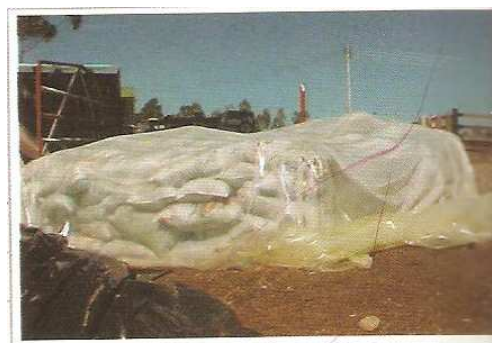
Pollinaza en proceso de sanitización dentro del galpón.



Fuente: Foto del nodo de producción más limpio para Santander, CDMB.2000

Posterior al proceso de sanitización se recoge la pollinaza en sacos y es transportada al lugar de secado, donde permanecerá un periodo entre 50 y 60 días en el cual los desechos del pollo de engorde son expuestos a la intemperie, -donde es propenso a ser mojado por la lluvia y por ende una rápida descomposición-, al ser secados con el flujo de aire del medio ambiente producen malos olores, proliferación de moscas y ratones, y elevación de los índices de contaminación a niveles muy altos.

Pollinaza apilada y cubierta.



Fuente: Foto del nodo de producción más limpio para Santander, CDMB.2000

Pollinaza apilada y cubierta dispuesta en potrero.



Fuente: Foto del nodo de producción más limpio para Santander, CDMB

Estos apilamientos de pollinaza se encuentran normalmente ubicados cerca de viviendas, escuelas y al paso de carreteras concurridas generando incomodidad y molestias a las personas que viven en el sector de producción avícola. Igualmente estos efectos conllevan a disminuir el turismo en la zona, rica en flora y sitios de esparcimiento natural.

Según estudios realizados por la CDMB la pollinaza es portadora de la enfermedad de Newcastle¹¹ por lo cual debe de sanitizarse y secarse para su posterior movilización.

Un proceso de secado mecánico sería una alternativa muy eficaz y económica para el tratamiento de la pollinaza, posterior a la sanitización, lo

¹¹ “La Enfermedad de Newcastle (EN) virulenta, también conocida como “Enfermedad de Newcastle Velogenica y Viscerotropica”, existe en Centro y Suramérica, el Medio Este, y en la mayor parte de Europa, África y Asia. Es uno de varios patotipos de EN. Después de un periodo de incubación de 2-15 días, la EN virulenta causa una morbilidad extremadamente alta (enfermedad) y mortalidad (muerte) en pollos y otras aves”. <http://animalscience.ucdavis.edu/avian/CDFANewcastlespanish.pdf>

cual disminuye notablemente el tiempo de exposición al medio ambiente y con ello la evacuación se hará en el menor tiempo posible.

Estudios de laboratorio realizados en la Universidad de Yucatán de muestran un buen comportamiento de la pollinaza y una gran disminución de los agentes patógenos al utilizar un secado por medios mecánicos donde se llevo un control de la temperatura y su influencia en los componentes de la misma¹².

Inventario del área de producción de pollinaza (Mesa de los Santos).

La Corporación Autónoma Regional de la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDBM) preocupada por los inconvenientes ambientales y sanitarios que se presentan en la región conocida como Mesa de los Santos, generó un inventario de las granjas, con el fin de poder establecer un cálculo aproximado producción de pollinaza y gallinaza que se generan mensualmente en esta zona.

Inventario de granjas de la Mesa de los Santos.

Tipo de explotación	Granjas	Aves	Galpones
Pollo de engorde	56	2495200	242
Postura piso	10	1563000	76
Postura jaula	1	821000	16
Levante piso	2	58000	7
Levanté jaula	1	352000	10
Total	70	5289200	351

Fuente: CDBM, 2004. El dato se calculo según las granjas inventariadas en sanidad

¹² "Efectos del deshidratado sobre el valor nutritivo de la pollinaza y la presencia de microorganismos." Universidad de Yucatán, facultad de ingeniería química.

Bajo condiciones normales de explotación, los pollos de engorde en una cama de cascarilla de arroz (tamo) pueden generar 20 Kg. /m² de pollinaza, con una densidad de 13 individuos/m² en un ciclo de 42 a 45 días. Por lo anterior se pudo determinar a que la generación de pollinaza es aproximadamente de 1.54 Kg./ave/ciclo, incluyendo la cama; los siguientes cálculos permiten conocer la generación de pollinaza por año en el área de estudio.

Para el área de trabajo que es jurisdicción de la CDMB en la Mesa de los Santos se estima una producción de 23000 ton/año de pollinaza.

EL inventario hecho por la CDMB también permitió conocer que el 63% de las granjas de engorde de pollo sanitizan la pollinaza, el 21% la secan y el 16% la usan fresca, las cifras en mención son el resultado de la investigación realizada. En la actualidad es de obligatoriedad dejar la pollinaza en proceso de sanitización y secado.¹³

Cálculo de la generación de pollinaza en la Mesa de los Santos

Parámetro	Valor	Unidades
Numero de aves por ciclo	2495200	aves
Numero promedio de aves por metro cuadrado	13	aves/m ²
generación de pollinaza por área	20	kg/m ²
generación de pollinaza por animal	1.54	kg/ave
generación de pollinaza por ciclo productivo	3838,8	ton/ciclo
ciclos por año	6	ciclos
generación de pollinaza	23032,8	ton/año

Fuente: Equipo técnico de la CDMB y el proyecto NPML

¹³ Nodo de producción mas limpia de Santander, 13. Tratamiento de residuos sólidos en empresas del sector avícola; 2000, p.21.

Cantidades de subproductos generados en la Mesa de los Santos.

Tratamiento	Pollinaza		gallinaza de piso	
	ton/año		ton/año	
	cantidad	%	cantidad	%
Sanitización	15206,6	66	1410	7
Secado	4145	18	11885	59
Ninguno	3685	16	6849	34
Total	23032	100	20144	100

Fuente: Equipo técnico de la CDMB y el proyecto NPML.2000

BIOSEGURIDAD

El desarrollo de la industria avícola regional ha generado una gran presión sobre el medio; reflejado por el consumo de agua, energía, la generación de gallinaza, pollinaza y mortalidad. Hasta hace unos años estos residuos no se consideraban como una parte primordial de la bioseguridad del proceso productivo, por lo que hasta ahora se le esta dando la debida atención, con mayor preocupación en las zonas de mayor densidad avícola.

Hay numerosas enfermedades que pueden causar serios problemas y pérdidas económicas a la operación avícola, debido a que se difunden fácilmente. Los gérmenes patógenos que generan estas enfermedades e infecciones se encuentran frecuentemente en el excremento y secreción de los animales infectados, y pueden ser trasportados de un lugar a otro por corrientes de aire o por su movilización en vestuario y calzado de las personas que trabajan en el campo.

ANEXO C. CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN PARA MATLAB EN GUIDE.

```
function varargout = secador(varargin)
% SECADOR M-file for secador.fig
% SECADOR, by itself, creates a new SECADOR or raises the existing
% singleton*.
%
% H = SECADOR returns the handle to a new SECADOR or the handle to
% the existing singleton*.
%
% SECADOR('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
% function named CALLBACK in SECADOR.M with the given input
arguments.
%
% SECADOR('Property','Value',...) creates a new SECADOR or raises the
% existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
% applied to the GUI before secador_OpeningFunction gets called. An
% unrecognized property name or invalid value makes property application
% stop. All inputs are passed to secador_OpeningFcn via varargin.
%
% *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only
one
% instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help secador

% Last Modified by GUIDE v2.5 11-Sep-2008 16:24:47

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name', mfilename, ...
    'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
    'gui_OpeningFcn', @secador_OpeningFcn, ...
    'gui_OutputFcn', @secador_OutputFcn, ...
    'gui_LayoutFcn', [], ...
    'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end
```

```

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before secador is made visible.
function secador_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to secador (see VARARGIN)

% Choose default command line output for secador
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes secador wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = secador_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)

% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit2 as text
%      str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit2 as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%      See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit3 as text
%      str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit3 as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%      See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```

function edit4_Callback(hObject, eventdata, handles)

% hObject    handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit4 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit4 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit5_Callback(hObject, eventdata, handles)

% hObject    handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit5 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit5 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```
function edit6_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```

% hObject handle to edit6 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit6 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit6 as a double

```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
```

```
function edit6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```

% hObject handle to edit6 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
```

```
% See ISPC and COMPUTER.
```

```

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```
function edit7_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```

% hObject handle to edit7 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit7 as text
```

```
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit7 as a double
```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit7_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit7 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit8_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit8 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit8 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit8 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit8_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit8 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit9_Callback(hObject, eventdata, handles)

% hObject    handle to edit9 (see GCBO)

```

```
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit9 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit9 as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit9_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit9 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit10_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
% hObject handle to edit10 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit10 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit10 as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit10_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit10 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
```

end

```
function edit11_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
% hObject  handle to edit11 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles  structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit11 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit11 as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
```

```
function edit11_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```
% hObject  handle to edit11 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles  empty - handles not created until after all CreateFcns called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
```

```
%       See ISPC and COMPUTER.
```

```
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit12_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
% hObject  handle to edit12 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles  structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit12 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit12 as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
```

```
function edit12_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```
% hObject  handle to edit12 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
```

```
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
```

```
% See ISPC and COMPUTER.
```

```
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),  
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))  
    set(hObject,'BackgroundColor','white');  
end
```

```
% --- Executes on button press in pushbutton1.
```

```
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
% hObject handle to pushbutton1 (see GCBO)
```

```
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
```

```
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
T11=str2double(get(handles.edit2,'string'));  
T22=str2double(get(handles.edit3,'string'));  
t11=str2double(get(handles.edit4,'string'));  
t22=str2double(get(handles.edit5,'string'));  
Tw1=str2double(get(handles.edit6,'string'));  
Cp1=str2double(get(handles.edit7,'string'));  
L1=str2double(get(handles.edit8,'string'));  
Y2=str2double(get(handles.edit11,'string'));  
X1=str2double(get(handles.edit12,'string'));  
X2=str2double(get(handles.edit10,'string'));  
Gs=str2double(get(handles.edit14,'string'));  
n=str2double(get(handles.edit16,'string'));  
e=str2double(get(handles.edit17,'string'));  
fi=str2double(get(handles.edit18,'string'));  
Dp=str2double(get(handles.edit19,'string'));  
nf=str2double(get(handles.edit22,'string'));
```

```
Cw=1;
```

```
Cpa=1.005;
```

```
Cpv=1.8723;
```

```
A=2500.9;
```

```
Cl=4.18;
```

```
Cp=0.4131;
```

```
W=(X1/(1+X1));
```

```
Ls=L1-W.*L1;
```

$L=Ls.^{2.2};$
 $T1=T11.^{(9/5)+32};$
 $T2=T22.^{(9/5)+32};$
 $t1=t11.^{(9/5)+32};$
 $t2=t22.^{(9/5)+32};$
 $Tw=Tw1.^{(9/5)+32};$
 $HL1=Cp1.^{t11}+X1.^{Cl.^{t11}};$
 $HL2=Cp1.^{t22}+X2.^{Cl.^{t22}};$
 $HG2=(Cpa+Cpv.^{Y2}).^{T22}+A.^{Y2};$
 $G1=(Ls.^{((X1-X2).(Cpv.^{T11}+A)-(HL1-HL2))})/(0.85.^{HG2-Cpa.^{T11}-Y2.(Cpv.^{T11}+A)});$
 $Y1=(Ls.^{(X1-X2)}+G1.^{Y2})/G1;$
 $G11=((G1+(G1.^{Y2}))/1.126).^0.58857777787;$
 $G=G1.^{2.2};$
 $Cs=0.24+0.44.^{Y2};$
 $Tc=T2-((Cp.^{L})/(Cs.^{G})).^{(T2-Tw)};$
 $Tb=T1+((L/G).(Cp+X1.^{Cw})/Cs).^{(Tw-T1)};$
 $Tml=((Tb-Tw)-(T1-t1))/\log((Tb-Tw)/(T1-t1));$
 $NTI=(Tb-T1)/Tml;$
 $TmII=((Tc-Tw)-(Tb-Tw))/\log((Tc-Tw)/(Tb-Tw));$
 $NTII=(Tc-Tb)/TmII;$
 $TmIII=((T2-t2)-(Tc-Tw))/\log((T2-t2)/(Tc-Tw));$
 $NTIII=(T2-Tc)/TmIII;$
 $De=((4.^{G})/(\pi.^{Gs}))^{(1/2)};$
 $Up=0.0128.^{(Gs)^{(0.8)}};$
 $Un=0.37.^{(Gs)^{(0.37)}};$
 $U=(Un+Up)/2;$
 $s=6.^{(1-e)/(fi.^{Dp})};$
 $a=n.^{s};$
 $LTI=(Gs.^{Cs})/(U.^{a});$
 $CsII=0.24+0.446.^{((Y1-Y2)/2)};$
 $LTII=(Gs.^{CsII})/(U.^{a});$
 $CsIII=0.24+0.446.^{Y1};$
 $LTIII=(Gs.^{CsIII})/(U.^{a});$
 $Z=(LTI.^{NTI})+(LTII.^{NTII})+(LTIII.^{NTIII});$
 $P=Z/De;$
 $Lon=(Z/3.281).^1.1;$
 $Ve=(\pi/4).^(((De/3.281).^100)^{(2).^L});$
 $V=n.^{Ve};$
 $Af=(2.^{V})/(L.^{nf});$
 $Re=De/(2.^{3.281});$
 $B=(6.7813.^{\pi})/180;$
 $h=(\sin(B).^1.5.^{Re})/\cos(\pi/4);$

```

b=h/1.5;
R=Re.*cos(B)+b.*cos(pi/4)+h;
D=2.*R;
beta=B.*180/pi;
set(handles.text12,'String',Lon);
set(handles.text22,'String',D);
set(handles.text26,'String',beta);
set(handles.text27,'String',h);
set(handles.text28,'String',b);
set(handles.text56,'String',G11);
set(handles.text59,'String',Y1);

```

```

function edit13_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

% hObject   handle to edit13 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit13 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit13 as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.

```

```

function edit13_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

```

```

% hObject   handle to edit13 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   empty - handles not created until after all CreateFcns called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.

```

```

%       See ISPC and COMPUTER.

```

```

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit14_Callback(hObject, eventdata, handles)

% hObject    handle to edit14 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit14 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit14 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit14_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit14 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit16_Callback(hObject, eventdata, handles)

% hObject    handle to edit16 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit16 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit16 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit16_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit16 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```
function edit17_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```

% hObject handle to edit17 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit17 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit17 as a double

```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
```

```
function edit17_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```

% hObject handle to edit17 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
```

```
% See ISPC and COMPUTER.
```

```

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```
function edit18_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
guidata(hObject,handles); %Salvar datos de la aplicación
```

```

% hObject handle to edit18 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit18 as text
```

```
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit18 as a double
```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit18_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit18 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit19_Callback(hObject, eventdata, handles)

% hObject    handle to edit19 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit19 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit19 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit19_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit19 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit22_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit22 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit22 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit22 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit22_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit22 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

**ANEXO D. MANUAL DE SEGURIDAD Y USO DEL SECADOR
SECADOR ROTATIVO DIRECTO CILÍNDRICO PARA POLLINAZA**

Su seguridad y la seguridad de los demás son muy importantes

Hemos incluido muchos mensajes importantes de seguridad en este manual.
Lea y obedezca siempre todos los mensajes de seguridad.



Este es el símbolo de advertencia de seguridad.

Este símbolo le llama la atención sobre peligros potenciales que pueden ocasionar la muerte o una lesión a usted y a los demás.

Todos los mensajes de seguridad irán a continuación del símbolo de advertencia de seguridad y de la palabra

“PELIGRO” o “ADVERTENCIA”.

Estas palabras significan:



PELIGRO

Si no sigue las instrucciones de inmediato, usted puede morir o sufrir una lesión grave.



ADVERTENCIA

Si no sigue las instrucciones, usted puede morir o sufrir una lesión grave.

Todos los mensajes de seguridad le dirán el peligro potencial, le dirán cómo reducir las posibilidades de sufrir una lesión y lo que puede suceder si no se siguen las instrucciones.

INSTRUCCIONES IMPORTANTES DE SEGURIDAD

Para reducir el riesgo de incendio, quemaduras, choque eléctrico o lesiones a las personas al utilizar el secador, siga las precauciones básicas, entre ellas las siguientes:

ADVERTENCIA:

1. Lea todas las instrucciones antes de usar el secador.
2. No coloque artículos como aceites, combustibles, fluidos inflamables y químicos cerca de la entrada del área del quemador de gas propano o sobre la tolva de descarga.

Los artículos ya mencionados pueden generar incendio, explosión o una reacción química.

3. el secador fue diseñado y construido para secar pollinaza solamente, no intentar secar otros productos y menos si están húmedos con algún tipo de combustible o químico que pueda reaccionar a temperaturas elevadas.
4. No permita que los niños jueguen en o sobre el cilindro.
5. No permita que los niños se acerquen al secador.
6. No introduzca las manos u objetos dentro del cilindro si está en movimiento.
7. No reparar o reemplazar cualquier parte del secador o intente ningún tipo de servicio a menos que se recomiende específicamente en esta guía de uso y cuidado del usuario y menos si usted no entiende y no tiene las habilidades para llevar a cabo alguna reparación.

8. No se acerque a la polea de la tolva de entrada.
9. Verifique que el cilindro este en vacío y la tolva de entrada antes de ponerlas en funcionamiento.
10. Mantenga el área alrededor del secador libre de objetos que puedan obstaculizar el libre paso de las personas.
11. No instale ni guarde el secador en lugares donde sea expuesto a la intemperie.
12. No altere los controles eléctricos de la maquina.
13. Ver las instrucciones de instalación de tierra requisito.

ADVERTENCIA: Para su seguridad, la información en este manual debe ser observada para minimizar el riesgo de incendio o explosión, o para prevenir daños a propiedades, heridas o la muerte.

– No almacene o use gasolina u otros líquidos y vapores inflamables cerca de éste aparato.

– PASOS QUE USTED DEBE SEGUIR SI HUELE A GAS:

- No trate de encender ningún aparato electrodoméstico.
- No toque ningún enchufe eléctrico; no use ningún teléfono celular cerca.
- Desaloje a todos los ocupantes del cuarto, edificio o área.
- Llame inmediatamente a su proveedor de gas desde el teléfono de un vecino.

Siga las instrucciones de su proveedor de gas.

- Si usted no puede comunicarse con su proveedor de gas, llame al departamento de bomberos.
- La instalación y el servicio deben ser efectuados por un instalador calificado, una agencia de servicio o por el proveedor de gas.

Revisión de su ventilación

Su secador debe de estar instalado y ventilado adecuadamente para obtener una eficiencia máxima de secado y acortar el tiempo de secado. Deje que los espacios de instalación tengan las medidas mínimas recomendadas (se encuentran en sus Instrucciones de instalación). Vea las Instrucciones de instalación para más información.

NOTA: Las visitas de servicio que resulten necesarias debido a una ventilación inadecuada irán por cuenta del cliente, ya sea que se trate de una instalación pagada o una hecha por el cliente mismo.

USO DEI SECADOR

1. Primero revise la conexión de gas y la cantidad de gas del cilindro.
2. Se debe encender el quemador de propano girando la perilla del gas y luego accionando la válvula del quemador, al tiempo de accionar los pilotos eléctricos.



3. Se da encendido al ventilador centrífugo y se corrobora que la llama se mantiene encendida.



4. Se prende el moto-reductor y se observa que el cilindro gire suavemente sobre sus guías.



5. Se enciende el motor de la tolva de entrada.



6. Se introduce la pollinaza por la parte de encima de la tolva de entrada.



7. Al finalizar el proceso deje que se descargue completamente el cilindro y la tolva de entrada.
8. Apague el quemador de propano, cerrando la válvula del quemador y la perilla del paso del gas.
9. Apague el moto reductor y el motor de la tolva de entrada.

CUIDADO DEL SECADOR

IMPORTANTE:

- _ No ponga a funcionar el secador con obstrucciones en el giro del cilindro.
- _ No ponga en funcionamiento el secador con obstrucciones en el ventilador centrífugo.
- _ No ponga en funcionamiento el secador con insinuaciones de fuga de propano.
- _ Revise que los aros guía estén bien engrasados para asegurar un giro mas suave.
- _ Revise que no aya nada obstaculizando el giro de la polea del dosificador de la tolva de entrada.
- _ No ponga en funcionamiento el secador con obstrucciones en el dosificador de la tolva de entrada.

SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

En primer lugar, pruebe las soluciones sugeridas aquí.

El secador no funciona

_ Verifique lo siguiente:

¿Se han enchufado los cables eléctricos?

Se debe verificar la conexión de los cables al tomacorriente adecuado si es de 110 V para los motores o de 220 V para el ventilador.

¿Se ha quemado un fusible o se ha disparado el Cortacircuitos?

Pudo haber una sobrecarga que disparara los tacos de la caja de seguridad.

¿Hay obstáculos en el libre giro del cilindro o el giro del ventilador?

Por descuido o accidente se dejaron obstáculos en el libre giro del cilindro o del ventilador lo que puede causar una avería de los componentes mecánicos y eléctricos.

No hay calor

_ ¿No hay gas en las pipetas de gas propano?

Se debe revisar el nivel de gas cada vez que se usa el secador.

_ ¿No hay chispa en los pilotos para generar el encendido del gas del quemador?

Se debe revisar la conexión eléctrica del piloto de encendido.

_ ¿Está la válvula abierta en la vía de abastecimiento?

Revisar si la válvula esta en buen estado y si esta abierta en el momento de uso de la secadora.

Resultados del secador

La pollinaza no está secándose de modo satisfactorio

_ Verifique lo siguiente:

¿La cantidad de fuego y por ende la cantidad de calor es suficiente?

Se debe verificar si la válvula del gas esta abierta lo necesario para quemar lo suficiente que genere los gases de combustión apropiados para el secado de la pollinaza.

¿Está obstruido con pollinaza el ducto de entrada de aire y gases de combustión?

Verificar que el ducto de entrada ubicado en la tolva de descarga este libre de residuos de pollinaza que puedan impedir el libre flujo del aire y de los gases de combustión.

_ ¿Está la carga demasiado voluminosa y pesada para secarse con rapidez?
Verifique que el cilindro no se está sobrecargando y posiblemente atascando el producto dentro de él.

Por favor seguir con esta guía de usuario para mantener en el mejor estado el secador y alargar la vida útil.

Con el adecuado uso de esta guía de usuario se pueden evitar accidentes a personas que interactúan con la máquina.

GUARDE ESTAS INSTRUCCIONES.

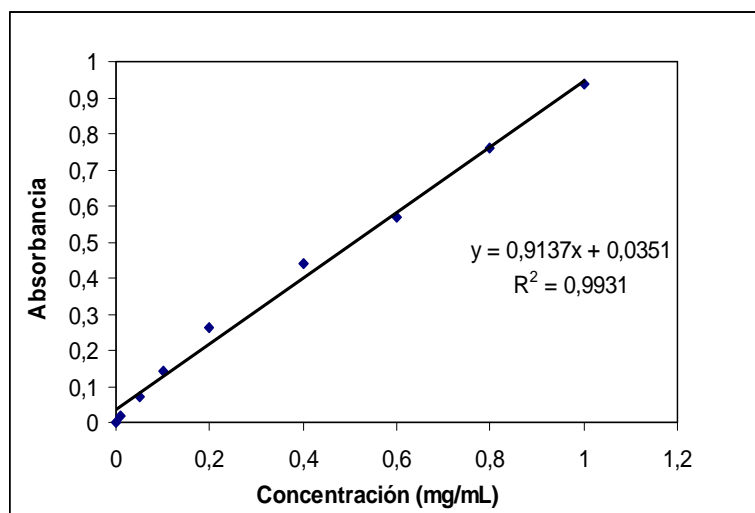
ANEXO E. CONTENIDO DE PROTEÍNA EN LA POLLINAZA

Para la comparación de la concentración de proteína en la pollinaza antes y después del secado, las muestras fueron llevadas a un laboratorio de la Escuela de Química llamado Grupo de Investigación en Bioquímica e Ingeniería de Proteínas (GIBIP). En dicho laboratorio se trabajó con el método de Bradford, el cual se basa en el aumento de coloración que experimentan las proteínas en solución conforme aumenta su concentración en presencia de un reactivo especial y por ello se realizaron medidas para saber la cantidad de luz dispersada a una longitud de onda de 595 nm, correspondiente al color azul observado.

Posteriormente se debió calibrar el método para correlacionar las medidas de absorbancia con la cantidad de proteína usando muestras de concentración conocida.

De acuerdo a los datos obtenidos se corroboró que la cantidad de proteína luego del secado corresponde al 33,20%.

Curva de Calibración para la Determinación de la concentración de Proteínas usando el Método de Bradford



Conc. mg/ml	Abs
0	0
0,01	0,018
0,05	0,072
0,1	0,143
0,2	0,263
0,4	0,442
0,6	0,571
0,8	0,758
1	0,936

Los valores de concentración de proteínas para la muestra de pollinaza antes y después del secado fueron: 0,770 correspondientes a 0,804 mg/mL y 0,189 correspondiente a 0,267 mg/mL, respectivamente.