



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

“Trabajo de grado previo a la obtención del Título de Ingeniero Industrial”

TRABAJO DE GRADUACIÓN

TÍTULO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:

**“CONSTRUCCIÓN DE UN SECADOR ROTATIVO PILOTO DE
CEREALES PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA”**

AUTORAS:

Ximena Carolina Briones Vizuite
Mirian Mercedes Guanoluisa Maiguanga

DIRECTOR DEL PROYECTO: Ing. Rodrigo Briones

Riobamba: Febrero del 2011

PÁGINA DE REVISIÓN

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: **CONSTRUCCIÓN DE UN SECADOR ROTATIVO PILOTO DE CEREALES PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA**, presentado por la Señorita Ximena Carolina Briones Vizuete y la Señora Mirian Mercedes Guanoluisa Maiguanga y dirigida por el Ing. Rodrigo Briones.

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Vicente Soria
PRESIDENTE DE TRIBUNAL

Firma

Ing. Rodrigo Briones
DIRECTOR DEL PROYECTO

Firma

Ing. Mario Cabrera

MIEMBRO DE TRIBUNAL

Firma

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Nosotras, Ximena Carolina Briones Vizueté y Mirian Mercedes Guanoluisa Maiguanga somos responsables de las ideas, doctrinas, resultados y propuestas expuestas en el presente trabajo de investigación, y los derechos de autoría

pertenecen a la Universidad Nacional de Chimborazo.

AGRADECIMIENTO

Nuestro profundo agradecimiento al Ing. Rodrigo Briones Director del Proyecto de Investigación y Director de Escuela, al Ing. Mario Cabrera Asesor, al Ing. Ángel Cruz, Colaborador del Proyecto de Investigación, quienes contribuyeron con sus conocimientos, apoyo intelectual, material y el tiempo dedicado para culminar exitosamente con nuestro trabajo de investigación.

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo, a la Escuela de Ingeniería Industrial.

Y a todos quienes de una u otra manera formaron parte de esta conquista.

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a Dios porque me diste la oportunidad de vivir y de regalarme una familia maravillosa.

A mis padres Rodrigo Briones y Zoraida Vizuite que me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento, con su cariño, sacrificio y apoyo incondicional.

A mis hermanos Antonio y Soraya por estar siempre a mi lado.

Ximena C. Briones V.

El presente trabajo lo dedico a Dios por brindarme salud y sabiduría durante mis años de estudio.

A mis queridos padres Juan Guanoluisa y Marina Maiguanga, por su cariño, sacrificio y apoyo incondicional.

De manera especial quiero dedicar a mi esposo Juan Moyota a mis hijas Paula y Dayanara, por ser mi fuente de inspiración y la razón de mi vida.

Mirian M. Guanoluisa M.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---------------------------------------|----------|
| PORTADA..... | i |
| PÁGINA DE REVISIÓN..... | ii |
| AUTORIA DE LA INVESTIGACIÓN..... | iii |
| AGRADECIMIENTO..... | iv |
| DEDICATORIA..... | v |
| ÍNDICE GENERAL..... | vi |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS..... | xi |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | xiv |
| ÍNDICE DE FÓRMULAS..... | xv |
| ÍNDICE DE ANEXOS..... | xvii |
| RESUMEN..... | xviii |
| SUMMARY..... | xix |
| | |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| | |
| CAPÍTULO I | |
| | |
| 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA..... | 2 |
| 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 2 |
| 1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA..... | 2 |
| 1.3 OBJETIVOS..... | 3 |
| 1.3.1 OBJETIVO GENERAL..... | 3 |
| 1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 3 |

| | |
|---|----|
| 1.4 JUSTIFICACIÓN..... | 4 |
| 1.5 ENFOQUE TEÓRICO..... | 5 |
| 1.5.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN..... | 5 |
| 1.5.2 MARCO TEÓRICO..... | 6 |
| 1.5.2.1 CEREALES..... | 6 |
| 1.5.2.1.1 TIPOS DE CEREALES..... | 7 |
| 1.5.2.2 SECADO..... | 11 |
| 1.5.2.2.1 DEFINICIÓN DE SECADO..... | 12 |
| 1.5.2.2.2 OBJETIVOS DEL SECADO..... | 13 |
| 1.5.2.2.3 PROCESO DEL SECADO..... | 14 |
| 1.5.2.2.4 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DEL SECADO..... | 15 |
| 1.5.2.2.5 MÉTODOS GENERALES DE SECADO..... | 17 |
| 1.5.2.2.6 EQUIPOS PARA EL SECADO..... | 18 |
| 1.5.2.2.6.1 SECADO EN BANDEJAS..... | 18 |
| 1.5.2.2.6.2 SECADORES INDIRECTOS AL VACIO CON ANAQUELES..... | 20 |
| 1.5.2.2.6.3 SECADORES CONTINUOS DE TÚNEL..... | 20 |
| 1.5.2.2.6.4 SECADORES ROTATORIOS..... | 22 |
| 1.5.2.2.6.5 SECADORES DE TAMBOR..... | 23 |
| 1.5.2.2.6.6 SECADORES POR ASPERSIÓN..... | 24 |
| 1.5.2.2.6.7 SECADO DE COSECHAS Y GRANOS..... | 25 |
| 1.5.2.3 PRESIÓN DE VAPOR DEL AGUA Y HUMEDAD..... | 26 |
| 1.5.2.3.1 PRESIÓN DE VAPOR DEL AGUA..... | 26 |
| 1.5.2.3.2 HUMEDAD Y DIAGRAMAS O GRÁFICAS DE HUMEDAD..... | 28 |
| 1.5.2.3.2.1 DEFINICIÓN DE HUMEDAD..... | 28 |
| 1.5.2.3.2.2 PORCENTAJE DE HUMEDAD..... | 29 |

| | | |
|-------------|---|----|
| 1.5.2.3.2.3 | PORCENTAJE DE HUMEDAD RELATIVA..... | 29 |
| 1.5.2.3.2.4 | PUNTO DE ROCIO DE UNA MEZCLA DE AIRE Y VAPOR DE AGUA..... | 30 |
| 1.5.2.3.2.5 | CALOR HÚMEDO DE UNA MEZCLA DE AIRE Y VAPOR DE AGUA..... | 31 |
| 1.5.2.3.2.6 | VOLUMEN HÚMEDO DE UNA MEZCLA DE AIRE Y VAPOR DE AGUA..... | 31 |
| 1.5.2.3.2.7 | ENTALPIA TOTAL DE UNA MEZCLA DE AIRE Y VAPOR DE AGUA..... | 32 |
| 1.5.2.3.2.8 | GRÁFICA DE HUMEDAD PARA MEZCLAS DE AIRE-VAPOR DE AGUA..... | 32 |
| 1.5.2.4 | CURVAS DE VELOCIDAD DE SECADO..... | 35 |
| 1.5.2.4.1 | CURVAS DE VELOCIDAD DE SECADO PARA CONDICIONES DE SECADO CONSTANTE..... | 36 |
| 1.5.2.4.1.1 | CONVERSIÓN DE LOS DATOS A CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO..... | 36 |
| 1.5.2.4.1.2 | GRÁFICA DE LA CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO..... | 39 |
| 1.5.2.5 | MANTENIMIENTO..... | 40 |
| 1.5.2.5.1 | OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO..... | 40 |

CAPÍTULO II

| | |
|---|-----------|
| 2. METODOLOGÍA..... | 41 |
| 2.1 DESCRIPCIÓN DEL SECADOR ROTATIVO PILOTO DE CEREALES.. | 41 |
| 2.1.1 GENERALIDADES..... | 41 |
| 2.1.2 SECADOR ROTATIVO PILOTO DE CEREALES..... | 41 |
| 2.2 TIPO DE ESTUDIO..... | 43 |
| 2.3 POBLACIÓN Y MUESTRA..... | 44 |

| | |
|---|------------|
| 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 112 |
| 4.1 CONCLUSIONES..... | 112 |
| 4.2 RECOMENDACIONES..... | 113 |
| CAPÍTULO V | |
| 5. PROPUESTA..... | 115 |
| 5.1 TÍTULO DE LA PROPUESTA..... | 115 |
| 5.2 INTRODUCCIÓN..... | 115 |
| 5.3 OBJETIVOS..... | 116 |
| 5.3.1 OBJETIVO GENERAL..... | 116 |
| 5.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 116 |
| 5.4 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA-TÉCNICA..... | 116 |
| 5.5 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA..... | 117 |
| 5.6 MONITOREO Y EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA..... | 120 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 122 |
| ANEXOS..... | 124 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| GRÁFICOS | Página |
|---|---------------|
| Gráfico 1. Secador de bandejas o anaqueles..... | 19 |
| Gráfico 2. Secador de carretillas con flujo de aire a contracorriente..... | 21 |
| Gráfico 3. Secador de banda transportadora con circulación cruzada..... | 22 |
| Gráfico 4. Secador rotativo con calentamiento directo..... | 23 |
| Gráfico 5. Secador de tambor rotatorio..... | 24 |
| Gráfico 6. Secador por aspersion..... | 25 |
| Gráfico 7. Secador vertical de flujo continuo para granos..... | 26 |

| | |
|--|----|
| Gráfico 8. | |
| Diagrama de fases de agua..... | 27 |
| | |
| Gráfico 9. | |
| Gráfica de humedad para mezclas de aire y vapor de agua a una presión total de 101.325 kPa (760 mm de Hg)..... | 34 |
| | |
| Gráfico 10. | |
| Gráfica de los datos de humedad libre en función del tiempo..... | 38 |
| | |
| Gráfico 11. | |
| Curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre..... | 38 |
| | |
| Gráfico 12. | |
| Secador Rotativo Piloto..... | 43 |
| | |
| Gráfico 13. | |
| Base metálica del Secador Rotativo Piloto..... | 47 |
| | |
| Gráfico 14. | |
| Cilindro del Secador Rotativo Piloto..... | 48 |
| | |
| Gráfico 15. | |
| Motorreductor del Secador Rotativo Piloto..... | 48 |
| | |
| Gráfico 16. | |
| Rodillos del Secador Rotativo Piloto..... | 49 |

| | |
|--|-----|
| Gráfico 17. | |
| Cadena-catalina del Secador Rotativo Piloto..... | 50 |
| Gráfico 18. | |
| Ventilador del Secador Rotativo Piloto..... | 50 |
| Gráfico 19. | |
| Resistencias Eléctricas del Secador Rotativo Piloto..... | 51 |
| Gráfico 20. | |
| Carga de Cereales del Secador Rotativo Piloto..... | 51 |
| Gráfico 21. | |
| Descarga de Cereales del Secador Rotativo Piloto..... | 52 |
| Gráfico 22. | |
| Caja de mandos eléctricos del Secador Rotativo Piloto..... | 52 |
| Gráfico 23. | |
| Secador Rotativo Piloto de Cereales..... | 57 |
| Gráfico 24. | |
| Diagrama simplificado del Circuito del Sistema de Control..... | 119 |
| Gráfico 25. | |
| Interfaz de comunicación con el usuario..... | 120 |

ÍNDICE DE TABLAS

| TABLAS | Página |
|--|---------------|
| Tabla 1. Maquinaria utilizada en la Construcción del Secador Rotativo Piloto de Cereales... | 53 |
| Tabla 2. Operaciones para la construcción del Secador Rotativo Piloto de Cereales con el tiempo de cada maquinaria..... | 54 |
| Tabla 3. Costo hora-maquinaria para la construcción del Secador Rotativo Piloto de Cereales..... | 55 |

ÍNDICE DE FÓRMULAS

| FÓRMULAS | Página |
|--|---------------|
| Fórmula 1. De la humedad..... | 28 |
| Fórmula 2. De la humedad de saturación..... | 29 |
| Fórmula 3. El porcentaje de humedad..... | 29 |
| Fórmula 4. El porcentaje de humedad relativa..... | 30 |
| Fórmula 5. Volumen húmedo..... | 31 |
| Fórmula 6. Entalpia Total..... | 32 |
| Fórmula 7. | |

| | |
|---|----|
| Velocidad del Secado..... | 36 |
| Fórmula 8. | |
| Contenido de humedad de equilibrio..... | 36 |
| Fórmula 9. | |
| La velocidad para cada punto..... | 37 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|------------------------------|--------|
| ANEXO N° 1 | |
| Términos Importantes..... | xx |
| ANEXO N° 2 | |
| Tablas..... | xxviii |
| ANEXO N° 3 | |
| Análisis de Costos..... | xlii |
| ANEXO N° 4 | |
| Manual de Procedimiento..... | xlvi |
| ANEXO N° 5 | |
| Manual de Mantenimiento..... | li |

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, tiene como tema central la construcción de un secador rotativo piloto de cereales, para el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería, el cual servirá como un gran aporte para que los estudiantes puedan realizar las prácticas de laboratorio, y adquieran destrezas para desempeñarse en su vida profesional.

El secador rotativo piloto de cereales, es calentado por una resistencia eléctrica de 3000 Vatios en 220 voltios, este secador tiene una capacidad de 5 kilogramos, consta de un tambor de acero inoxidable de 220 mm de diámetro por 800 mm de longitud, en una lámina de espesor de 2 mm. El movimiento de rotación del tambor se consigue por medio de una corona dentada que circula el mismo y un grupo de arrastre motorreductor.

La construcción de ciertos elementos del Secador Rotativo piloto de cereales, exige la utilización de maquinarias, instrumentos, herramientas, en las diferentes operaciones del proceso.

En las prácticas de laboratorio de diferentes cereales que son: el maíz, la arveja, el frejol, las habas, en ellas se encuentran los cuadros, gráficos respectivos de cada práctica; estas servirán como guía para los estudiantes y profesores de la Facultad.

En el análisis de costos, se obtiene que el beneficio es que el costo total del equipo se reduce a un 25.42 % de su costo en el mercado, es decir que la Universidad ha ahorrado 9286 dólares con la construcción de la presente máquina.

Para la correcta utilización, se desarrolló un manual de procedimiento de encendido y apagado del equipo, así también para evitar daños en el mismo, se elaboró un manual de mantenimiento.

SUMMARY

The present research has as its central theme the construction of a cereal pilot rotary dryer for Unit Operations Laboratory at Faculty of Engineering, which will serve as a great contribution for students are able to make Lab. Practice and they acquire skills to develop in their professional life.

The cereal pilot rotary dryer, is heated by an electrical resistance of up Watts in 220 volts, this dryer has a capacity of 5 kilograms, consists of a stainless steel drum of 220 mm in diameter and 800 mm in length, on a slide 2 mm thick. The drum rotation is achieved by means of a ring gear that runs at the same position and a group drive unit gearbox.

The construction of certain elements of the cereal pilot rotary dryer requires the use of machinery, instruments, tools, through the operations of the process.

In the laboratory practices of different cereals like: corn, peas, beans, beans in them are the statistical tables corresponding to each practice, these will serve as a guide for students and teachers of the Faculty.

In the cost analysis, we find that the benefit is that the total equipment cost is reduced to 25.42% of the cost in the market, meaning that the university has saved \$ 9286 with the construction of this machine.

For proper use, we developed an on and off manual equipment procedure, and also to avoid damaging at computer. We developed a maintenance manual.

INTRODUCCIÓN

Los cereales constituyen la fuente de nutrientes más importante de la humanidad. Los más utilizados en la alimentación humana son el trigo, el arroz y el maíz, aunque también son importantes la cebada, el centeno, la avena, el mayor inconveniente de la cosecha de productos húmedos es la necesidad de reducir su contenido de humedad a niveles seguros para su almacenamiento, siendo un proceso que exige un gran consumo de energía.

El secado de los alimentos es uno de los métodos más antiguos que ha utilizado el hombre para conservar sus alimentos. Se empleaba la energía solar que calentaba el ambiente, para secar sus alimentos al aire libre. Actualmente el secado de cereales, frutas, hortalizas y granos es un proceso industrial muy importante en la preservación de la calidad de los productos agrícolas.

El **secado de cereales** corresponde a un servicio que consiste en la **reducción** del contenido de **humedad** de un determinado producto, hasta un nivel que se considera seguro para el almacenamiento de éste. Se entiende que es seguro un nivel de humedad por debajo del cual se reduce la actividad respiratoria de los granos y se dificulta el ataque de insectos y hongos.

El uso de un secador, como alternativa al secado, permite controlar las condiciones de higiene y la calidad nutricional del producto.

El presente trabajo de investigación tiene como tema central la construcción de un secador rotativo piloto de cereales para el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería, el cual servirá como un gran aporte para que los estudiantes puedan realizar las prácticas de laboratorio, y adquieran destrezas para desempeñarse en su vida profesional.

CAPÍTULO I

1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente el desarrollo de nuestra sociedad y el mundo globalizado, competitivo en el cual nos desarrollamos día a día, se hace necesario que los estudiantes adquieran destrezas tanto a nivel teórico como práctico para un mejor desenvolvimiento en la vida laboral.

Y tomando en cuenta que en la mayoría de los procesos industriales de las industrias alimenticias interviene un secador rotativo de cereales, se hace necesario conocer su funcionamiento y aplicación, de ahí que esta investigación se encamine a la construcción de un secador rotativo piloto para el Laboratorio de Operaciones Unitarias, permitiendo la realización de prácticas de laboratorio de los estudiantes, y familiarizarse desarrollando aptitudes relacionadas con el funcionamiento así como con los elementos que cuenta y los parámetros respectivos para su marcha.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo en su afán de mejorar el nivel académico de sus estudiantes para optimizar su desempeño en la vida laboral, debido a que las exigencias profesionales aumentan día a día, se hace necesario que la enseñanza se la realice de manera teórica y práctica

También debido a que la Facultad de Ingeniería se encuentra en la tarea de implementar los laboratorios entre ellos el de Operaciones Unitarias, cuyos equipos en el mercado tienen un costo muy elevado, es así que un secador rotativo piloto de cereales su importación resultaría altamente costosa si se toma en cuenta aspectos como: costo del equipo, impuestos, transporte, seguros, montaje, mantenimiento, etc. Por ello se hace imprescindible la construcción de un secador rotativo piloto de cereales con características similares a un costo bajo.

El contar con un secador rotativo piloto de cereales en el laboratorio dotado con los elementos adecuados y óptimos, podrá facilitar el desarrollo y comprensión de las cátedras como: Operaciones Unitarias, Mantenimiento Industrial, Procesos Industriales; con lo cual los estudiantes de las Escuelas de Industrial, Agroindustrial y Ambiental podrán beneficiarse de esta máquina.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Construir un Secador Rotativo Piloto de Cereales para el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un estudio de las diferentes variables que intervienen en el proceso de construcción del Secador Rotativo Piloto de Cereales.

- Seleccionar los materiales, equipos y herramientas que se emplearan para la construcción del Secador Rotativo Piloto de Cereales.
- Efectuar un análisis de costos en función a otros equipos del mismo tipo relacionados con la construcción y su funcionamiento.
- Construir las curvas de secado.
- Elaborar el manual de mantenimiento y de funcionamiento del Secador Rotativo Piloto de Cereales.
- Realizar guías de prácticas de laboratorio para que los estudiantes se puedan desenvolver durante las prácticas.

1.4 JUSTIFICACIÓN

La calidad de los granos luego de la etapa de cosecha, es un tema de sumo interés para toda la cadena de comercialización agraria. Pero más interesante es resguardar las condiciones físico-químicas de los granos, ya que van a determinar la calidad del producto final.

El secado es una de las Operaciones Unitarias más relevantes en la industria, por este motivo esta operación es de continuo interés, además la eliminación de agua de los componentes sólidos es un objetivo prioritario en la industria para obtener el producto con mayor pureza y, en definitiva, incrementar la calidad del producto final, junto con el aumento de su tiempo de conservación.

Como futuros profesionales de la Escuela de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo con conocimientos sobre las cátedras de Operaciones Unitarias, Procesos Industriales, Mantenimiento Industrial en las cuales se estudian los conceptos y fundamentos técnicos; los cuales serán puestos en práctica al utilizar este equipo en el Laboratorio.

Con la construcción del secador rotativo piloto de cereales, se podrá equipar el laboratorio de Operaciones Unitarias, el mismo que será de gran utilidad para los estudiantes que requieran realizar prácticas e investigaciones en las cátedras de Operaciones Unitarias, Procesos Industriales, Mantenimiento Industrial, como por ejemplo: balance de masas, tiempo de procesos, consumo de energía, mantenimiento general de la máquina, etc.

De esta manera se pondrá en práctica los diferentes conocimientos teóricos adquiridos por los estudiantes, obteniendo nuevas destrezas y habilidades que servirán en su futuro profesional.

1.5 ENFOQUE TEÓRICO

1.5.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

La tecnología del secado ha sufrido nuevas transformaciones de calidad y velocidad de producción al inicio de la revolución industrial, con el fin de satisfacer nuevos requerimientos compatibles con un mejor uso de la energía. En este aspecto, la introducción de nuevas tecnologías y el uso de diferentes modos de secado han significado el reemplazo gradual del secado al ambiente. En este sentido, el uso de equipos de secado ha mostrado ser una excelente opción, indicando la importancia de este método de secado.

La calidad de los cereales va a depender de su post-cosecha, así como las condiciones de almacenaje, es por esta razón que surge el empleo de equipos de secado que ayuden de una manera eficiente a eliminar ciertas cantidades de agua logrando conservar las propiedades del cereal.

El objetivo de esta investigación es construir un Secador Rotativo de Cereales, donde permita un secado óptimo, manteniendo las características de los cereales para la obtención de granos secos para su almacenamiento, al mismo poner en práctica los

conocimientos teóricos adquiridos en la cátedra de Operaciones Unitarias, Procesos Industriales y Mantenimiento Industrial.

No existen estudios sobre la construcción de un Secador Rotativo para Cereales en la Facultad de Ingeniería, pero existen ofertas en el mercado teniendo costos muy elevados, por lo cual nosotras hemos investigado en libros e internet sobre la construcción de maquinaria industrial, lo cual nos servirá para la construcción del Secador Rotativo de Cereales.

1.5.2 MARCO TEÓRICO

La construcción del Secador Rotativo Piloto de Cereales ha constituido el objetivo de uno de los proyectos en la implementación de los equipos de Laboratorio de Operaciones Unitarias que lleva adelante la Facultad de Ingeniería, con la finalidad de desarrollar el aprendizaje práctico en los estudiantes.

1.5.2.1 CEREALES¹

Los cereales son los frutos en forma de grano, se emplean para la [alimentación](#) humana o del [ganado](#). Los cereales constituyen la fuente de nutrientes más importante de la humanidad. Históricamente están asociados al origen de la civilización y cultura de todos los pueblos. El hombre pudo pasar de nómada a sedentario, cuando aprendió a cultivar los cereales y obtener de ellos una parte importante de su sustento. Cada cultura, cada civilización, cada zona geográfica del planeta, consume un tipo de cereales específicos, creando toda una cultura gastronómica en torno a ellos.

¹ Cereales: <http://www.sanutricion.org.ar/cereales_legumbres.pdf>

<<http://www.scribd.com/doc/17102539/Bioquimica-de-Granos-y-Cereales>>



Los cereales, denominación que engloba varias especies de la familia de las Gramíneas cultivadas por sus semillas, que son importantes productos alimenticios. El nombre deriva de Ceres, diosa romana de la agricultura.

1.5.2.1.1 TIPO DE CEREALES

Entre los tipos de cereales tenemos:

✚ **Maíz²:** o choclo, millo o elote (*Zea mays*) es una [planta gramínea](#) anual originaria de [América](#) introducida en [Europa](#) en el [siglo XVI](#). Actualmente, es el [cereal](#) con mayor volumen de producción en el mundo, superado por el trigo y el arroz. En la mayor parte de los países de América, el maíz constituye la base histórica de la alimentación regional y uno de los aspectos centrales de las culturas [mesoamericana](#) y [andina](#).



✚ **Lenteja³:** o *Lens culinaris*, la lenteja es una [planta anual herbácea](#), de la familia de las [Papilionáceas](#), con tallos de 30 a 40 cm, endebles, ramosos y estriados, hojas oblongas, estípulas lanceoladas, zarcillos poco arrollados, flores blancas con venas moradas, sobre

² Maíz: < http://es.wikipedia.org/wiki/Zea_mays>

³ Lenteja: < http://es.wikipedia.org/wiki/Lens_culinaris>

un pedúnculo axilar, y fruto en vaina pequeña, con dos o tres semillas pardas en forma de disco de medio centímetro de diámetro aproximadamente. La lenteja es un alimento con una alta concentración de nutrientes.



- ✚ **Arroz⁴:** Es la [semilla](#) de la [Oryza sativa](#). Se trata de un [cereal](#) considerado como [alimento básico](#) en muchas culturas culinarias. Su grano corresponde al segundo cereal más producido del mundo, tras el [maíz](#). El arroz es responsable del aporte calórico de una quinta parte de las [calorías](#) consumidas en el mundo por los seres humanos.



- ✚ **Trigo⁵:** (*Triticum* spp) es el término que designa al conjunto de [cereales](#), tanto cultivados como silvestres, que pertenecen al género *Triticum*; son plantas anuales de la familia de las [gramíneas](#), ampliamente cultivadas en todo el mundo. La palabra trigo designa tanto a la [planta](#) como a sus [semillas](#) comestibles, tal y como ocurre con los nombres de otros cereales.



⁴ Arroz: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Arroz>>

⁵ Trigo: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Triticum>>

- ✚ **Cebada**⁶: (*Hordeum vulgare*) es una planta [monocotiledónea](#) [anual](#) perteneciente a la familia de las [poáceas](#) (gramíneas), a su vez, es un [cereal](#) de gran importancia tanto para animales como para humanos y actualmente el quinto cereal más cultivado en el mundo.



- ✚ **Chocho**⁷: Semilla o grano comestible del tarhui, que se remoja para extraerle el amargor y la acidez, antes de consumirla.



- ✚ **Arveja**⁸: El guisante, alverja, arveja, arjeva o chícharo (*Pisum sativum*) es la pequeña semilla comestible de la planta que se cultiva para su producción y de algunas variedades de la cual, como la llamada "tirabeque", se pueden consumir las propias vainas por ser muy tiernas.

⁶ Cebada.< http://es.wikipedia.org/wiki/Hordeum_vulgare>

⁷ Chocho:< <http://es.wikipedia.org/wiki/Chocho>>

⁸ Arveja:< http://es.wikipedia.org/wiki/Pisum_sativum>



- ✚ **Haba**⁹: Vicia faba, el haba, es una [planta trepadora herbácea](#), [anual](#), de tallos semi-erectos que se enredan; cultivada en todo el globo por sus [semillas](#), las cuales son empleadas en [gastronomía](#). Da su nombre a la familia de las [fabáceas](#), de la cual es la [especie tipo](#). El haba tiene porte recto y erguido, con [tallos](#) fuertes y angulosos de hasta 1,6 [metros](#) de altura. Muestra [hojas](#) alternas, [paripinnadas](#) y compuestas, con [foliolo](#)s anchos de forma oval-redondeada, color verde oscuro, sin [zarcillos](#); el foliolo terminal no existe o se convierte en un zarcillo rudimentario. El [fruto](#) es una [legumbre](#), posee una vaina alargada de longitud variable entre 10 y 30 cm y consistencia carnosa, tienen un tabique esponjoso con una especie de pelo afelpado entre las semillas siendo éstas más o menos aplastadas.



- ✚ **Porotos**¹⁰: Ejote El fruto inmaduro de [Phaseolus vulgaris](#) y otras especies del género *Phaseolus* es conocido en los países de lengua española con diversidad de nombres. Son vainas aplanadas y alargadas, en cuyo interior se dispone un número de [semillas](#) variable según la especie. Aunque en el proceso de maduración las paredes de la vaina se endurecen mediante la formación de [tejidos](#) fibrosos, en su forma inmadura resultan comestibles y se consumen como [verdura](#).

⁹ Haba:< http://es.wikipedia.org/wiki/Vicia_faba>

¹⁰ Porotos: < <http://es.wikipedia.org/wiki/Ejote>>



✚ Etc.

1.5.2.2 SECADO¹¹

El estudio del secado se refiere a la eliminación de agua de los materiales de proceso y de otras sustancias. El término secado se usa también con referencia a la eliminación de otros líquidos orgánicos, como benceno o disolventes orgánicos, de los materiales sólidos. En general el secado significa la remoción de cantidades de agua relativamente pequeñas de cierto material.

El secado o deshidratación de materiales biológicos (en especial los alimentos), se usa también como técnica de preservación. Los microorganismos que provocan la descomposición de los alimentos no pueden crecer y multiplicarse en ausencia de agua. Además, muchas de las enzimas que causan los cambios químicos en alimentos y otros materiales biológicos no pueden funcionar sin agua. Los microorganismos dejan de ser activos cuando el contenido de agua se reduce por debajo del 10% en peso. Sin embargo, generalmente es necesario reducir este contenido de humedad por debajo del 5% en peso en los alimentos, para preservar su sabor y su valor nutritivo. Los alimentos secos pueden almacenarse durante periodos bastante largos.

“El exceso de humedad contenida por los materiales puede eliminarse por métodos mecánicos (sedimentación, filtración, centrifugación). Sin embargo, la eliminación

¹¹ GEANKOPLIS, Christie J., Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias, 3ª Edición, CECSA Compañía Editorial Continental S.A., 2003, México, pág. 579.

más completa de la humedad se obtiene por evaporación y eliminación de los vapores formados, es decir, mediante el secado térmico, ya sea empleando una corriente gaseosa o sin la ayuda del gas para extraer el vapor.” (Knoule, 1968).

La operación de secado es una operación de transferencia de masa de contacto gas-sólido, donde la humedad contenida en el sólido se transfiere por evaporación hacia la fase gaseosa, en base a la diferencia entre la presión de vapor ejercida por el sólido húmedo y la presión parcial de vapor de la corriente gaseosa. Cuando estas dos presiones se igualan, se dice que el sólido y el gas están en equilibrio y el proceso de secado cesa.

1.5.2.2.1 DEFINICIÓN DE SECADO

El proceso de secado¹² consiste en la remoción de humedad de una sustancia, involucrando los fenómenos de transferencia de calor y masa, en forma simultánea. La transferencia de masa ocurre cuando el sólido pierde humedad y la transferencia de calor se verifica cuando el medio ambiente entrega calor al sólido, el que se emplea en la evaporación del agua que se va incorporando al aire a medida que transcurre el proceso de secado. Una de las formas usuales de secado consiste en hacer circular una corriente de aire caliente por sobre el material a secar.

El secado¹³ es la operación unitaria de separación mediante la cual se remueve agua o algún otro compuesto volátil por evaporación, de la que se obtiene un producto sólido, y se lleva a cabo por diferentes razones relacionadas con el proceso, o bien para preservar o prolongar la vida útil como es el caso de algunos productos biológicos, entre ellos los alimentos. Durante el secado, se lleva a cabo fenómenos de

¹² Operación de Secado:<<http://www.scribd.com/doc/27036363/SECADO-I-Definicion-La-Operacion-de-Secado>>

¹³ Secado:< <http://www.virtual.unal.edu.com>>

transferencia de masa, calor y momento, interrelacionados entre si y que dependen de las propiedades estructurales o moleculares del material a secar.

El secado¹⁴ constituye uno de los métodos que permite separar un líquido de un sólido. En general, entendemos por secado la separación de la humedad de los sólidos (o de los líquidos) por evaporación en una corriente gaseosa; en consecuencia, en cualquier proceso de secado hemos de tener en cuenta los mecanismos de transmisión de calor y transporte de materia.

1.5.2.2.2 OBJETIVOS DEL SECADO¹⁵

El objetivo primordial del proceso de deshidratación, es reducir el contenido de humedad del producto a un nivel que limite el crecimiento microbiano y las reacciones químicas.

- ✚ Evita el deterioro de los granos por hongos en época de invierno
- ✚ El grano obtiene características óptimas para su almacenaje.
- ✚ Se mantiene la calidad del grano o producto para su eventual comercialización.
- ✚ Reducción de peso y volumen para facilitar empaque y transporte.

1.5.2.2.3 PROCESO DE SECADO¹⁶

¹⁴Secado :<http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/sanchez_h_a/capitulo6.pdf>

¹⁵Objetivos del Secado:

<http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leip/ortiz_a_bs/capitulo2.pdf>

¹⁶ Proceso de Secado:< http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leip/ortiz_a_bs/capitulo2.pdf

La gran variedad de alimentos deshidratados que hoy en día están disponibles en el mercado como frutas deshidratadas, cereales, sopas, etc., han despertado el interés sobre las especificaciones de calidad y conservación de energía, enfatizando la necesidad del entendimiento de los procesos de secado.

Cuando un sólido húmedo es sometido a un proceso de secado se presentan dos subprocesos:

- ✚ Transferencia de la humedad interna del sólido hacia la superficie de éste y su subsecuente evaporación. El movimiento de la humedad dentro del sólido es una función de la naturaleza física del sólido, su temperatura y su contenido de humedad.
- ✚ Transferencia de energía en forma de calor del ambiente que rodea al sólido para evaporar la humedad de su superficie. Este segundo subproceso depende las condiciones externas de temperatura, humedad y flujo del aire, presión, área de exposición y el tipo de secador empleado.

En el proceso de secado, cualquier de los dos subprocesos descritos puede ser el factor limitante que gobierne la velocidad del secado, a pesar de que ambos subprocesos ocurren simultáneamente durante el ciclo de secado.

1.5.2.2.4 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE SECADO¹⁷

¹⁷ Factores en el Proceso de Secado:

Los factores que intervienen en el proceso de secado son:

a) **Temperatura del aire**

La temperatura desempeña un papel importante en los procesos de secado. En general, conforme se incrementa su valor se acelera la eliminación de humedad dentro de los límites posibles. En la práctica del secado, la elección de la temperatura se lleva a cabo tomando en consideración la especie que vaya a someter al proceso.

Existen diversos niveles de temperatura que se mantienen durante el proceso técnico de secado:

- ✚ **Temperatura de bulbo seco:** Es aquella del ambiente, se mide con instrumentación ordinaria como un termómetro de mercurio.

- ✚ **Temperatura superficial:** Es la de la especie a secar, generalmente se mide por medio de un sensor infrarrojo.

- ✚ **Temperatura de bulbo húmedo:** Es la temperatura de equilibrio dinámico obtenida por una superficie de agua cuando la velocidad de transferencia de calor por convección, a la misma, es igual a la transferencia de masa que se aleja de la superficie.

Durante el proceso de secado, se origina una gradiente de temperatura con respecto al espesor del material, mismo que tiende a disminuir conforme se reduce el contenido de humedad.

<http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/martinez_c_j/capitulo5.pdf>

b) Humedad relativa del aire

La humedad del aire se define como la razón de la presión de vapor de agua presente en ese momento, con respecto a la presión de saturación de vapor de agua a la misma temperatura. Generalmente, se expresa en porcentaje (%), a medida que se incrementa la temperatura del aire aumenta su capacidad de absorción de humedad y viceversa.

Cuando el aire contiene su máxima capacidad, se dice que se trata de un aire completamente saturado y por lo tanto incapaz de absorber más humedad, por el contrario, un aire no saturado tienen la posibilidad de absorber una cantidad determinada de humedad hasta lograr su saturación.

c) Velocidad del aire

La velocidad del aire dentro del secador tiene como funciones principales, en primer lugar transmitir la energía requerida para calentar el agua contenida en el material facilitando su evaporación, y en segundo lugar, transportar la humedad saliente del material.

La capa límite que existe entre el material a secar y el aire juega un papel importante en el secado. Cuando menor sea el espesor de esta capa límite, más rápida será la remoción de humedad. La forma de la corriente del aire es importante para la velocidad, una corriente turbulenta es mucho más eficaz que una laminar, pues la primera afecta en mayor forma la capa límite y el aire.

Durante las primeras etapas del secado, la velocidad del aire desempeña un papel muy importante, sobre todo cuando el material contiene un alto contenido de humedad.

A mayor velocidad, mayor será la tasa de evaporación y menor el tiempo de secado y viceversa, si la velocidad del aire disminuye la tasa de evaporación disminuye y el tiempo de secado aumenta. Por tal razón, para asegurar un secado rápido y uniforme es indispensable una circulación del aire fuerte y regular.

Las ventajas de velocidad altas de aire, disminuyen en cuanto mayor es el espesor del material, menor el contenido de humedad inicial y la temperatura de bulbo seco inicial.

1.5.2.2.5 MÉTODOS GENERALES DE SECADO¹⁸

Los métodos y procesos de secado se clasifican de diferentes maneras; se dividen en:

- ✚ **Procesos de lotes:** Cuando el material se introduce en el equipo de secado y el proceso se verifica por un periodo.
- ✚ **Procesos continuos:** Cuando el material se añade sin interrupción al equipo de secado y se obtiene material seco con régimen continuo.

Los procesos de secado se clasifican también de acuerdo con las condiciones físicas usadas para adicionar calor y extraer vapor de agua:

- ❖ En la primera categoría, el calor se añade por contacto directo con aire caliente a presión atmosférica, y el vapor de agua formado se elimina por medio del mismo aire.

¹⁸ GEANKOPLIS, Christie J., Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias, 3ª Edición, CECSA Compañía Editorial Continental S.A., 2003, México, pág. 580.

- ❖ En el secado al vacío, la evaporación del agua se verifica con más rapidez a presiones bajas, y el calor se añade indirectamente por contacto con una pared metálica o por radiación (también pueden usarse bajas temperaturas con vacío para ciertos materiales que se decoloran o se descomponen a temperaturas altas).
- ❖ En la liofilización, el agua se sublima directamente del material congelado.

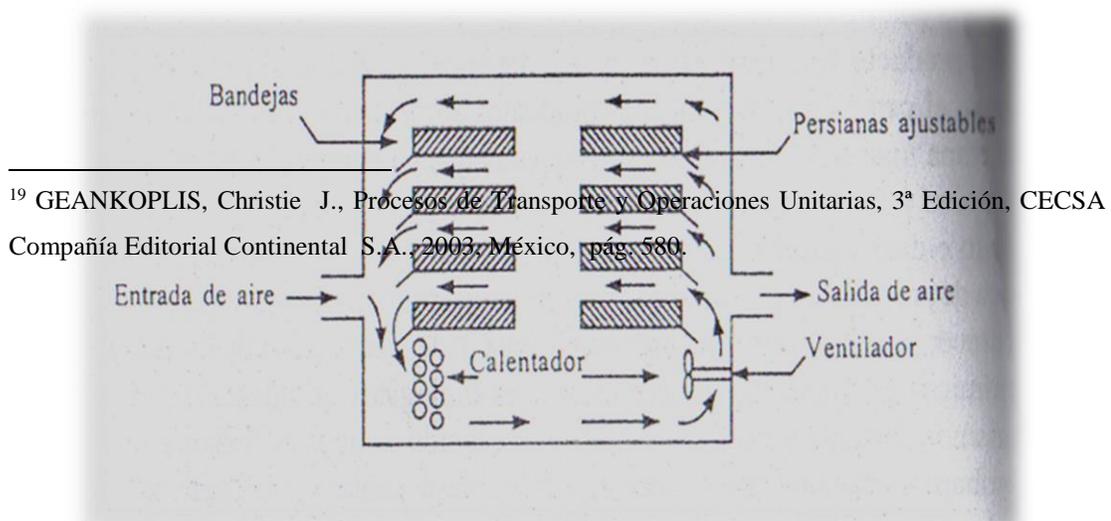
1.5.2.2.6 EQUIPOS PARA EL SECADO

1.5.2.2.6.1 SECADO EN BANDEJAS¹⁹

En el secador de bandejas, que también se llama secador de anaqueles, de gabinete, o de compartimiento, el material, que puede ser un sólido en forma de terrones o una pasta, se esparce uniformemente sobre una bandeja de metal de 10 a 100 mm de profundidad. Un secador de bandejas típico, tal como se muestra en el **Gráfico 1**, tiene bandejas que se cargan y se descargan de un gabinete.

Un ventilador recircula aire calentado con vapor paralelamente sobre la superficie de las bandejas.

También se usa calor eléctrico, en especial cuando el calentamiento es bajo. Más o menos del 10 al 20% del aire que pasa sobre las bandejas es nuevo, y el resto es aire circulado.



¹⁹ GEANKOPLIS, Christie J., *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias*, 3ª Edición, CECSA Compañía Editorial Continental S.A., 2003, México, pág. 580.

Gráfico 1: Secador de bandejas o anaqueles.

Después del secado, se abre el gabinete y las bandejas se reemplazan por otras con más material para secado. Una de las modificaciones de este tipo de secadores es el de las bandejas con carretillas, donde las bandejas se colocan en carretillas rodantes que se introducen al secador. Esto significa un considerable ahorro de tiempo, puesto que las carretillas pueden cargarse y descargarse fuera del secador.

En el caso de materiales granulares, el material se puede colocar sobre bandejas cuyo fondo es un tamiz. Entonces, con este secador de circulación cruzada, el aire pasa por un lecho permeable y se obtiene tiempos de secado más cortos, debido a la mayor área superficial expuesta al aire.

1.5.2.2.6.2 SECADORES INDIRECTOS AL VACIO CON ANAQUELES²⁰

Los secadores al vacío con anaqueles se calientan indirectamente y son de tipo de lotes, similares a los de las bandejas. Esta clase de secador consta de un gabinete construido de hierro colado o plancha de acero con planchas herméticas, de tal manera que se puede operar al vacío. Los anaqueles huecos de acero se montan

²⁰ GEANKOPLIS, Christie J., Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias, 3ª Edición, CECSA Compañía Editorial Continental S.A., 2003, México, pág. 581.

dentro de las cámaras y se conectan en paralelo, con los colectores de vapor de entrada y salida. Las bandejas que contienen los sólidos mojados se colocan sobre los anaqueles huecos. El calor se conduce a través de las paredes metálicas y por radiación entre los anaqueles. Para operaciones a temperaturas más bajas, se usa circulación de agua caliente en lugar de vapor para suministrar el calor que vaporiza la humedad. Los vapores se colectan en un condensador.

Estos secadores se usan para secar materiales costosos o sensibles a temperaturas, o bien que se oxidan fácilmente son muy útiles para manejar materiales con disolventes tóxicos o valiosos.

1.5.2.2.6.3 SECADORES CONTINUOS DE TÚNEL²¹

Los secadores continuos de túnel suelen ser compartimientos de bandejas o de carretillas que operan en serie, tal como se muestra en el **Gráfico 2**. Los sólidos se colocan sobre bandejas o en carretillas que se desplazan continuamente por un túnel con gases calientes que pasan sobre la superficie de cada bandeja. El flujo de aire caliente puede ser a contra corriente, en paralelo, o una combinación de ambos. Muchos alimentos se secan por este procedimiento.

²¹ GEANKOPLIS, Christie J., Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias, 3ª Edición, CECSA Compañía Editorial Continental S.A., 2003, México, pág. 582.

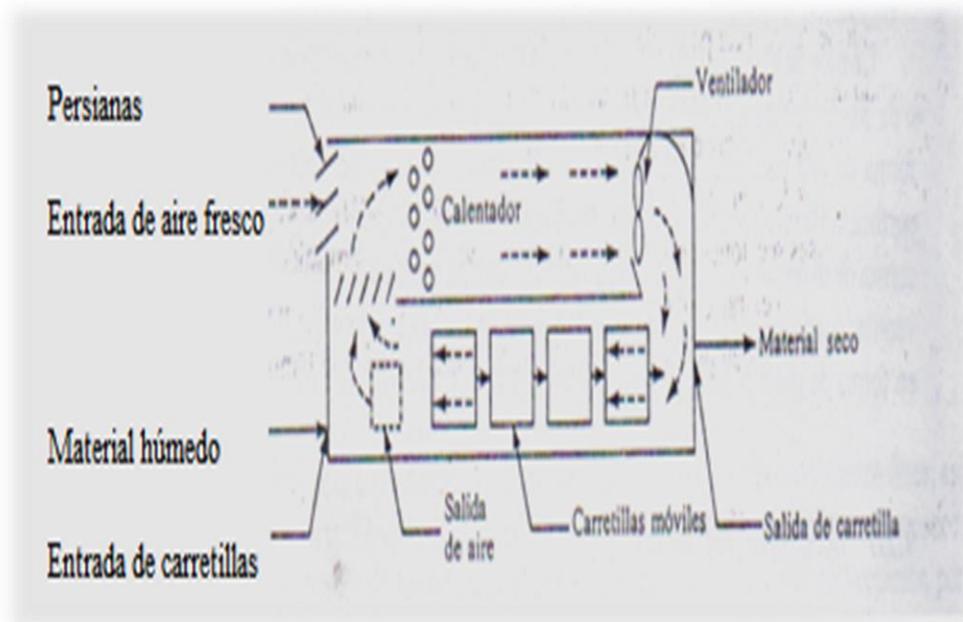


Gráfico 2: Secador de carretillas con flujo de aire a contracorriente

Cuando se desea secar partículas sólidas granulares, puede utilizarse transportadores perforados o de fondo de tamiz, como en el **Gráfico 3**. Los sólidos granulares húmedos se transportan en forma de una capa que tiene 25 y 150 mm de profundidad, sobre una superficie de tamiz o perforada a través de la cual se fuerza el paso de aire caliente, ya sea hacia arriba o hacia abajo.

El secador consta de diversas secciones en serie, cada uno con un ventilador y serpentines de calentamiento. Un ventilador adicional extrae cierta cantidad de aire hacia la atmósfera. En algunos casos, los materiales en forma de pasta pueden preformarse en cilindros y colocarse sobre el transportador para secarse.

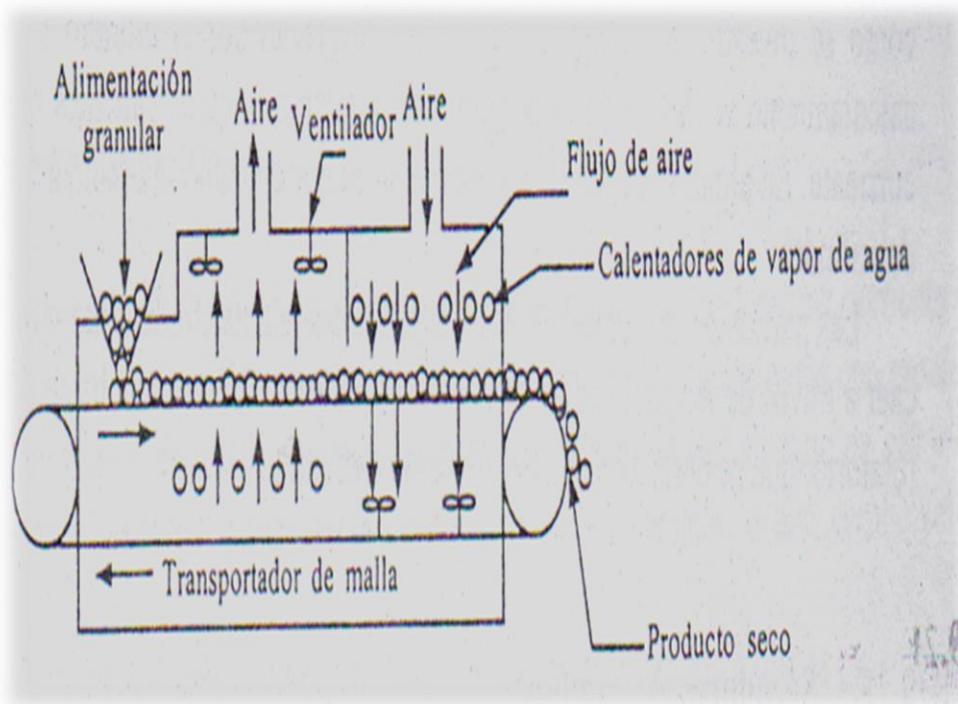


Gráfico 3: Secador de banda transportadora con circulación cruzada.

1.5.2.2.6.4 SECADORES ROTATORIOS²²

Un secador rotatorio consta de un cilindro hueco que gira por lo general, sobre un eje, con una ligera inclinación hacia la salida. Los sólidos granulares húmedos se calientan por la parte superior, tal como se muestra en el **Gráfico 4** y se desplazan por el cilindro a medida que este gira. El calentamiento se lleva a cabo por contacto directo con gases calientes mediante un flujo a contracorriente. En algunos casos, el calentamiento es por contacto indirecto a través de la pared calentada del cilindro.

Las partículas granulares se desplazan hacia adelante con lentitud y una distancia corta antes de caer a través de los gases calientes, como se muestra.

²² GEANKOPLIS, Christie J., Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias, 3ª Edición, CECSA Compañía Editorial Continental S.A., 2003, México, pág. 582.

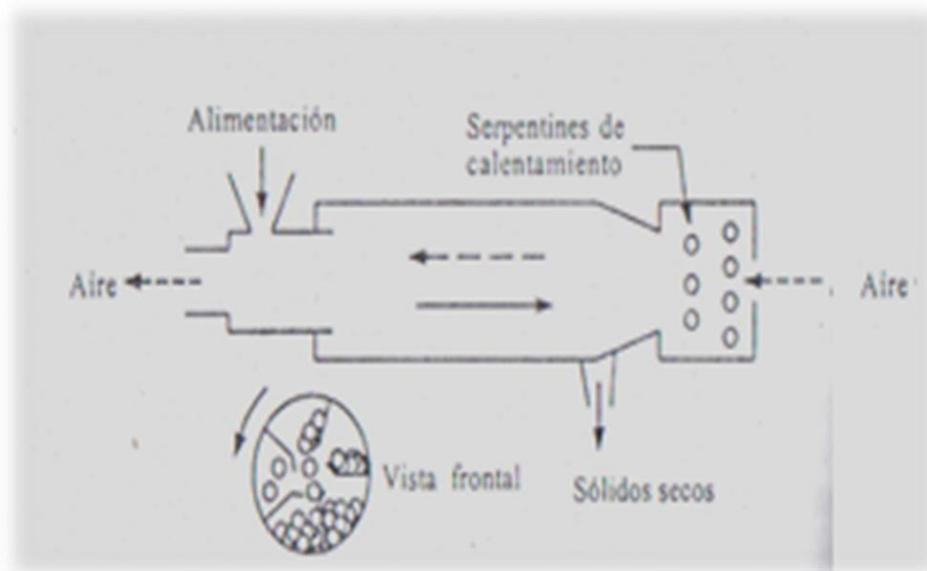


Gráfico 4: Secador rotativo con calentamiento directo.

1.5.2.2.6.5 SECADORES DE TAMBOR²³

Un secador de tambor consta de un tambor de metal calentado, como se indica en el **Gráfico 5**, en cuyo exterior se evapora una capa delgada de un líquido o una suspensión hasta que se seca. El sólido seco final se le raspa al tambor, que gira lentamente.

Los secadores de tambor son adecuados para procesar suspensiones o pastas de sólidos finos, así como soluciones verdaderas. El tambor funciona en parte como evaporador y en parte como secador.

Otras variaciones del secador de tambor son los tambores rotatorios dobles con alimentación por inmersión, o bien con alimentación superior en el espacio entre los dos tambores. El puré de papa se procesa en secadores de tambor para obtener el material en forma de escamas.

²³ GEANKOPLIS, Christie J., Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias, 3ª Edición, CECSA Compañía Editorial Continental S.A., 2003, México, pág. 582.

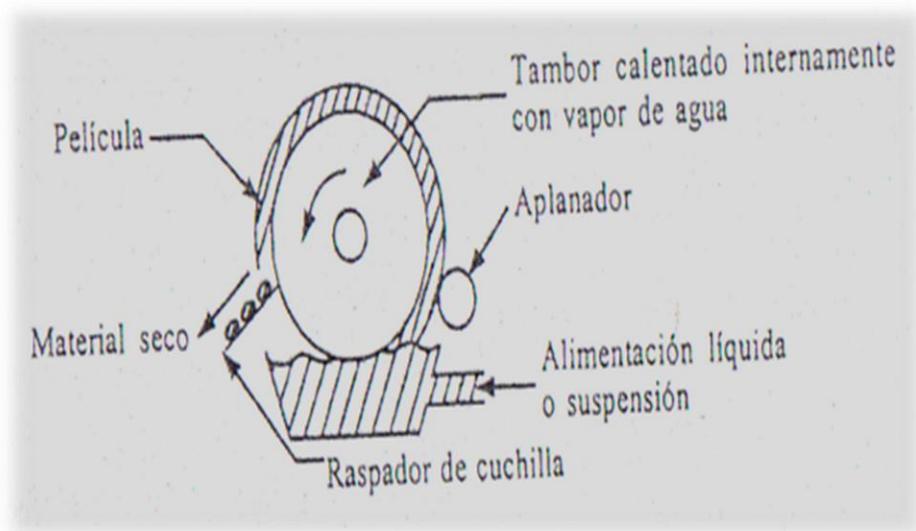


Gráfico 5: Secador de tambor rotatorio

1.5.2.2.6.6 SECADORES POR ASPERSIÓN²⁴

En un secador por aspersion, un líquido o una suspensión se atomiza o se rocía en una corriente de gas caliente para obtener una lluvia de gotas finas. El agua se evapora de dichas gotas con rapidez, y se obtienen partículas secas de sólido que se separa de la corriente de gas. El flujo de gas y de líquido de la cámara de aspersion puede ser a contra corriente, en paralelo o una combinación de ambos.

Las gotas finas se forman al introducir el líquido en toberas de atomización o discos giratorios de rociado de alta velocidad en el interior de una cámara cilíndrica (**Gráfico 6**). Es necesario asegurarse de que las gotas o partículas húmedas del sólido no choquen ni se adhieran a las superficies sólidas antes de que hayan secado. Por consiguiente, se emplean cámaras bastante grandes. Los sólidos secos salen por el fondo de la cámara, a través de un transportador de tornillo. Los gases de escape fluyen hacia un separador de ciclón para filtrar las partículas muy finas. Las

²⁴ GEANKOPLIS, Christie J., Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias, 3ª Edición, CECSA Compañía Editorial Continental S.A., 2003, México, pág. 583.

partículas que se obtienen son muy ligeras y bastante porosas. La leche en polvo se obtiene mediante este método.

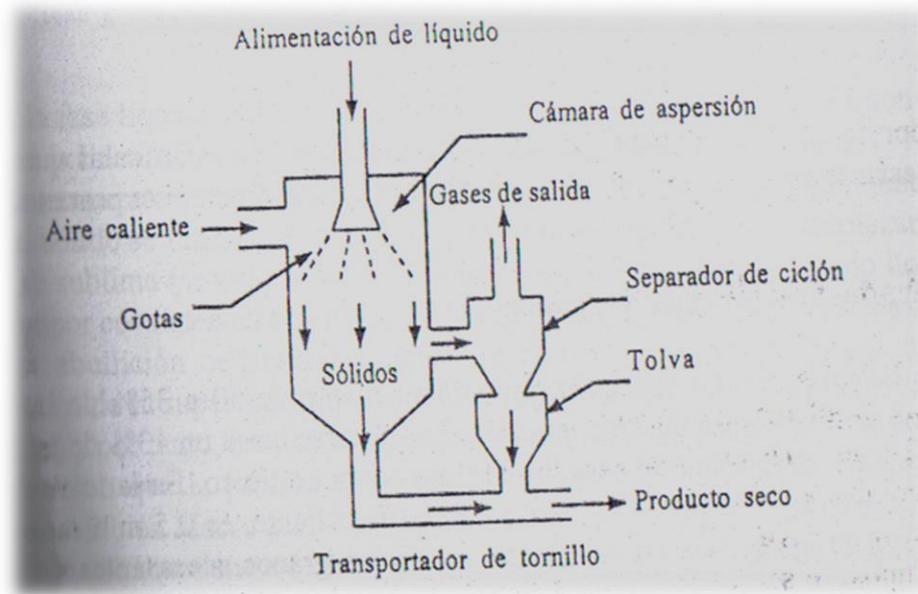


Gráfico 6: Secador por aspersión

1.5.2.2.6.7 SECADO DE COSECHAS Y GRANOS²⁵

Los granos de una cosecha contienen aproximadamente de 30 a 35% de humedad y para poder almacenarlos sin problemas durante un año deben secarse hasta un 13% en el peso.

En el **Gráfico 7** se muestra un secador de flujo continuo típico. En tolva de secado, el espesor de la capa de granos, a través de la cual pasa el aire caliente, es 0,5 m. o menos. Una corriente de aire (sin calentar) en la sección del fondo, enfría los granos secos antes de la salida.

²⁵ GEANKOPLIS, Christie J., Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias, 3ª Edición, CECSA Compañía Editorial Continental S.A., 2003, México, pág. 584.

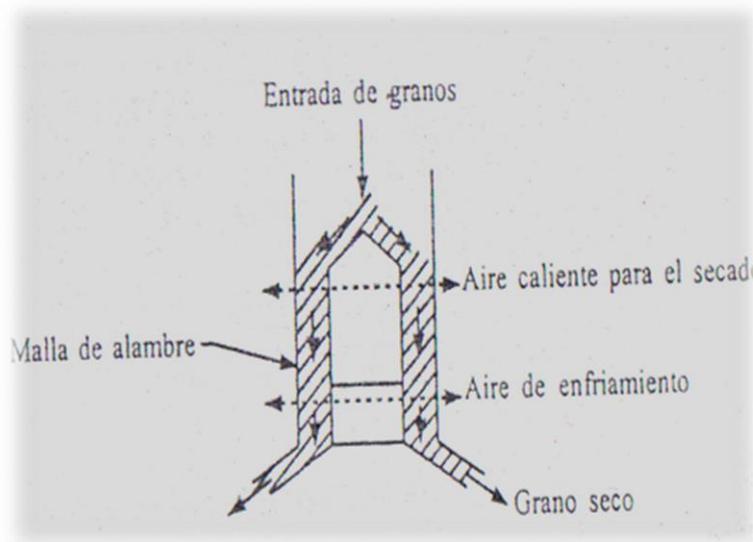


Gráfico 7: Secador vertical de flujo continuo para granos.

1.5.2.3 PRESIÓN DE VAPOR DEL AGUA Y HUMEDAD

1.5.2.3.1 PRESIÓN DE VAPOR DEL AGUA²⁶

En diversas operaciones unitarias, así como el proceso de transporte, es necesario efectuar cálculos que se basan en las propiedades de mezclas de vapor de agua y aire. Para estos cálculos se requiere conocer la concentración de vapor de agua en el aire en diversas condiciones de temperatura y presión, las propiedades térmicas de estas mezclas y los cambios que se verifican cuando la mezcla se pone en contacto con agua o con sólidos húmedos para secarla.

La humidificación implica la transferencia de agua en una fase líquida a una mezcla gaseosa de aire y vapor de agua. La deshumidificación implica una transferencia inversa, esto es, el vapor de agua se transfiere de estado gaseoso a estado líquido. La

²⁶ GEANKOPLIS, Christie J., Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias, 3ª Edición, CECSA Compañía Editorial Continental S.A., 2003, México, pág. 584.

humidificación y la deshumidificación pueden referirse a mezclas de vapor de otros materiales, como el benceno, pero la gran mayoría de las aplicaciones prácticas se refieren al agua para comprender mejor el concepto de humedad, es necesario estudiar primero la presión de vapor de agua.

Presión de vapor de agua y estados físicos. El agua tiene tres diferentes estados físicos: hielo, sólido, líquido y vapor. Su estado físico depende de la presión y la temperatura.

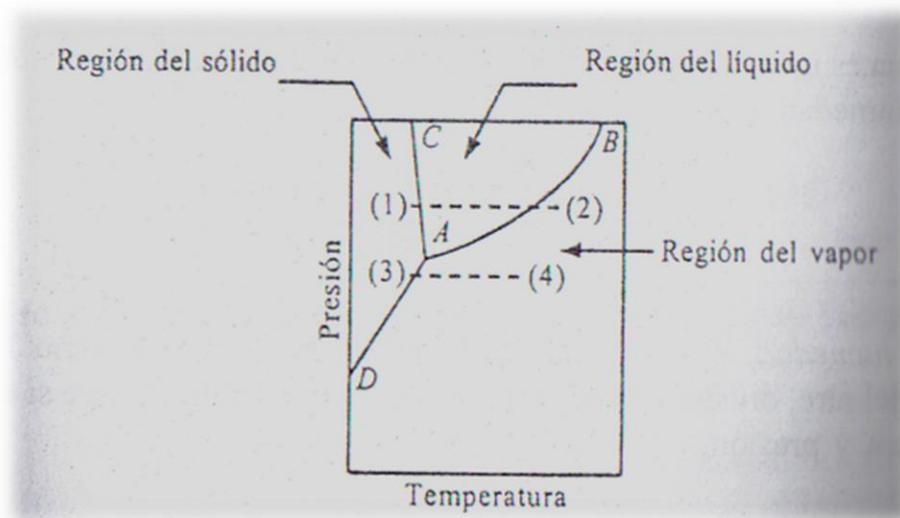


Gráfico 8: Diagrama de fases de agua

En el **Gráfico 8** ilustra los diferentes estados físicos del agua y las relaciones de presión temperatura en equilibrio. También aparece las regiones de los estados sólido, líquido y vapor. A lo largo de la línea AB, coexisten la fase líquida y el vapor. En la línea AC, las fases que lo hacen son el hielo y la líquida. A lo largo de la línea AD, coexisten el hielo y el vapor. Si el hielo en el punto (1) se calienta a presión constante, la temperatura se eleva y la condición física se desplaza horizontalmente. En cuanto a la línea cruzada AC, el sólido se funde, y al cruzar AB, el líquido se evapora. Al desplazarse del punto (3) al (4), el hielo se sublima (se evapora) para formar vapor sin pasar por el estado líquido.

El líquido y el vapor coexisten en equilibrio a lo largo de la línea AB, que es la línea de presión de vapor de agua. La ebullición se presenta cuando la presión de vapor de agua es igual a la presión total por encima de su superficie.

1.5.2.3.2 HUMEDAD Y DIAGRAMAS O GRÁFICAS DE HUMEDAD

1.5.2.3.2.1 DEFINICIÓN DE HUMEDAD²⁷

La humedad H de una mezcla aire-vapor de agua se define como los kilogramos de vapor de agua por kilogramos de aire seco. Esta definición de la humedad solo depende de la presión parcial p_A del vapor de agua en el aire y de la presión total P (se supondrá siempre igual a 101.325 kPa, 1.0 atm abs. o 760 mm. de Hg). Si el peso molecular del agua (A) es de 18.02 y el aire es de 28.97, la humedad H en kg H₂O/ kg aire seco, o en unidades del sistema inglés como lb H₂O/lb aire seco, se obtiene la siguiente fórmula.

$$H \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{Kg aire seco}} = \frac{p_A}{P - p_A} \frac{\text{kg mol H}_2\text{O}}{\text{kg mol aire}} \times \frac{18.02 \text{ kg H}_2\text{O}}{\text{kg mol H}_2\text{O}} \times \frac{1}{28.97 \text{ kg aire/kg mol aire}}$$

$$H = \frac{18.02}{28.97} \frac{p_A}{P - p_A}$$

Fórmula 1: De la humedad

El aire saturado es aquel en el cual el vapor de agua está en equilibrio con el agua líquida en las condiciones dadas de presión y temperatura. En esta mezcla, la presión parcial del vapor de agua en la mezcla de aire-agua es igual a la presión de vapor p_{AS}

²⁷ GEANKOPLIS, Christie J., Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias, 3ª Edición, CECSA Compañía Editorial Continental S.A., 2003, México, pág. 585.

del agua pura a la temperatura establecida. Por consiguiente, la humedad de saturación H_s es:

$$H_s = \frac{18.02}{28.97} \frac{p_A}{P - p_A}$$

Fórmula 2: De la humedad de saturación

1.5.2.3.2.2 PORCENTAJE DE HUMEDAD²⁸

El porcentaje de humedad H_p se define como 100 multiplicado por la humedad real H del aire, dividida entre la humedad H_s que tendría el aire si estuviera saturado a esta misma temperatura y presión.

$$H_p = 100 \frac{H}{H_s}$$

Donde: H_p = Porcentaje de Humedad

H = Humedad de una mezcla aire-vapor de agua.

H_s = Humedad de saturación

Fórmula 3: El porcentaje de humedad

1.5.2.3.2.3 PORCENTAJE DE HUMEDAD RELATIVA²⁹

La cantidad de saturación de una mezcla de aire-vapor de agua también puede expresarse como porcentaje de humedad relativa H_R usando presiones parciales.

$$H_R = 100 \frac{p_A}{p_A^s}$$

²⁸ GEANKOPLIS, Christie J., Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias, 3ª Edición, CECSA Compañía Editorial Continental S.A., 2003, México, pág. 586.

²⁹ GEANKOPLIS, Christie J., Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias, 3ª Edición, CECSA Compañía Editorial Continental S.A., 2003, México, pág. 586.

p_{AS}

Donde: H_R = Humedad Relativa

p_A = Presión Parcial del vapor de agua en el aire

p_{AS} = Presión del vapor de agua pura a la temperatura establecida

Fórmula 4: El porcentaje de humedad relativa

Adviértase que $H_R \neq H_P$, puesto que H_P se expresa en presiones parciales al combinar las ecuaciones: fórmula 1, fórmula 2 y fórmula 3 obteniendo:

$$H_p = 100 \frac{H}{H_s} = (100) \frac{18.02}{28.97} \frac{p_A}{P - p_A} \bigg/ \frac{18.02}{28.97} \frac{p_{AS}}{P - p_{AS}} = \frac{p_A}{p_{AS}} \frac{P - p_{AS}}{P - p_A} (100)$$

Por supuesto esto no es igual a la fórmula 4.

1.5.2.3.2.4 PUNTO DE ROCIO DE UNA MEZCLA DE AIRE Y VAPOR DE AGUA³⁰

La temperatura a la cual cierta mezcla de aire y vapor de agua esta saturada se llama temperatura de punto de rocío, o simplemente punto de rocío. Es la máxima cantidad de humedad que puede haber en la superficie sin que ocurra la condensación. Para que el aire sea útil para el proceso de secado a una humedad absoluta, la temperatura ambiental debe elevarse de manera tal que en cualquiera de esas temperaturas el aire no esté completamente saturado y acepte más vapor de agua.

1.5.2.3.2.5 CALOR HÚMEDO DE UNA MEZCLA DE AIRE Y VAPOR DE AGUA

³⁰ GEANKOPLIS, Christie J., Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias, 3ª Edición, CECSA Compañía Editorial Continental S.A., 2003, México, pág. 587.

El calor húmedo c_s es la cantidad de calor en J (o kJ) requerido para elevar la temperatura de un kilogramo de aire seco más el vapor de agua presente en 1 K o 1 °C. Las capacidades caloríficas del aire y el vapor de agua se puede suponer constantes en el intervalo normal de temperaturas e iguales a 1.005 kJ/kg aire seco * K y 1.88 kJ/kg de vapor de agua * K, respectivamente. Por consiguiente, para unidades SI y del sistema inglés.

$$c_s \text{ kJ/kg aire seco * K} = 1.005 + 1.88 H \text{ (SI)}$$

$$c_s \text{ btu/lb}_m \text{ aire seco * } ^\circ\text{F} = 0.24 + 0.45 H \text{ (Unidades del sistema ingles)}$$

En algunos casos c_s se expresa como $(1.005 + 1.88 H) 10^3 \text{ J/kg * K}$

1.5.2.3.2.6 VOLUMEN HÚMEDO DE UNA MEZCLA DE AIRE Y VAPOR DE AGUA

El volumen húmedo v_H es el volumen total en metros cúbicos de 1 kg de aire seco más el vapor que contiene a 101.325 kPa (1.0 atm) abs de presión y a la temperatura de gas. Usando la ley de los gases ideales.

$$v_H \text{ m}^3/\text{kg aire seco} = \frac{22.41}{273} T \text{ K} \left[\frac{1}{28.97} + \frac{1}{18.02} H \right]$$

$$v_H \text{ m}^3/\text{kg aire seco} = (2.83 \times 10^{-3} + 4.56 \times 10^{-3} H) T \text{ K}$$

$$v_H \text{ pies}^3/\text{lb}_m \text{ aire seco} = \frac{359}{492} T \text{ } ^\circ\text{R} \left[\frac{1}{28.97} + \frac{1}{18.02} H \right]$$

$$v_H \text{ pies}^3/\text{lb}_m \text{ aire seco} = (0.0252 + 0.0405 H) T \text{ } ^\circ\text{R}$$

Fórmula 5: Volumen húmedo

1.5.2.3.2.7 ENTALPIA TOTAL DE UNA MEZCLA DE AIRE Y VAPOR DE AGUA³¹

La entalpia total de 1 kg de aire más su vapor de agua es H_y J / kg o kJ/kg de aire seco. Si T_o es la temperatura base seleccionada para ambos componentes, la entalpía total es el calor sensible de la mezcla aire-vapor de agua más el calor latente λ_o en J/kg o kJ/kg de vapor de agua, del vapor de agua a T_o (obsérvese que $(T - T_o) \text{ }^\circ\text{C} = (T - T_o) \text{ K}$ y que entalpías se refieren al agua líquida).

$$H_y \text{ kJ/kg aire seco} = c_s (T - T_o) + H\lambda_o = (1.005 + 1.88 H) (T - T_o \text{ }^\circ\text{C}) + H\lambda_o$$

$$H_y \text{ btu/lb}_m \text{ aire seco} = (0.24 + 0.45 H) (T - T_o \text{ }^\circ\text{F}) + H\lambda_o$$

Si la entalpia total se refiere a una temperatura base T_o de $0 \text{ }^\circ\text{C}$ ($32 \text{ }^\circ\text{F}$), la ecuación para H_y se convierte en:

$$H_y \text{ kJ/kg aire seco} = (1.005 + 1.88 H) (T \text{ }^\circ\text{C} - 0) + 2501.4 H \text{ (SI)}$$

$$H_y \text{ btu/lb}_m \text{ aire seco} = (0.24 + 0.45 H) (T \text{ }^\circ\text{F} - 32) + 1075.4 H \text{ (Unidades del sistema inglés)}$$

Fórmula 6: Entalpia Total

1.5.2.3.2.8 GRÁFICA DE HUMEDAD PARA MEZCLAS DE AIRE-VAPOR DE AGUA³²

La gráfica de humedad del **Gráfico 9** representa una gráfica muy conveniente de las propiedades de las mezclas de aire y vapor de agua a 1.0 atm abs de presión. En esta

³¹ GEANKOPLIS, Christie J., Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias, 3ª Edición, CECSA Compañía Editorial Continental S.A., 2003, México, pág. 588.

³² GEANKOPLIS, Christie J., Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias, 3ª Edición, CECSA Compañía Editorial Continental S.A., 2003, México, pág. 588.

gráfica la humedad H en función de la temperatura real de la mezcla de aire y vapor de agua (temperatura de bulbo seco).

La curva señalada como 100% y que corre hacia arriba y a la derecha, proporciona la humedad de saturación. H_S en función de la temperatura.

Cualquier punto por debajo de la línea de saturación representa una mezcla no saturada de aire y vapor de agua. Las líneas curvas por debajo de la línea de saturación de 100% que corren hacia arriba y a la derecha, representan a las mezclas no saturadas con un porcentaje definido de humedad H_P . Al ir hacia abajo verticalmente desde la línea de saturación a cierta temperatura, la línea entre la de saturación 100% y la humedad H cero (la horizontal de la parte inferior) se divide de manera uniforme en 10 incrementos de 10% cada uno.

Todas las líneas de humedad H_P en porcentaje que se han mencionado, así como la línea de humedad de saturación H_S se pueden calcular con base en los datos de presión de vapor de agua.

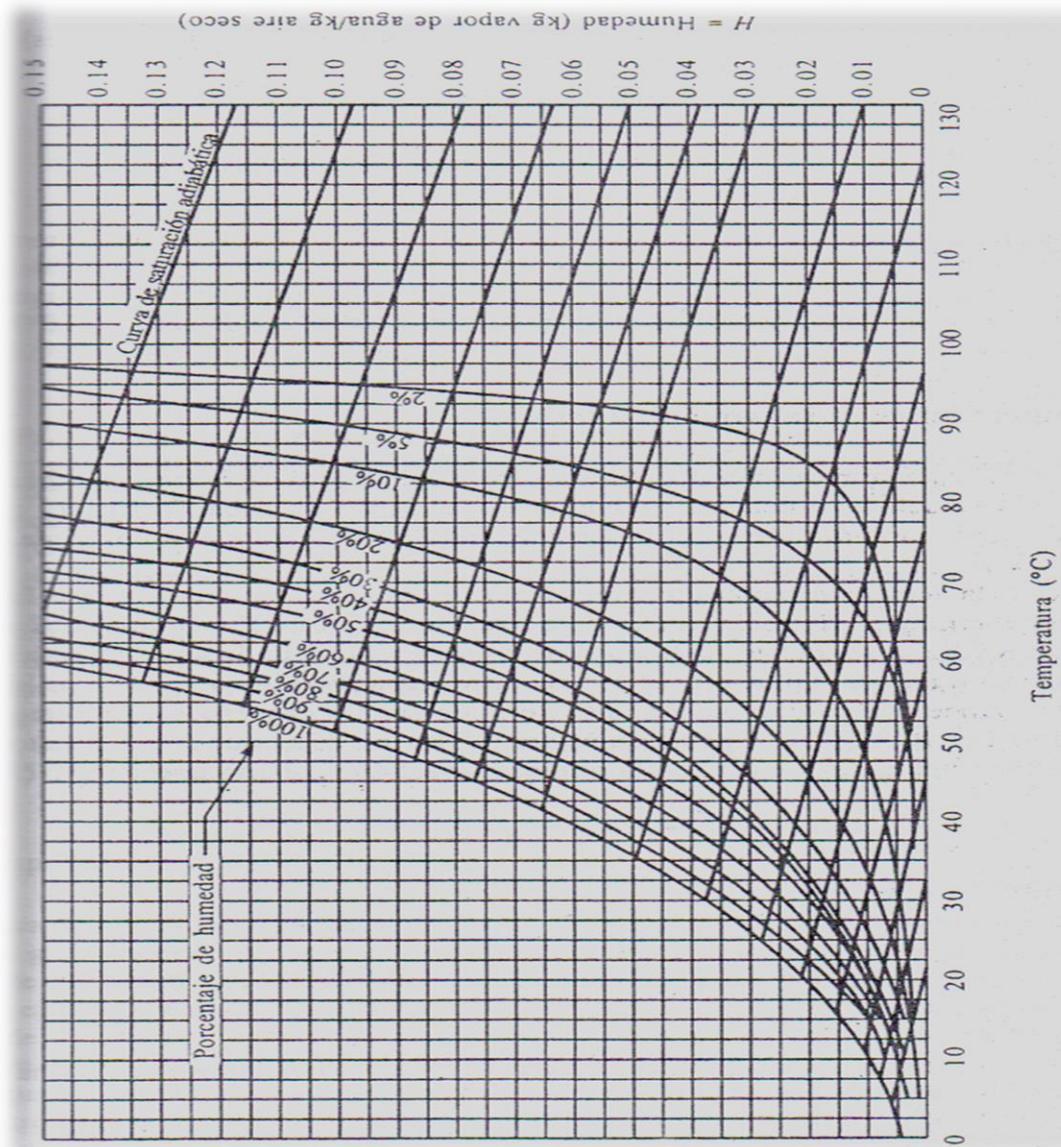


Gráfico 9: Gráfica de humedad para mezclas de aire y vapor de agua a una presión total de 101.325 kPa (760 mm de Hg)

1.5.2.4 CURVAS DE VELOCIDAD DE SECADO³³

Para reducir el contenido de humedad en el secado de diversos materiales de proceso, por lo general se estima el tamaño del secador necesario, las diferentes condiciones de operación de humedad y la temperatura del aire empleado, y el tiempo necesario para lograr el grado de secado.

Para la determinación experimental la velocidad de secado de un material, se procede a colocar una muestra en una bandeja. Si se trata de un material sólido se debe llenar por completo la base de la bandeja, de manera que solo quede expuesta la corriente de aire de secado la superficie de dicho sólido. La pérdida en peso de humedad durante el secado puede determinarse a diferentes intervalos sin interrumpir la operación, colgando la bandeja de una balanza adaptada a un gabinete o a un ducto a través del cual fluye el aire de secado.

Al realizar experimentos de secado por lotes, deben tomarse ciertas precauciones para obtener datos útiles en condiciones que se manejen lo más posible a las que imperarán en operaciones en gran escala. La muestra no debe ser demasiado pequeña y se debe introducir en una bandeja similar a la que se utilizara en producción. La relación entre superficie de secado y superficie de no secado (superficie aislada) así como la profundidad del lecho del sólido deben ser idénticas. La velocidad, la humedad, la temperatura y la dirección del aire deben ser las mismas y constantes para simular un secado en condiciones constantes.

³³ GEANKOPLIS, Christie J., Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias, 3ª Edición, CECSA Compañía Editorial Continental S.A., 2003, México, pág. 596.

1.5.2.4.1 CURVAS DE VELOCIDAD DE SECADO PARA CONDICIONES DE SECADO CONSTANTE

1.5.2.4.1.1 CONVERSIÓN DE LOS DATOS A CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO

Los datos que se obtienen de un experimento de secado por lotes, generalmente se expresan como peso total W del sólido húmedo (sólido seco más húmedo) a diferentes tiempos de t horas en el periodo de secado. Estos valores se pueden convertir a datos de velocidad de secado por los siguientes procedimientos. Primero se recalcula los datos. Si W es el peso del sólido húmedo en kilogramos totales de agua más sólido seco y W_s es el peso del sólido seco en kilogramos.

$$X_t = \frac{W - W_s}{W_s} \frac{\text{kg totales de agua}}{\text{kg sólido seco}} \left[\frac{\text{lb totales de agua}}{\text{lb sólido seco}} \right]$$

Fórmula 7: Velocidad del Secado

Después de haber establecido las condiciones de secado constante se determina el contenido de humedad de equilibrio, X^* kg de humedad de equilibrio/kg de sólido seco. Con el se procede a calcular el valor del contenido de humedad libre X en kg de agua libre / kg de sólido seco para cada valor de X_t .

$$X = X_t - X^*$$

Fórmula 8: Contenido de humedad de equilibrio

Al sustituir los datos calculados en la fórmula 8, se traza una gráfica del contenido de humedad libre X en función del tiempo t en h, como se muestra en la fórmula 7.

Para obtener una curva de velocidad de secado a partir de esta gráfica, se miden las pendientes de las tangentes a la curva, lo cual proporciona valores de dX/dt para ciertos valores de t . Se calcula entonces la velocidad R para cada punto con la expresión.

$$R = - \frac{L_S}{A} \frac{dX}{dt}$$

Fórmula 9: La velocidad para cada punto

Donde R es la velocidad de secado en $\text{kg H}_2\text{O/h} \cdot \text{m}^2$, L_S es kg de sólido seco usado y A es el área superficial expuesta al secado en m^2 . En unidades del sistema inglés, R es $\text{lb}_m \text{H}_2\text{O/h} \cdot \text{pie}^2$, L_S es lb_m de sólido seco y A se da en pie^2 . Para obtener R en la **Gráfica 10**, se usó un valor de L_S/A de $21,5 \text{ kg/m}^2$. Entonces la curva de velocidad de secado se obtiene graficando R en función del contenido de humedad, tal como se muestra en el **Gráfico 11**.

Otro método para obtener la curva de velocidad de secado consiste en calcular primero la pérdida de peso ΔX para un tiempo Δt .

$$R = - \frac{L_S}{A} \frac{\Delta X}{\Delta t}$$

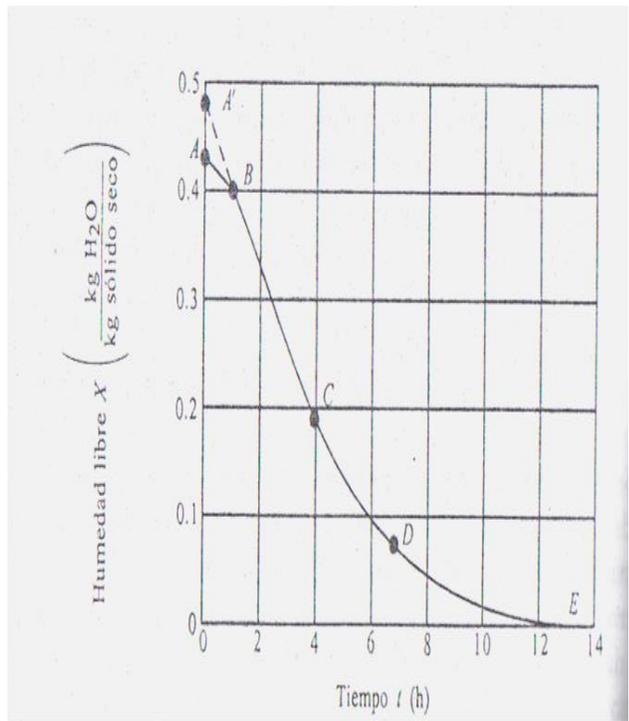


Gráfico 10: Gráfica de los datos de humedad libre en función del tiempo

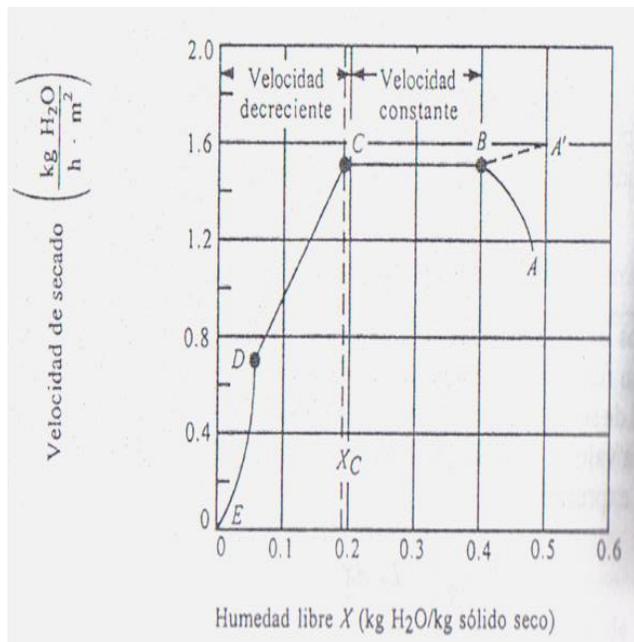


Gráfico 11: Curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre

1.5.2.4.1.2 GRÁFICA DE LA CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO

En la **Gráfica 11** se muestra la curva de velocidad de secado para condiciones de secado constante. Empezando en el cero, el contenido inicial de humedad libre corresponde al punto A. Al principio, el sólido suele estar a una temperatura inferior de la que tendrá al final, y la velocidad de evaporación va en aumento. Al llegar al punto B, la temperatura de la superficie alcanza su valor de equilibrio. Por otra parte, si el sólido está bastante caliente al principiar la operación, la velocidad de secado puede iniciarse en un punto A'. Este periodo inicial de ajuste en estado no estacionario suele ser bastante corto y por lo general se pasa por alto en el análisis de los tiempos de secado.

La curva de la **Gráfica 10** es una recta entre los puntos B y C, por lo que la pendiente y la velocidad son constantes durante este periodo. Este periodo de velocidad constante de secado corresponde a la línea BC en la **Gráfica 11**.

En el punto C de ambas gráficas, la velocidad de secado comienza a disminuir en el periodo de la velocidad decreciente, hasta llegar al punto D. En este primer periodo de velocidad decreciente, la velocidad corresponde a la línea CD en la **Gráfica 11**, y por lo general es lineal.

En el punto D la velocidad de secado disminuye con más rapidez aún, hasta que llega al punto E, donde el contenido de humedad de equilibrio es X^* , y $X = X^* - X^* = 0$. En el secado de algunos materiales, la región CD no existe, o bien, constituye la totalidad del periodo de velocidad decreciente.

1.5.2.5 MANTENIMIENTO³⁴

En la práctica es imposible encontrar una máquina que no necesite de mantenimiento, es así para producir o fabricar se requiere de máquinas o equipos que con la acción del tiempo y del uso están sometidos a un proceso irreversible de desgaste, así como una obsolescencia tecnológica. Por lo tanto, para evitar estos males se requerirá asociar a estas máquinas con el mantenimiento.

El mantenimiento es el conjunto de acciones oportunas, continuas y permanentes dirigidas a proveer y asegurar el funcionamiento normal, la eficiencia y la buena apariencia de los sistemas, edificios, equipo y maquinarias.

1.5.2.5.1 OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO³⁵

En el diseño e implementación de cualquier sistema organizativo debe tener presente que está al servicio de determinados objetivos. Cualquier sofisticación del sistema debe ser contemplada con gran prudencia en evitar, precisamente, de que se enmascaren dichos objetivos o se dificulte su consecución.

En el caso de mantenimiento su organización e información debe estar encaminada a la permanente consecución de los siguientes objetivos.

- Optimización de la disponibilidad del equipo productivo.
- Disminución de costos de mantenimiento
- Optimización de los recursos humanos
- Maximización de la vida de la máquina.

³⁴ Mantenimiento:< <http://www.mescorza.com/manten/mantenimiento/definicion.htm>>

³⁵ Objetivos de Mantenimiento:< <http://www.elprisma.com/apuntes/curso.asp?id=8617>>

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

2.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 GENERALIDADES

En el proceso de construcción del secador rotativo piloto de cereales se han tomado en cuenta los medios tecnológicos disponibles, convirtiendo de esta manera el proceso en lo más simple posible y cumpliendo a la vez con el fin propuesto.

Los costos juegan un papel importante en la construcción y selección de materiales para el tipo de secador a construir, y se deberá tomar en consideración el análisis técnico de cada aplicación específica.

Los factores que influyen en la construcción del secador rotativo piloto de cereales son los siguientes:

- Tipo de material utilizado tomando en cuenta sus características.
- Máquinas – Herramientas, equipos y herramientas disponibles para la construcción.
- Costo de materiales de construcción.

2.1.2 SECADOR ROTATIVO PILOTO DE CEREALES

El secador rotativo piloto de cereales de simple paso y de alta eficiencia es calentado por una resistencia eléctrica de 3000 vatios en 220 voltios.

El aire caliente entra en el extremo de alimentación del tambor rotativo aproximadamente a 80°C; el aire caliente seca la corteza y la transporta al extremo de la descarga a través de

unas chapas elevadoras volteadoras del cereal; este movimiento tiene el propósito de secar uniformemente cada uno de los granos.

El secador rotativo piloto de cereales tiene una capacidad de 5 kilogramos, debido a que debe tener un espacio suficiente para que fluya el aire caliente y la humedad se pierda en el ambiente en forma de vapor que no se podrá ver.

El secador consta de un tambor de acero inoxidable de 220 mm. de diámetro por 800 mm. de longitud en lámina de un espesor de 2 mm es un elemento soldado que forma un solo cuerpo. En los extremos y de forma que envuelvan al tambor lleva dos tapas de acero inoxidable, que en el sentido del flujo esta la entrada del producto y por el centro la entrada de aire caliente; y al final esta la salida tanto del aire caliente como por una compuerta la salida del producto.

El tambor en su interior encierra placas longitudinales fijas todos construidos en láminas de acero inoxidable, por ser alimentos y colocados de forma que distribuya el producto para que circule de una forma determinada.

Todo el conjunto va montado en cuatro rodillos, dos a cada extremo del tambor de modo que cada pareja este encima de la base metálica.

El movimiento de rotación del cilindro o tambor se consigue por medio de una corona dentada que circula el mismo, un grupo de arrastre que es el motorreductor transmite el movimiento por medio de una cadena al tambor arrastrando la corona dentada.

El tambor se conecta por un extremo a un horno de diseño especial que es donde se generan los gases calientes que se introducirán en el tambor para el secado. Dicho horno dispone de una resistencia eléctrica que es regulada en relación con la temperatura registrada en los gases de salida del secador.

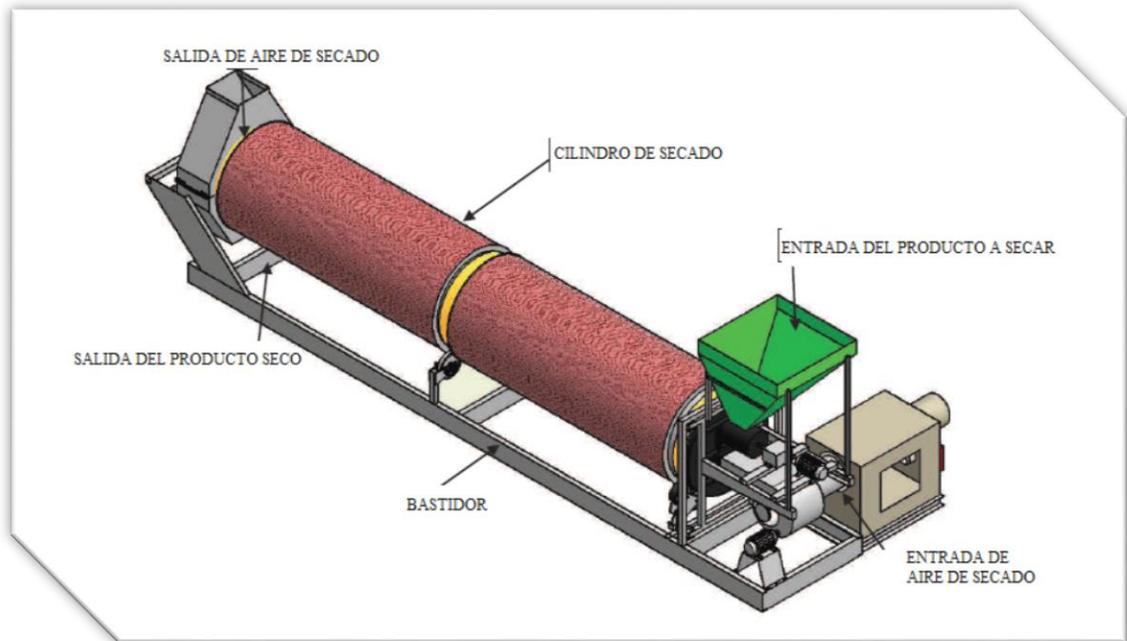


Gráfico 12: *Secador Rotativo Piloto*

2.2 TIPO DE ESTUDIO

El secador rotativo de cereales se lo ha construido en base a los siguientes métodos: Deductivos, de Observación y Experimentación.

Para la ejecución de este proyecto se utilizó las siguientes técnicas de investigación:

- **INVESTIGACIÓN DESCRIPTIVA.**- El objetivo de la investigación descriptiva permite señalar las características y propiedades del objeto en estudio mediante la ordenación, agrupación o sistematización de los elementos involucrados en el proyecto indagatorio.
- **INVESTIGACIÓN DE CAMPO.**- Es aquella en que el mismo tema de estudio sirve como fuente de información para el investigador. Consiste en la observación

directa cuantitativa y palpable del comportamiento del equipo, las circunstancias operacionales en las que ocurren ciertos hechos.

Las técnicas utilizadas en el trabajo de campo para el acopio de datos son: la recopilación de datos, muestreos, prácticas de laboratorio, las fotografías, etc.; de acuerdo al tipo de trabajo que se está realizando, se han empleado varias de estas técnicas al mismo tiempo.

2.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

El presente proyecto de investigación va dirigido a los estudiantes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo, directamente a los estudiantes de las Escuelas de Ingeniería Industrial, Ingeniería Agroindustrial y Ingeniería Ambiental.

2.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

| VARIABLES | CONCEPTUALIZACIÓN | INDICADORES | TÉCNICAS | INSTRUMENTOS |
|--------------------------------------|---|----------------------------|--|---|
| Humedad de los cereales | Es el porcentaje de agua que contiene el cereal. | ✓ Porcentaje (%) | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Observación. ✓ Documental ✓ Experimentación. | ✓ Formatos para la toma de datos. |
| Temperatura | Es una magnitud física del sistema que caracteriza la transferencia de energía térmica o calor entre ese sistema y otros. | ✓ Grados centígrados. (°C) | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Medición ✓ Análisis e interpretación. | ✓ Formatos para la toma de datos. |
| Caudal del aire | Es el flujo de aire que ingresa al cilindro para secar los cereales. | ✓ m ³ /min | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Medición. ✓ Análisis e interpretación. | ✓ Formatos para la toma de datos. |
| Tiempo de secado y rpm | Es el lapso que se demora en secarse el cereal y el número de revoluciones por minuto. | ✓ Segundos (seg.) | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Medición. ✓ Análisis e interpretación. | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Formatos para la toma de datos. ✓ Cronometro |
| Carga y descarga de cereales. | Es la cantidad de cereal húmedo que ingresa al secador. Y la cantidad de salida del cereal seco luego del proceso. | ✓ Kilogramos (kg.) | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Medición. ✓ Análisis e interpretación. | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Formatos para la toma de datos. ✓ Balanza |

2.5 PROCEDIMIENTOS

| Actividad | Instrumento a Utilizar | Responsables |
|--|------------------------|-------------------------------------|
| Recolección de Datos. | Documentos | Mirian Guanoluisa Ximena Briones |
| Selección de materiales y equipos a utilizarse. | Proformas | Mirian Guanoluisa Ximena Briones |
| Análisis de Costos de los equipos a utilizarse. | Proformas | Mirian Guanoluisa Ximena Briones |
| Construcción de la máquina. | Mano de Obra | Mirian Guanoluisa Ximena Briones |
| Ajustes de la Máquina | Mano de Obra | Mirian Guanoluisa Ximena Briones |
| Pruebas de la Máquina | Mano de Obra | Mirian Guanoluisa Ximena Briones |
| Pruebas de Laboratorio | Guías de Laboratorio | Mirian Guanoluisa Ximena Briones |
| Desarrollo de manuales de funcionamiento y mantenimiento del equipo. | Documentos | Mirian Guanoluisa Ximena Briones |

2.5.1 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

El secado es muy importante en muchas industrias tanto alimenticias como las razones son:

- Facilitar el manejo posterior del producto.
- Permitir el empleo satisfactorio del mismo.
- Preservar el producto durante el almacenamiento y transporte.

Nuestro proyecto de investigación ha elegido como alternativa de secado la construcción de un secador rotativo piloto.

2.5.1.1 SELECCIÓN DE LOS MATERIALES

2.5.1.1.1 BASE METÁLICA

En la construcción del equipo, se ha utilizado una base metálica en la cual, estará colocado el cilindro, y los demás elementos, como turbina, caja de mandos, motorreductor entre otros.



Gráfico 13: Base metálica del Secador Rotativo Piloto

2.5.1.1.2 CILINDRO O TAMBOR

Para la construcción del equipo se utilizó un cilindro de 200 mm. de diámetro por 800 mm. de largo cuya lámina que lo forma tiene un espesor de 2 mm.. Este tambor girará a 5 rpm, en su interior encierra placas longitudinales fijas. Este cilindro es de acero inoxidable.



Gráfico 14: Cilindro del Secador Rotativo Piloto

2.5.1.1.3 MOTORREDUCTOR

Los motorreductores son apropiados para el accionamiento de toda clase de equipos de uso industrial, que necesitan reducir la velocidad en una forma segura y eficiente. En la construcción del secador rotativo piloto se utilizó un motorreductor de energía 220 Volts. y de 1/8 HP.



Gráfico 15: Motorreductor del Secador Rotativo Piloto

2.5.1.1.4 RODILLOS

Los rodillos son elementos mecánicos que reducen la fricción entre un eje y las piezas conectadas a éste, que le sirve de apoyo y facilita su desplazamiento. Para el equipo se utilizó cuatro rodillos.

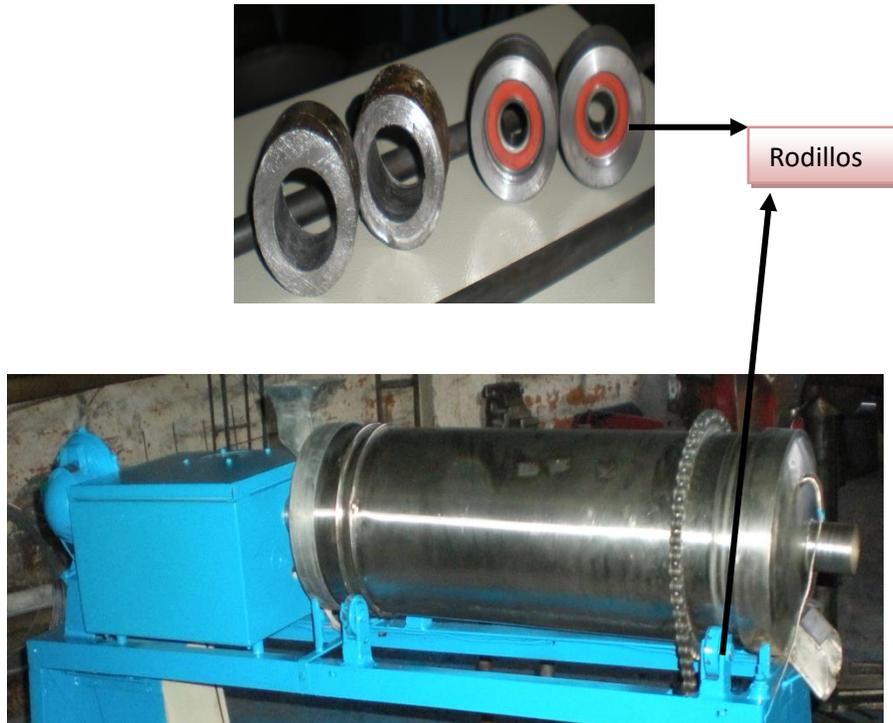


Gráfico 16: Rodillos del Secador Rotativo Piloto

2.5.1.1.5 CADENA-CATALINA

La cadena es aquella que transfiere una fuerza de un punto a otro, trabajando por lo tanto usualmente en condiciones de movimiento de translación alternado. En la construcción del equipo se ha utilizado una cadena-catalina para la tracción.

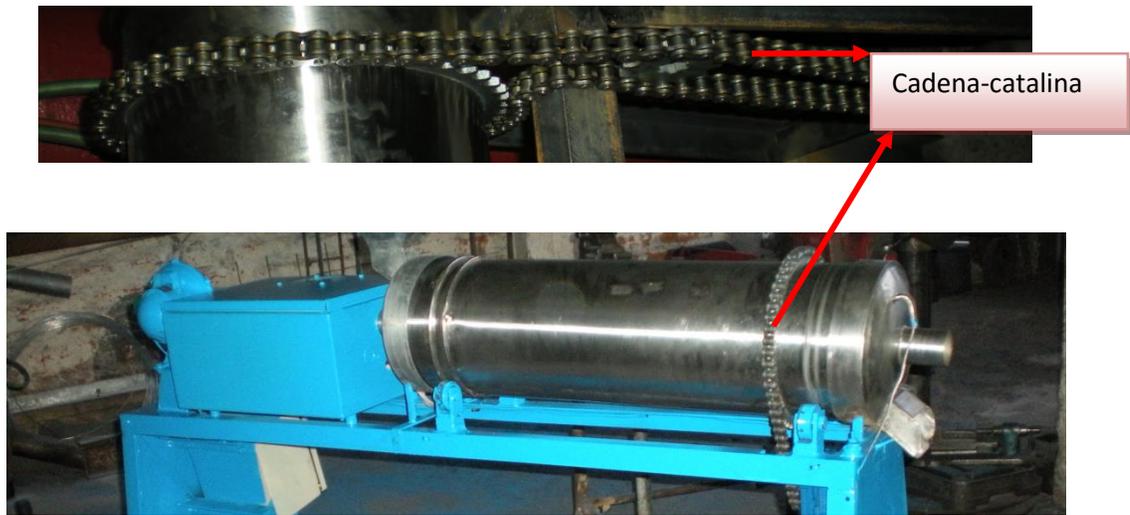


Gráfico 17: Cadena-catalina del Secador Rotativo Piloto

2.5.1.1.6 VENTILADOR

El ventilador es una máquina de fluido concebida para producir una corriente de aire mediante un rodete con aspas que giran produciendo una diferencia de presiones. Para el equipo se ha utilizado un ventilador que proporcionara un flujo de aire.

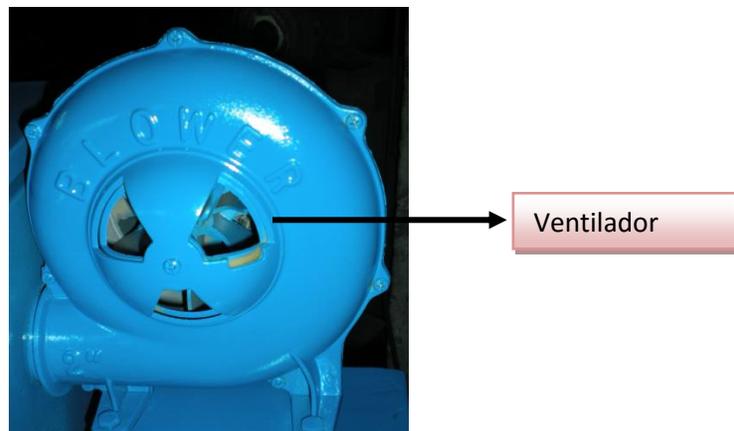


Gráfico 18: Ventilador del Secador Rotativo Piloto

2.5.1.1.7 RESISTENCIAS ELÉCTRICAS

En la construcción del equipo se ha utilizado un juego de resistencias eléctricas de 3000 vatios en 220 voltios.

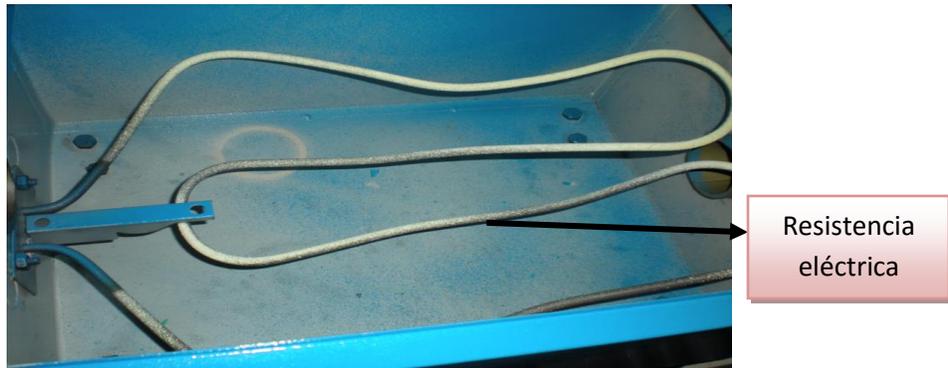


Gráfico 19: Resistencias Eléctricas del Secador Rotativo Piloto

2.5.1.1.8 COMPUERTA PARA CARGA Y DESCARGA DEL PRODUCTO

Se tiene en el cilindro rotativo una compuerta para la carga (tolva) y otra para la descarga de cereales, fabricados con acero inoxidable.

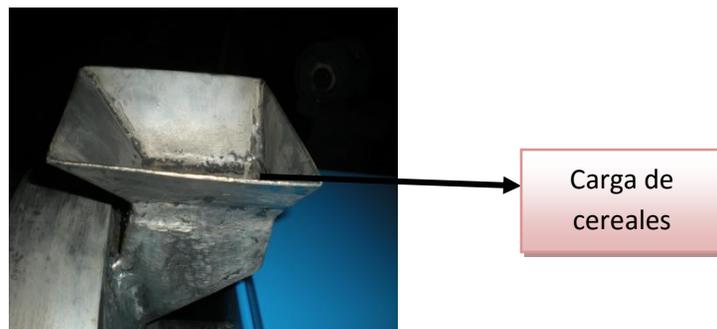


Gráfico 20: Carga de Cereales del Secador Rotativo Piloto

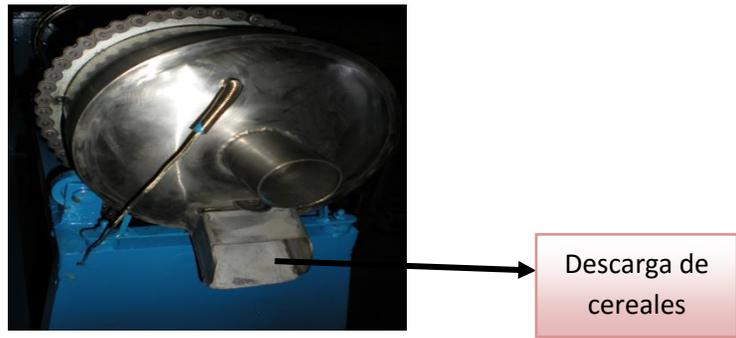


Gráfico 21: Descarga de Cereales del Secador Rotativo Piloto

2.5.1.1.9 CAJA DE MANDOS

Para la construcción del secador rotativo piloto se utilizó una caja de mandos eléctricos y protecciones de los equipos.



Gráfico 22: Caja de mandos eléctricos del Secador Rotativo Piloto

2.5.2 PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DEL SECADOR ROTATIVO PILOTO DE CEREALES

Para la construcción de los elementos del Secador Rotativo Piloto de Cereales, exige la utilización de máquinas y herramientas que disponen los talleres particulares, en nuestro caso, la Mecánica Cruz.

La maquinaria necesaria para la construcción del Secador Rotativo Piloto de Cereales se detalla en la **Tabla 1** que a continuación se presenta:

| Código | Maquinaria | Marca | Potencia | Velocidad | Capacidad | Observaciones |
|--------|------------------|----------|------------|--------------|-----------|-------------------------------|
| M1 | Tronzadora | De Waltt | 2 Hp | 3500 rpm | 100mm | |
| M2 | Taladro pedestal | HAAS | 1 Hp | 50 – 400 rpm | 120mm | |
| M3 | Roladora | FORMTEK | | | | |
| M4 | Esmeril | MAKINO | 1 Hp | 3500 rpm | | |
| M5 | Cizalla | RIGID | | | | |
| M6 | Sierra Vaiven | EXSYS | 1,5 Hp | 60 golpes | 4” | |
| M7 | Amoladora | ISKRA P | 2200 Watts | 6000rpm | 8” | |
| M8 | Compresor | De Waltt | 2 Hp | 400 rpm | | Esmeriles de mano |
| M9 | Taladro mano | Bosh | 0.5 Hp | 250 rpm | | |
| M10 | Soldadora | Lincoln | 150 AMP | | | Uso de electrodos inoxidables |
| M11 | Torno | Lajayet | 2 Hp | 60-800 rpm | | |

Tabla 1: *Maquinaria utilizada en la Construcción del Secador Rotativo Piloto de Cereales*

Las operaciones realizadas para la construcción del equipo con los tiempos en minutos utilizados en cada maquinaria utilizada se detallan en la siguiente **Tabla 2**.

| Actividad | Detalle | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 | M9 | M10 | M11 | TOTALES |
|--|-------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|-----|-----|-------------|
| Operación 1 | Construcción estructura | 90 | 40 | | 60 | 30 | | 40 | | | 90 | | 350 |
| Operación 2 | Torneada rodillos | | | | | | | | | | | 60 | 60 |
| Operación 3 | Rolada tambor | | | 50 | | | | | | | 30 | | 80 |
| Operación 4 | Construcción de tapas | | | 20 | | | | | | | 30 | | 50 |
| Operación 5 | Armar ventilador | | | | | 10 | | | | 15 | | | 25 |
| Operación 6 | Construcción de caja de Resistencia | | 10 | | | 20 | | 15 | 20 | 5 | 20 | | 90 |
| Operación 7 | Construcción de Tolvas | 30 | | | 20 | 40 | | 20 | | 40 | 60 | | 210 |
| Operación 8 | Armar tambor | | 30 | 30 | | | | 30 | 40 | 30 | | | 160 |
| Operación 9 | Armar motorreductor | | 40 | | | 30 | | 25 | | 20 | 40 | | 155 |
| Operación 10 | Colocar mandos eléctricos | | | | | | | | | 40 | 50 | | 90 |
| Operación 11 | Conexiones mecanicas | | | | | | | | | | | | 0 |
| Operación 12 | Conexiones eléctricas | | | | | | | | | | | | 0 |
| Operación 13 | Pintura | | | | | | | | 120 | | | | 120 |
| TOTAL DE LAS OPERACIONES EN MINUTOS | | | | | | | | | | | | | 1390 |

Tabla 2: Operaciones para la construcción del Secador Rotativo Piloto de Cereales con el tiempo de cada maquinaria.

Se utilizó instrumentos de medida como:

- Tacómetro
- Calibrador (vernier)
- Flexómetro
- Calibrador de Roscas
- Goniómetro.
- Escuadras de Precisión
- Y otras herramientas varias.

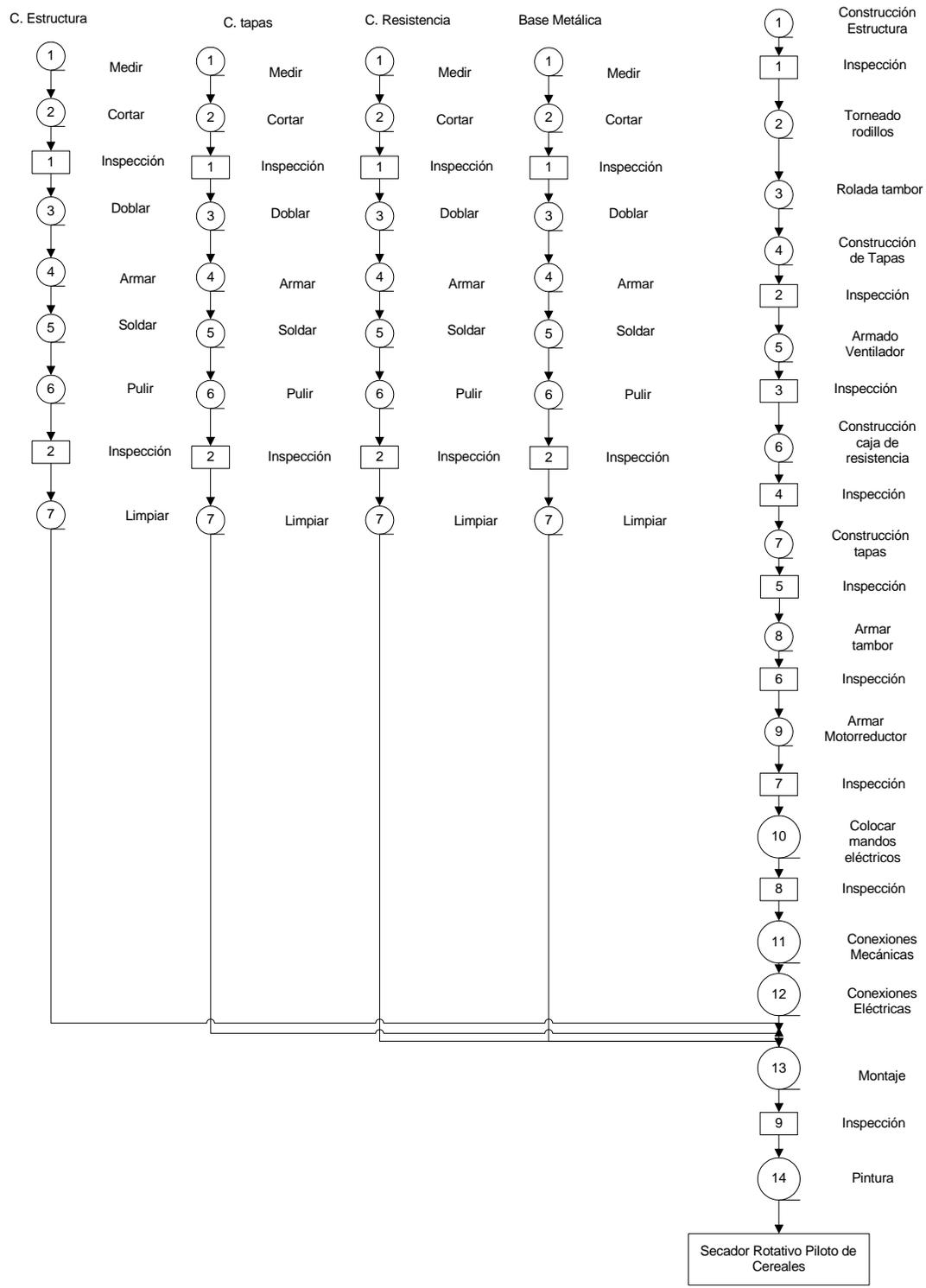
A continuación se muestra la **Tabla 3** que es el costo por hora de cada maquinaria utilizada.

| Código | Maquinaria | Tarifa (\$) |
|--------|------------|-------------|
| M1 | Tronzadora | 15 |
| M2 | Taladro | 5 |

| | | |
|-----|------------------|----|
| | pedestal | |
| M3 | Roladora | 20 |
| M4 | Esmeril | 10 |
| M5 | Cizalla | 10 |
| M6 | Sierra Vaivén | 12 |
| M7 | Amoladora | 15 |
| M8 | Compresor | 10 |
| M9 | Taladro mano | 8 |
| M10 | Soldadora | 18 |
| M11 | Torno | 10 |

Tabla 3: Costo hora-maquinaria para la construcción del Secador Rotativo Piloto de Cereales

2.5.3 DIAGRAMAS DE OPERACIÓN DE PROCESO



Cadena-catalina

Cilindro

Carga de cereales

Ventilador



Gráfico 23: Secador Rotativo Piloto de Cereales

2.6 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

Se detalla el procedimiento y análisis de las prácticas de laboratorio, desarrolladas con el siguiente formato. Cabe recalcar que antes de la entrega del equipo se realizó las pruebas para verificar el funcionamiento del mismo.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA



Escuela de: _____

Laboratorio N° _

Integrantes: _____

Fecha de Realización: _____

Fecha de Entrega: _____

Calificación: _____

1.- TEMA: Secado de

2.- OBJETIVOS:

- Indicar el tiempo de secado del producto.
- Determinar el contenido de humedad inicial y final del producto.
- Realizar las gráficas de secado.

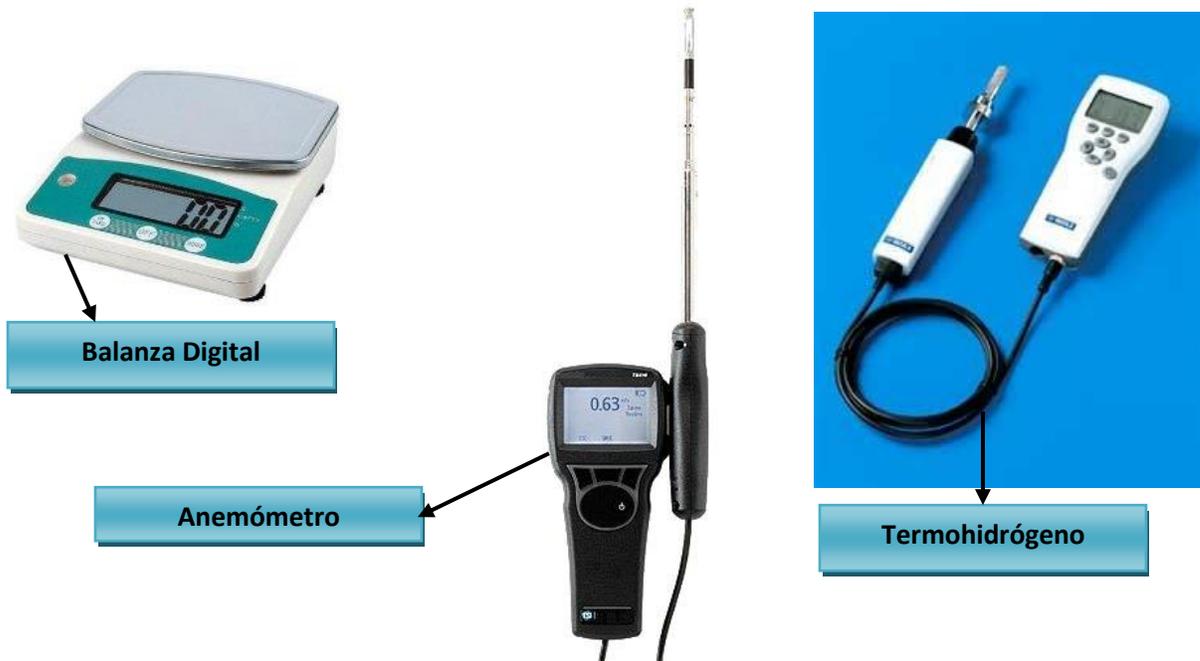
3.- MATERIALES:

- Secador Rotativo Piloto de Cereales.
- Balanza Digital.
- kg de
- Anemómetro.
- Termohidrógeno.

4.- DIAGRAMA:



Secador Rotativo Piloto de Cereales



5.- PROCEDIMIENTOS, CÁLCULOS, TABLAS, RESULTADOS:

Procedimiento:

- Pesar los Kg del cereal o grano utilizado en la balanza digital.
- Encender el secador rotativo piloto siguiendo el manual de procedimiento indicado en el **ANEXO N° 3**.
- Realizar la toma de medidas iniciales del producto.
- Luego colocar el producto en el secador rotativo piloto.
- Durante la práctica sacar pequeñas muestras del producto para tomar los datos necesarios que se indican en las tablas.
- Luego que se tome la última muestra del producto en la cual se verifica que el producto está seco, sacar el producto y volverlo a pesar.
- Realizar las gráficas con los datos obtenidos en la práctica y llenar las tablas de los datos.

Tablas de Datos:

| PRODUCTO | Peso antes del secado (g) | Peso después del secado (g) | Pérdida de Peso | Contenido de Humedad |
|----------|---------------------------|-----------------------------|-----------------|----------------------|
| | | | | |

Cálculo del Contenido de Humedad según la fórmula:

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso del alimento seco}} \times 100 = \frac{\text{Peso del alimento húmedo} - \text{Peso del alimento seco}}{\text{Peso del alimento seco}} \times 100$$

Datos:

W = Kg de sólido húmedo = kg = (g)

Ws = Kg de sólido seco = kg = (g)

Cálculo:

Pérdida de Peso = W - Ws = g - g = g

Contenido de humedad = $\frac{W - Ws}{Ws} \times 100 = \frac{\text{g} - \text{g}}{\text{g}} \times 100 = \dots\dots\%$

Desperdicio del producto por el equipo = g

| DATOS DEL AMBIENTE | |
|-------------------------|-----|
| Porcentaje de humedad = | % |
| Temperatura = | ° C |
| Tiempo de inicio = | |

| DATOS DEL GRANO | |
|------------------------------------|----|
| Porcentaje de Humedad Inicial = | % |
| Temperatura = | °C |
| Tiempo de inicio= | |

| DATOS EN EL EQUIPO | |
|---------------------|-------------------|
| Caudal del aire= | m ³ /h |
| Temperatura = | °C |
| Velocidad del aire= | m/s |

DATOS TOMADOS EN LA PRÁCTICA

| TIEMPO | VELOCIDAD (m/s) | TEMPERATURA (°C) (en la máquina) | CAUDAL (m ³ /h) | % HUMEDAD | TEMPERATURA (°C) (del producto) | Ts | Tw |
|--------|--------------------|--|-------------------------------|--------------|---------------------------------------|----|----|
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

Ts = Temperatura de bulbo seco

Tw =Temperatura de bulbo húmedo.

RESULTADOS:

PESO VS TIEMPO

| TIEMPO (seg.) | PESO (g) |
|----------------------|-----------------|
| | |
| | |
| | |

HUMEDAD VS TIEMPO

| TIEMPO (seg.) | % HUMEDAD |
|----------------------|------------------|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TEMPERATURA (en el producto) VS TIEMPO

| TIEMPO (seg) | TEMPERATURA (°C) |
|---------------------|-------------------------|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

CURVAS DE LAS TEMPERATURAS (en el producto) VS EL TIEMPO

| TIEMPO (seg) | TEMPERATURA (°C) | Ts (°C) | Tw (°C) |
|---------------------|-------------------------|----------------|----------------|
| | | | |
| | | | |

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

VELOCIDAD VS TIEMPO

| TIEMPO (seg.) | VELOCIDAD (m/s) |
|---------------|-----------------|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

TEMPERATURA (en el equipo) VS TIEMPO

| TIEMPO (seg) | TEMPERATURA (°C) |
|--------------|------------------|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

CAUDAL VS TIEMPO

| TIEMPO (h) | CAUDAL (m3/h) |
|------------|---------------|
| | |

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

Curvas características: (Debe realizar el estudiante las curvas gráficas, en base a los datos obtenidos, en cada una de las tablas de la práctica de laboratorio).

6.- CONCLUSIONES:

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 RESULTADOS

Las prácticas que se han realizado en el secador rotativo piloto de cereales, las mismas que servirán como guía para que los estudiantes realicen prácticas similares, en esta vez se han realizado cuatro prácticas que son:

-  Secado del Maíz
-  Secado de Arveja
-  Secado de Frejol
-  Secado de Habas

Los resultados de las prácticas son las que se muestran a continuación:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA



Escuela de: _____

Laboratorio N° 01

Integrantes: _____

Fecha de Realización: _____

Fecha de Entrega: _____

Calificación: _____

1.- TEMA: Secado del Maíz.

2.- OBJETIVOS:

- Indicar el tiempo de secado del producto.
- Determinar el contenido de humedad inicial y final del producto.
- Realizar las gráficas de secado.

3.- MATERIALES:

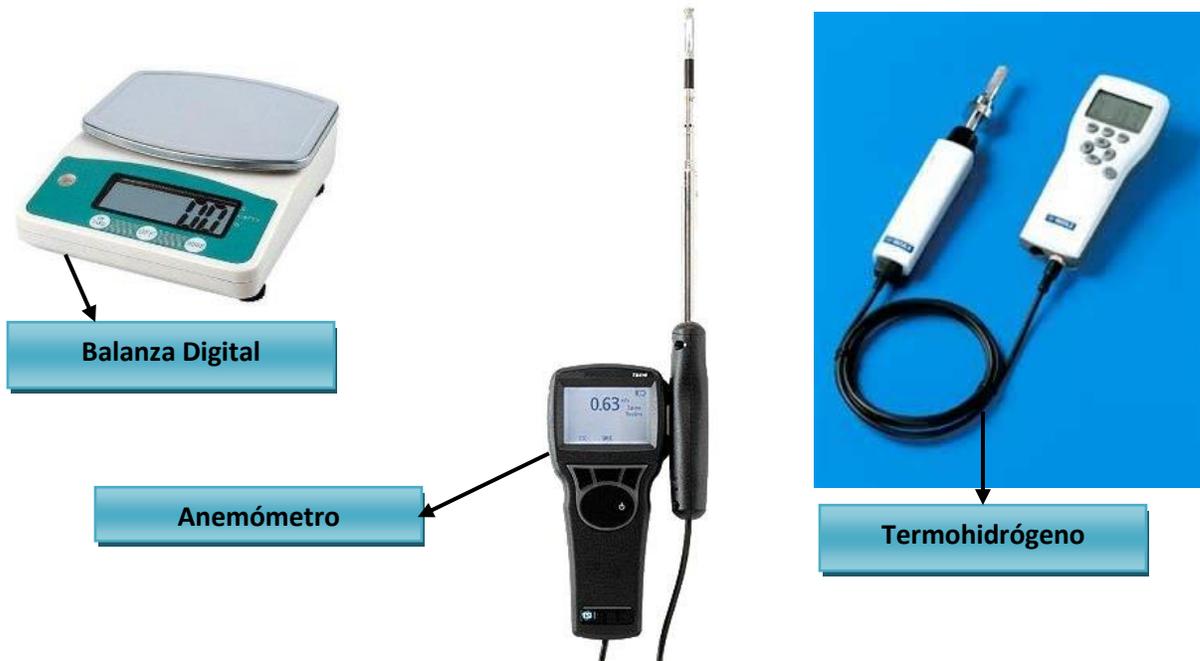
- Secador Rotativo Piloto de Cereales.
- Balanza Digital.
- 2 kg de Maíz.
- Anemómetro.
- Termohidrógeno.

4.- DIAGRAMA:



Maíz

Secador Rotativo Piloto
de Cereales



5.- PROCEDIMIENTOS, CÁLCULOS, TABLAS, RESULTADOS:

Procedimiento:

- Pesar los 2 Kg de maíz en la balanza digital.
- Encender el secador rotativo piloto siguiendo el manual de procedimiento indicado en el **Anexo N° 4**.
- Realizar la toma de medidas iniciales del producto.
- Luego colocar el maíz en el secador rotativo piloto.
- Durante la práctica sacar pequeñas muestras del producto para tomar los datos necesarios que se indican en las tablas.
- Luego que se tome la última muestra del producto en la cual se verifica que el producto está seco, sacar el producto y volverlo a pesar.
- Realizar las gráficas con los datos obtenidos en la práctica y llenar las tablas de los datos.

Tablas de Datos:

| PRODUCTO | Peso antes del secado (g) | Peso después del secado (g) | Pérdida de Peso | Contenido de Humedad |
|----------|---------------------------|-----------------------------|-----------------|----------------------|
| MAÍZ | 2000 | 1819,2 | 180,8 | 9,93 % |

Cálculo del Contenido de Humedad según la fórmula:

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso del alimento seco}} \times 100 = \frac{\text{Peso del alimento húmedo} - \text{Peso del alimento seco}}{\text{Peso del alimento seco}} \times 100$$

Datos:

$$W = \text{Kg de sólido húmedo} = 2 \text{ kg} = 2000 \text{ (g)}$$

$$W_s = \text{Kg de sólido seco} = 1,8192 \text{ kg} = 1819,2 \text{ (g)}$$

Cálculo:

$$\text{Pérdida de Peso} = W - W_s = 2000 \text{ g} - 1819,2 \text{ g} = 180,8 \text{ g}$$

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{W - W_s}{W_s} \times 100 = \frac{2000 \text{ g} - 1819,2 \text{ g}}{1819,2 \text{ g}} \times 100 = 9,93\%$$

$$\text{Desperdicio del producto por el equipo} = 8,4 \text{ g}$$

| DATOS DEL AMBIENTE | |
|-------------------------|-----------|
| Porcentaje de humedad = | 73,4 % |
| Temperatura = | 16,8 ° C |
| Tiempo de inicio = | 9 h 25 am |

| DATOS DEL GRANO | |
|-------------------------------|--------|
| Porcentaje de Humedad Inicial | 85,8 % |

| = | |
|---------------------|------------------------|
| Temperatura = | 17,4 °C |
| Tiempo de inicio= | 9h25 am |
| DATOS EN EL EQUIPO | |
| Caudal del aire= | 22,9 m ³ /h |
| Temperatura = | 29 °C |
| Velocidad del aire= | 0,27 m/s |

DATOS TOMADOS EN LA PRÁCTICA

| TIEMPO | VELOCIDAD (m/s) | TEMPERATURA (°C) (en la máquina) | CAUDAL (m ³ /h) | % HUMEDAD | TEMPERATURA (°C) (del producto) | Ts | Tw |
|--------|-----------------|----------------------------------|----------------------------|-----------|---------------------------------|------|------|
| 9:25 | 0,27 | 29,0 | 22,9 | 85,8 | 17,4 | 15,0 | 16,0 |
| 9:30 | 0,27 | 28,7 | 22,6 | 83,0 | 19,5 | 16,5 | 17,7 |
| 9:35 | 0,35 | 32,5 | 29,1 | 78,5 | 19,3 | 15,5 | 17,0 |
| 9:40 | 0,29 | 30,9 | 23,9 | 75,9 | 19,3 | 14,9 | 16,7 |
| 9:45 | 0,29 | 35,1 | 34,2 | 71,1 | 19,0 | 13,7 | 15,8 |
| 9:50 | 0,21 | 27,8 | 17,5 | 67,6 | 19,8 | 13,7 | 16,1 |

Ts = Temperatura de bulbo seco

Tw =Temperatura de bulbo húmedo.

RESULTADOS:

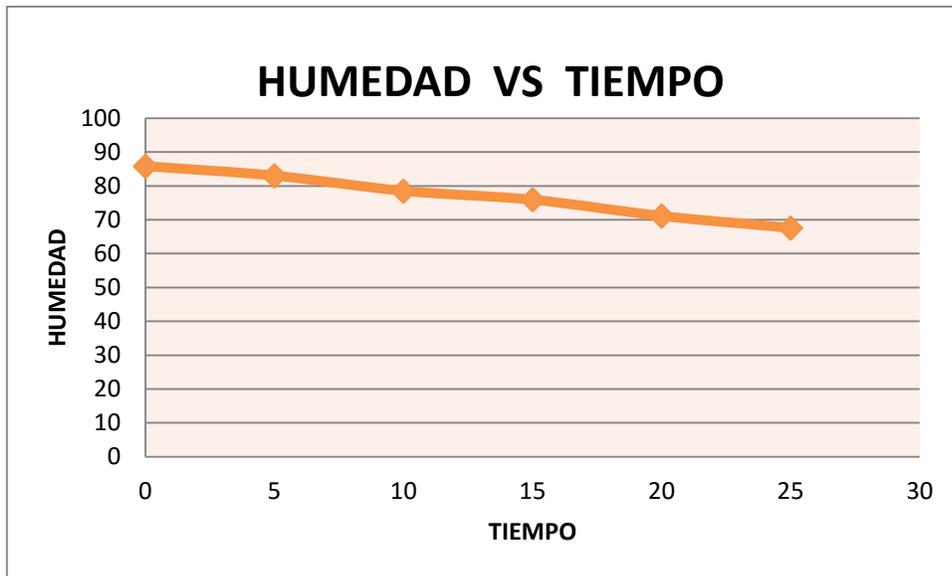
PESO VS TIEMPO

| TIEMPO (seg.) | PESO (g) |
|---------------|----------|
| 0 | 2000 |
| 5 | 1997,2 |
| 25 | 1819,2 |



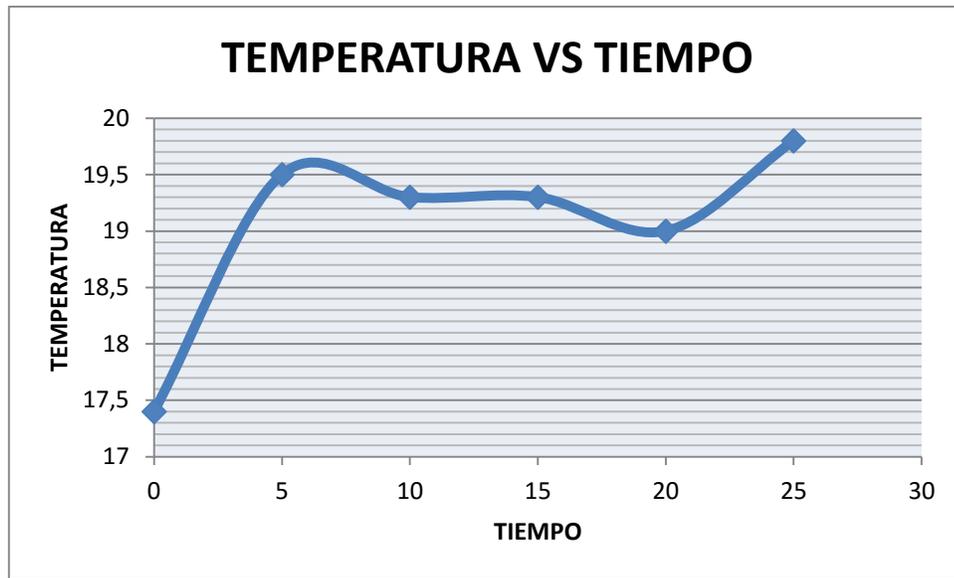
HUMEDAD VS TIEMPO

| TIEMPO (seg.) | % HUMEDAD |
|---------------|-----------|
| 0 | 85,8 |
| 5 | 83 |
| 10 | 78,5 |
| 15 | 75,9 |
| 20 | 71,1 |
| 25 | 67,6 |



TEMPERATURA (en el producto) VS TIEMPO

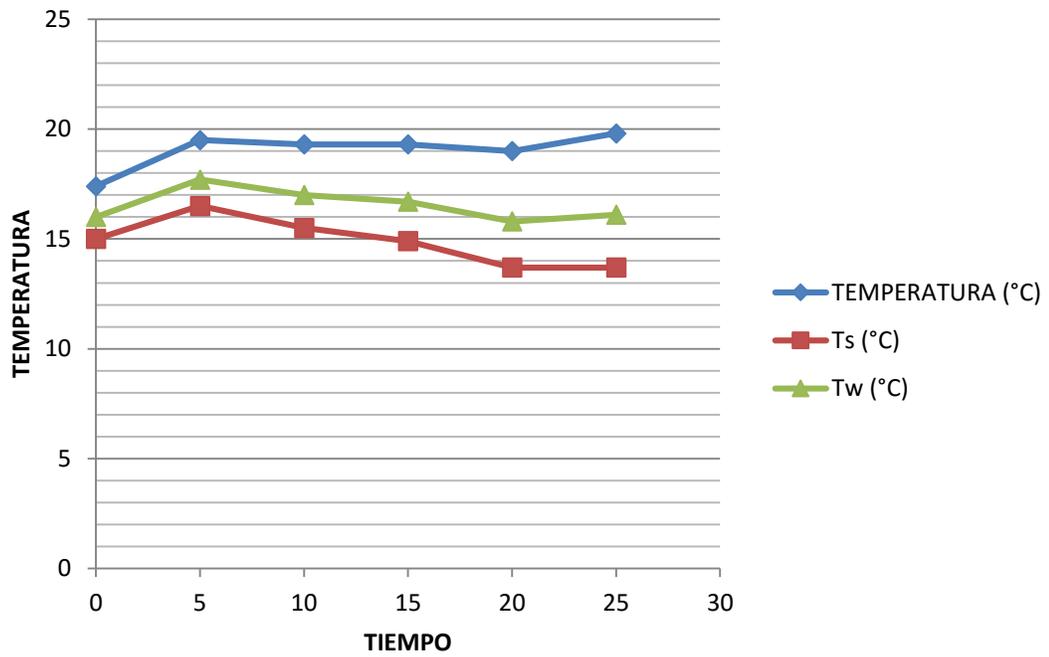
| TIEMPO (seg) | TEMPERATURA (°C) |
|--------------|------------------|
| 0 | 17,4 |
| 5 | 19,5 |
| 10 | 19,3 |
| 15 | 19,3 |
| 20 | 19 |
| 25 | 19,8 |



CURVAS DE LAS TEMPERATURAS (en el producto) VS EL TIEMPO

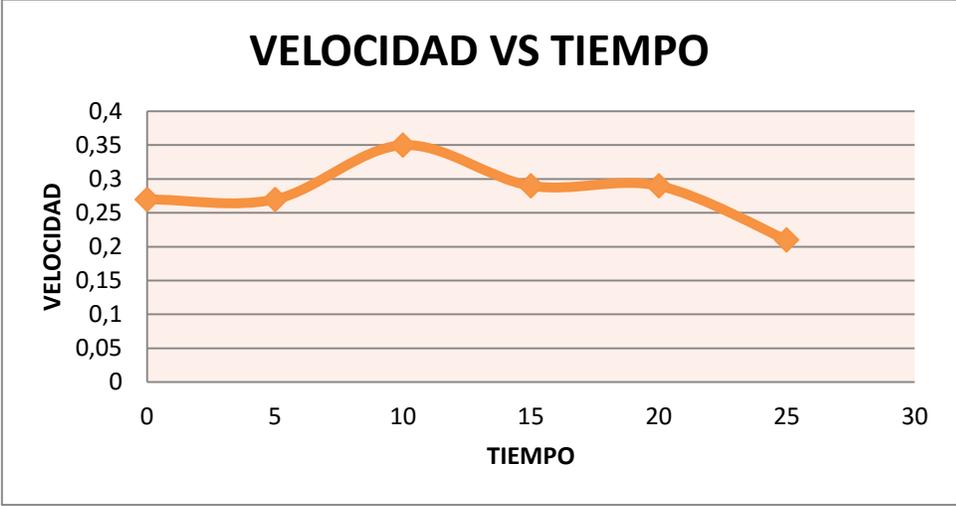
| TIEMPO (seg) | TEMPERATURA (°C) | Ts (°C) | Tw (°C) |
|--------------|------------------|---------|---------|
| 0 | 17,4 | 15 | 16 |
| 5 | 19,5 | 16,5 | 17,7 |
| 10 | 19,3 | 15,5 | 17 |
| 15 | 19,3 | 14,9 | 16,7 |
| 20 | 19 | 13,7 | 15,8 |
| 25 | 19,8 | 13,7 | 16,1 |

TEMPERATURAS VS TIEMPO



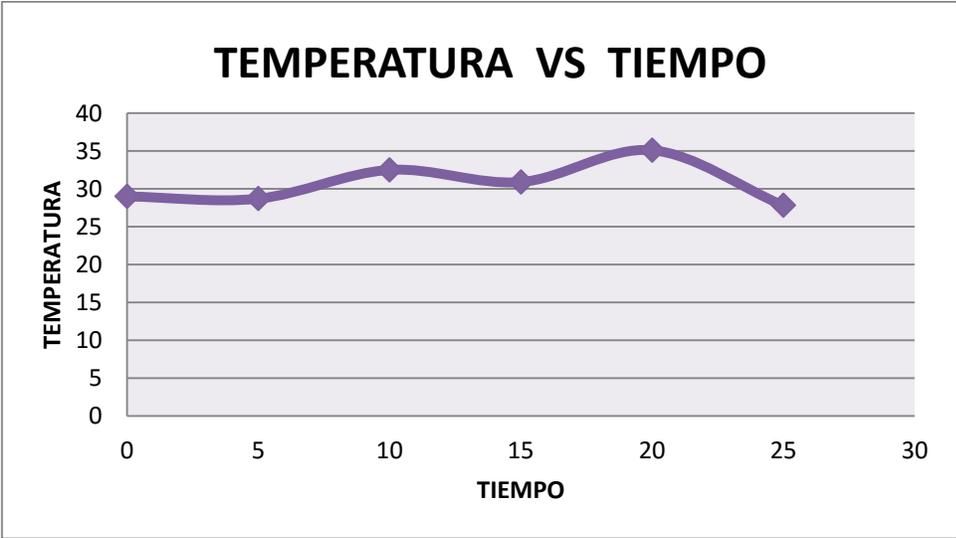
VELOCIDAD VS TIEMPO

| TIEMPO (seg.) | VELOCIDAD (m/s) |
|---------------|-----------------|
| 0 | 0,27 |
| 5 | 0,27 |
| 10 | 0,35 |
| 15 | 0,29 |
| 20 | 0,29 |
| 25 | 0,21 |



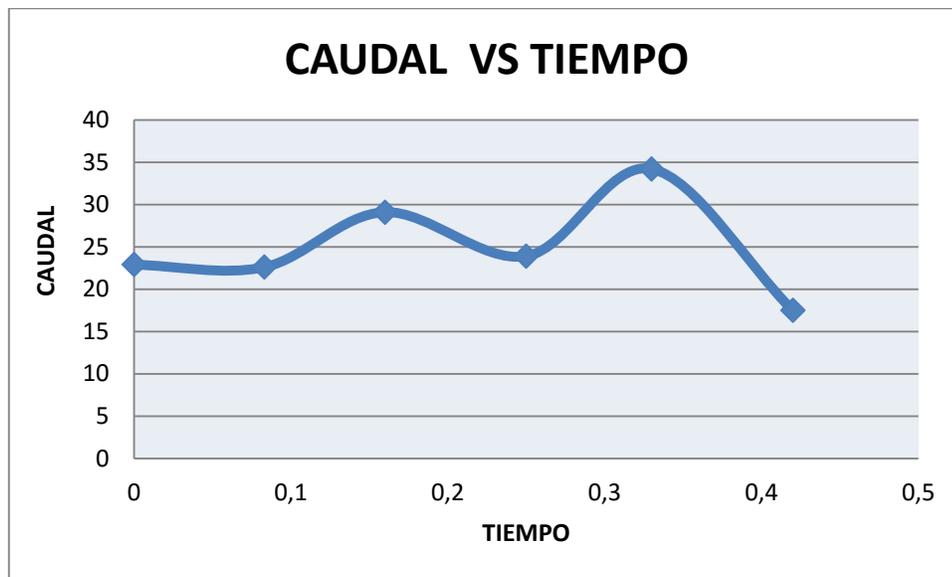
TEMPERATURA (en el equipo) VS TIEMPO

| TIEMPO (seg) | TEMPERATURA (°C) |
|--------------|------------------|
| 0 | 29 |
| 5 | 28,7 |
| 10 | 32,5 |
| 15 | 30,9 |
| 20 | 35,1 |
| 25 | 27,8 |



CAUDAL VS TIEMPO

| TIEMPO (h) | CAUDAL (m ³ /h) |
|------------|----------------------------|
| 0 | 22,9 |
| 0,083 | 22,6 |
| 0,16 | 29,1 |
| 0,25 | 23,9 |
| 0,33 | 34,2 |
| 0,42 | 17,5 |



6.- CONCLUSIONES:

- Se determinó que el tiempo en que se demora en secar 2000 gramos de maíz en el secador rotativo piloto de cereales es de 25 minutos.
- El porcentaje de humedad inicial del maíz fue de 85,8% y su porcentaje final fue de 67,6% menor que el porcentaje del ambiente que fue de 73,4%.
- El peso del producto inicialmente con humedad fue de 2000 gramos, luego de su secado fue de 1819 gramos teniendo una pérdida de peso de 180,8 gramos.

- Se tuvo un desperdicio del maíz por el equipo de 8,4 gramos.
- Se realizó las diferentes gráficas como por ejemplo del Peso Vs el Tiempo en la que se observa como el peso del producto va disminuyendo conforme el tiempo aumenta.
- En la gráfica de la Temperaturas del producto Vs el Tiempo, la Velocidad en el equipo Vs el Tiempo y el Caudal Vs el Tiempo no son constantes sino que aumentan y disminuyen en el tiempo.



Escuela de: _____

Integrantes: _____

Laboratorio N° 02

Fecha de Realización: _____

Fecha de Entrega: _____

Calificación: _____

1.- TEMA: Secado del Arveja.

2.- OBJETIVOS:

- Indicar el tiempo de secado del producto.
- Determinar el contenido de humedad inicial y final del producto.
- Realizar las gráficas de secado.

3.- MATERIALES:

- Secador Rotativo Piloto de Cereales.
- Balanza Digital.
- 1,857 kg de Arveja.
- Anemómetro.
- Termohidrógeno.

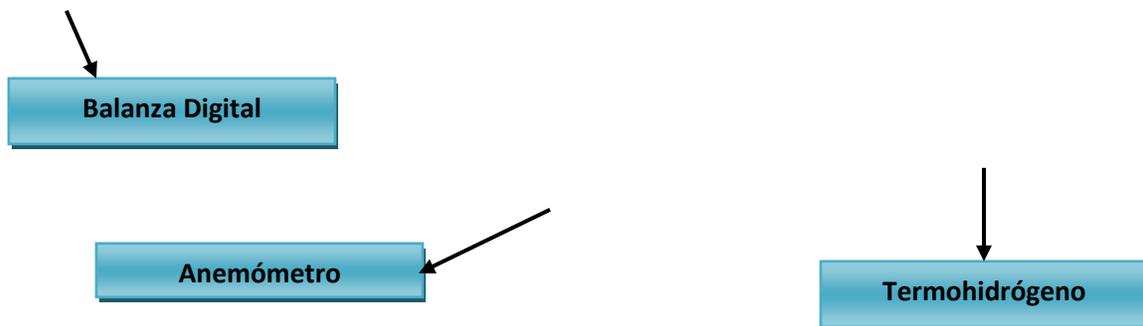
4.- DIAGRAMA:



Arveja

Secador Rotativo Piloto de Cereales





5.- PROCEDIMIENTOS, CÁLCULOS, TABLAS, RESULTADOS:

Procedimiento:

- Pesar los 1,857 Kg de arveja en la balanza digital.
- Encender el secador rotativo piloto siguiendo el manual de procedimiento indicado en el **Anexo N° 4**.
- Realizar la toma de medidas iniciales del producto.
- Luego colocar la arveja en el secador rotativo piloto.
- Durante la práctica sacar pequeñas muestras del producto para tomar los datos necesarios que se indican en las tablas.
- Luego que se tome la última muestra del producto en la cual se verifica que el producto está seco, sacar el producto y volverlo a pesar.
- Realizar las gráficas con los datos obtenidos en la práctica y llenar las tablas de los datos.

Tablas de Datos:

| PRODUCTO | Peso antes del secado (g) | Peso después del secado (g) | Pérdida de Peso | Contenido de Humedad |
|----------|---------------------------|-----------------------------|-----------------|----------------------|
| ARVEJA | 1857 | 1676 | 181 | 10,79% |

Cálculo del Contenido de Humedad según la fórmula:

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso del alimento seco}} \times 100 = \frac{\text{Peso del alimento húmedo} - \text{Peso del alimento seco}}{\text{Peso del alimento seco}} \times 100$$

Datos:

$$W = \text{Kg de sólido húmedo} = 1,857 \text{ kg} = 1857 \text{ (g)}$$

$$W_s = \text{Kg de sólido seco} = 1,676 \text{ kg} = 1676 \text{ (g)}$$

Cálculo:

$$\text{Pérdida de Peso} = W - W_s = 1857 \text{ g} - 1676 \text{ g} = 181 \text{ g}$$

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{W - W_s}{W_s} \times 100 = \frac{1857 \text{ g} - 1676 \text{ g}}{1676 \text{ g}} \times 100 = 10,79\%$$

$$\text{Desperdicio del producto por el equipo} = 5,5 \text{ g}$$

| DATOS DEL AMBIENTE | |
|-------------------------|-----------|
| Porcentaje de humedad = | 40,3 % |
| Temperatura = | 22,3 ° C |
| Tiempo de inicio = | 9 h 35 am |

| DATOS DEL GRANO | |
|-------------------------------|-----------|
| Porcentaje de Humedad Inicial | 54,6 % |
| = | |
| Temperatura = | 19,8 °C |
| Tiempo de inicio= | 9 h 35 am |

| DATOS EN EL EQUIPO | |
|---------------------------|------------------------|
| Caudal del aire= | 24,3 m ³ /h |
| Temperatura = | 26,8 °C |
| Velocidad del aire= | 0,29 m/s |

DATOS TOMADOS EN LA PRÁCTICA

| TIEMPO | VELOCIDAD (m/s) | TEMPERATURA (°C) (en la máquina) | CAUDAL (m³/h) | % HUMEDAD | TEMPERATURA (°C) (del producto) | Ts | Tw |
|---------------|------------------------|---|---------------------------------|------------------|--|-----------|-----------|
| 9:35 | 0,29 | 26,8 | 24,3 | 54,6 | 19,8 | 18,5 | 18,5 |
| 9:40 | 0,13 | 28,4 | 11,1 | 47,9 | 22,2 | 18,5 | 14,1 |
| 9:50 | 0,17 | 32,2 | 13,8 | 47 | 23 | 16,3 | 18,7 |
| 10:00 | 0,15 | 34 | 12,4 | 46,5 | 21,1 | 9,2 | 14,2 |
| 10:10 | 0,18 | 35 | 14,8 | 45,4 | 23,4 | 7,9 | 14,1 |
| 10:20 | 0,16 | 37 | 13 | 43,2 | 21 | 7,3 | 13,8 |
| 10:30 | 0,15 | 38 | 13,5 | 40,5 | 20 | 7 | 13,2 |

Ts = Temperatura de bulbo seco

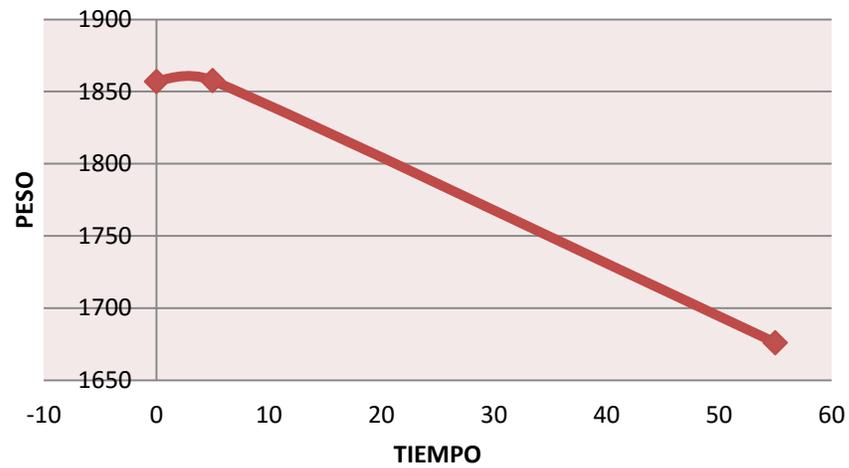
Tw =Temperatura de bulbo húmedo.

RESULTADOS:

PESO VS TIEMPO

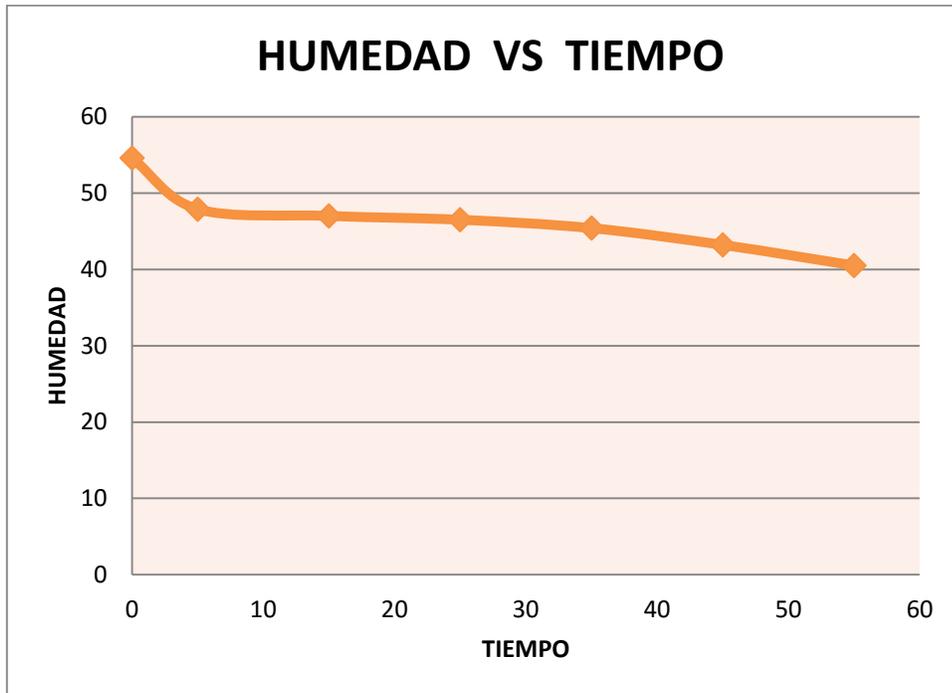
| TIEMPO (seg.) | PESO (g) |
|----------------------|-----------------|
| 0 | 1857 |
| 5 | 1857,6 |
| 55 | 1676 |

PESO VS TIEMPO



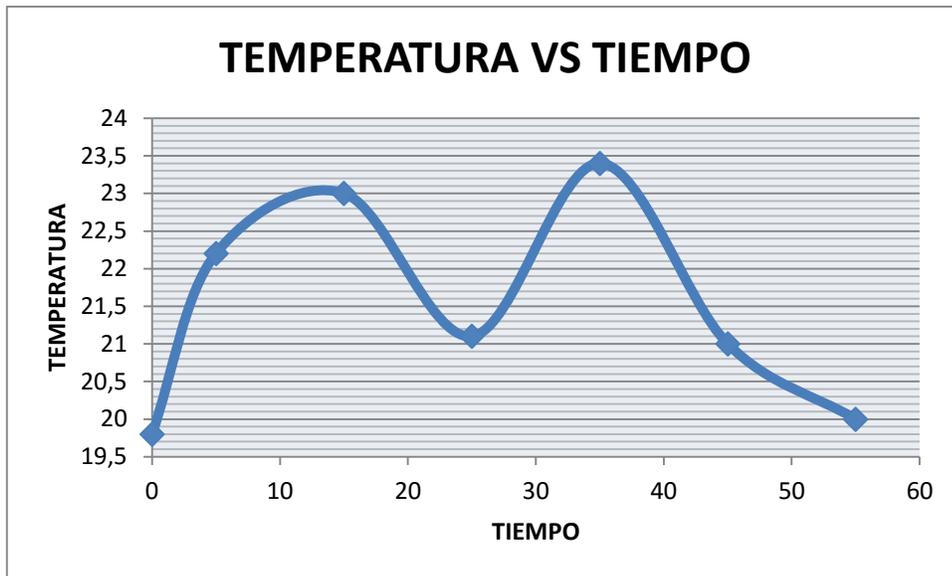
HUMEDAD VS TIEMPO

| TIEMPO (seg.) | % HUMEDAD |
|---------------|-----------|
| 0 | 54,6 |
| 5 | 47,9 |
| 15 | 47 |
| 25 | 46,5 |
| 35 | 45,4 |
| 45 | 43,2 |
| 55 | 40,5 |



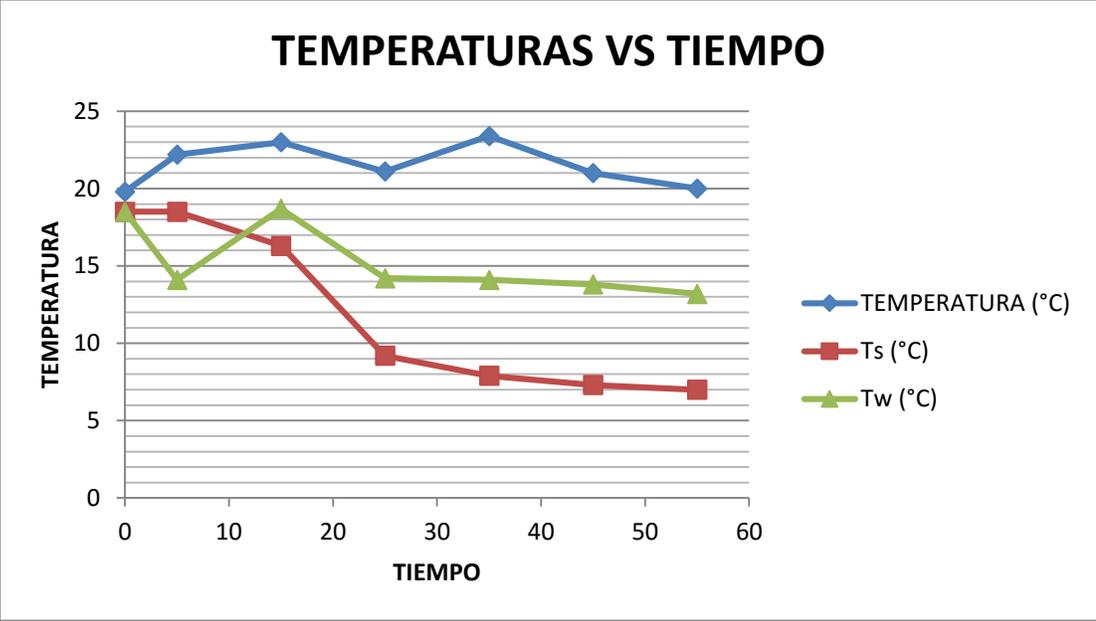
TEMPERATURA (en el producto) VS TIEMPO

| TIEMPO (seg) | TEMPERATURA (°C) |
|--------------|------------------|
| 0 | 19,8 |
| 5 | 22,2 |
| 15 | 23,0 |
| 25 | 21,1 |
| 35 | 23,4 |
| 45 | 21 |
| 55 | 20 |



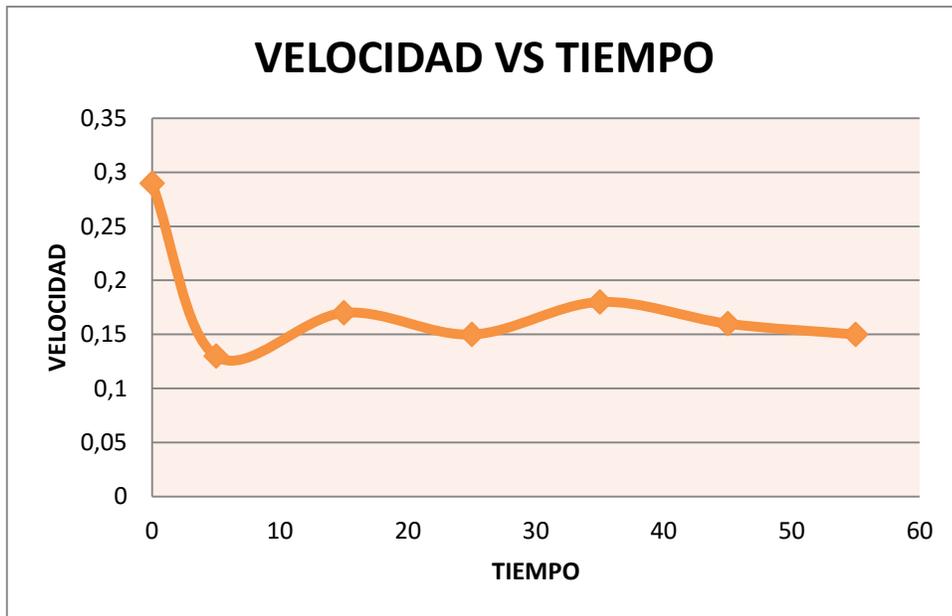
CURVAS DE LAS TEMPERATURAS (en el producto) VS EL TIEMPO

| TIEMPO (seg) | TEMPERATURA (°C) | Ts (°C) | Tw (°C) |
|--------------|------------------|---------|---------|
| 0 | 19,8 | 18,5 | 18,5 |
| 5 | 22,2 | 18,5 | 14,1 |
| 15 | 23 | 16,3 | 18,7 |
| 25 | 21,1 | 9,2 | 14,2 |
| 35 | 23,4 | 7,9 | 14,1 |
| 45 | 21 | 7,3 | 13,8 |
| 55 | 20 | 7 | 13,2 |



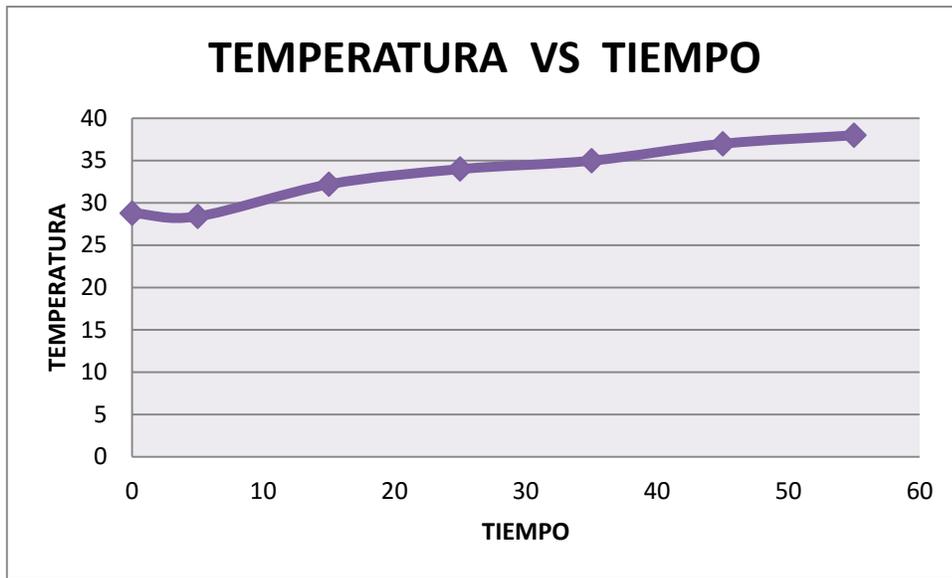
VELOCIDAD VS TIEMPO

| TIEMPO (seg) | VELOCIDAD (m/s) |
|--------------|-----------------|
| 0 | 0,29 |
| 5 | 0,13 |
| 15 | 0,17 |
| 25 | 0,15 |
| 35 | 0,18 |
| 45 | 0,16 |
| 55 | 0,15 |



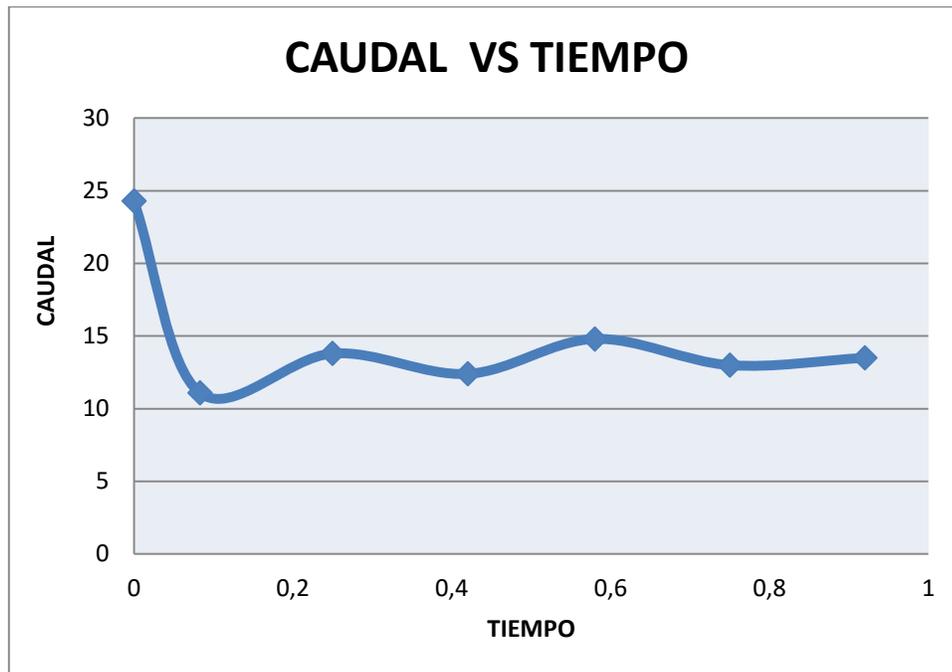
TEMPERATURA (en el equipo) VS TIEMPO

| TIEMPO (seg) | TEMPERATURA (°C) |
|--------------|------------------|
| 0 | 28,8 |
| 5 | 28,4 |
| 15 | 32,2 |
| 25 | 34 |
| 35 | 35 |
| 45 | 37 |
| 55 | 38 |



CAUDAL VS TIEMPO

| TIEMPO (h) | CAUDAL (m3/h) |
|------------|---------------|
| 0 | 24,3 |
| 0,083 | 11,1 |
| 0,25 | 13,8 |
| 0,42 | 12,4 |
| 0,58 | 14,8 |
| 0,75 | 13 |
| 0,92 | 13,5 |



6.- CONCLUSIONES:

- Se determinó que el tiempo en que se demora en secar 1857 gramos de arveja en el secador rotativo piloto de cereales es de 55 minutos.
- El porcentaje de humedad inicial de la arveja fue de 54,6 % y su porcentaje final fue de 40,5 % llegando casi al porcentaje del ambiente que fue de 40,3%.
- El peso del producto inicialmente con humedad fue de 1857 gramos, luego de su secado fue de 1676 gramos teniendo una pérdida de peso de 181 gramos.
- Se tuvo un desperdicio de la arveja por el equipo de 5,5 gramos.

- Se realizo las diferentes gráficas como por ejemplo del Peso Vs el Tiempo en la que se observa como el peso del producto va disminuyendo conforme el tiempo aumenta.
- En la gráfica de la Temperaturas del producto Vs el Tiempo, la Velocidad en el equipo Vs el Tiempo y el Caudal Vs el Tiempo no son constantes sino que aumentan y disminuyen en el tiempo.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA



Escuela de: _____

Laboratorio N° 03

Integrantes: _____

Fecha de Realización: _____

Fecha de Entrega: _____

Calificación: _____

1.- TEMA: Secado del Frejol.

2.- OBJETIVOS:

- Indicar el tiempo de secado del producto.
- Determinar el contenido de humedad inicial y final del producto.
- Realizar las gráficas de secado.

3.- MATERIALES:

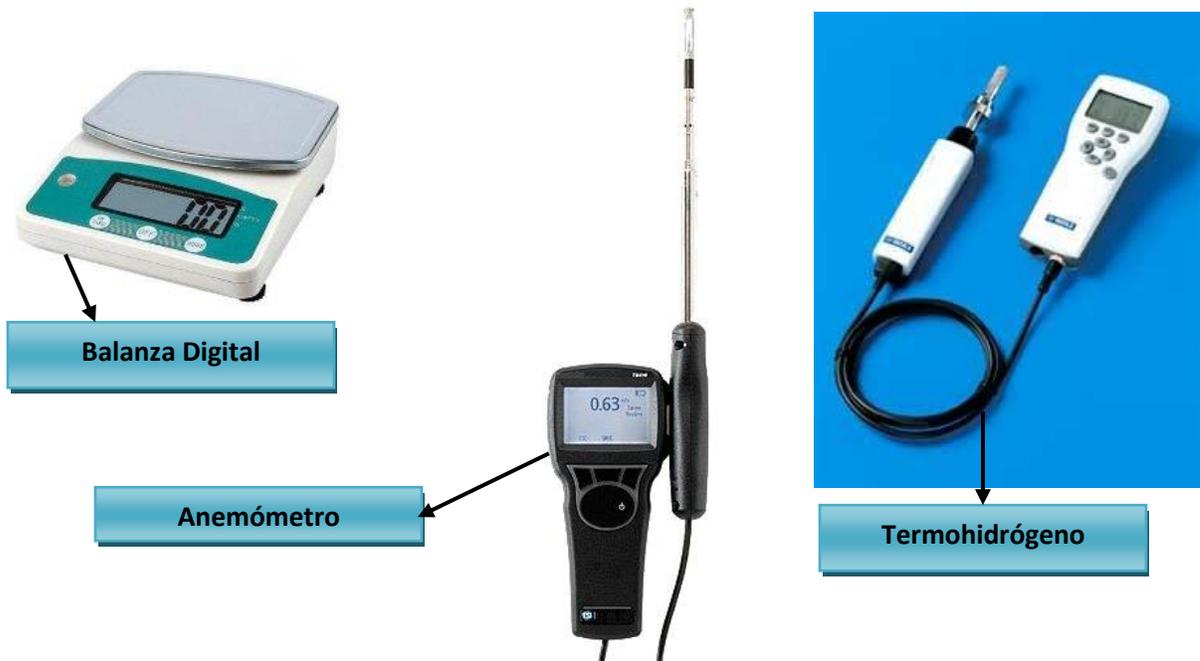
- Secador Rotativo Piloto de Cereales.
- Balanza Digital.
- 1,5022 kg de Frejol.
- Anemómetro.
- Termohidrógeno.

4.- DIAGRAMA:



Frejol

Secador Rotativo Piloto
de Cereales



5.- PROCEDIMIENTOS, CÁLCULOS, TABLAS, RESULTADOS:

Procedimiento:

- Pesar los 1,5022 Kg de frejol en la balanza digital.
- Encender el secador rotativo piloto siguiendo el manual de procedimiento indicado en el **Anexo N° 4**.
- Realizar la toma de medidas iniciales del producto.
- Luego colocar el frejol en el secador rotativo piloto.
- Durante la práctica sacar pequeñas muestras del producto para tomar los datos necesarios que se indican en las tablas.
- Luego que se tome la última muestra del producto en la cual se verifica que el producto está seco, sacar el producto y volverlo a pesar.
- Realizar las gráficas con los datos obtenidos en la práctica y llenar las tablas de los datos.

Tablas de Datos:

| PRODUCTO | Peso antes del secado (g) | Peso después del secado (g) | Pérdida de Peso | Contenido de Humedad |
|----------|---------------------------|-----------------------------|-----------------|----------------------|
| FREJOL | 1502,2 | 1407,6 | 94,6 | 6,72% |

Cálculo del Contenido de Humedad según la fórmula:

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso del alimento seco}} \times 100 = \frac{\text{Peso del alimento húmedo} - \text{Peso del alimento seco}}{\text{Peso del alimento seco}} \times 100$$

Datos:

$$W = \text{Kg de sólido húmedo} = 1,5022 \text{ kg} = 1502,2 \text{ (g)}$$

$$W_s = \text{Kg de sólido seco} = 1,4076 \text{ kg} = 1407,6 \text{ (g)}$$

Cálculo:

$$\text{Pérdida de Peso} = W - W_s = 1502,2 \text{ g} - 1407,6 \text{ g} = 94,6 \text{ g}$$

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{W - W_s}{W_s} \times 100 = \frac{1502,2 \text{ g} - 1407,6 \text{ g}}{1407,6 \text{ g}} \times 100 = 6,72\%$$

$$\text{Desperdicio del producto por el equipo} = 4,89\text{g}$$

| DATOS DEL AMBIENTE | |
|-------------------------|-----------|
| Porcentaje de humedad = | 73,5 % |
| Temperatura = | 16,5 ° C |
| Tiempo de inicio = | 8 h 30 am |

| DATOS DEL GRANO | |
|-------------------------------|--------|
| Porcentaje de Humedad Inicial | 97,2 % |
| = | |

| | |
|-------------------|-----------|
| Temperatura = | 16,8 °C |
| Tiempo de inicio= | 8 h 30 am |

| DATOS EN EL EQUIPO | |
|---------------------|------------------------|
| Caudal del aire= | 23,8 m ³ /h |
| Temperatura = | 33 °C |
| Velocidad del aire= | 0,29 m/s |

DATOS TOMADOS EN LA PRÁCTICA

| TIEMPO | VELOCIDAD (m/s) | TEMPERATURA (°C) (en la máquina) | CAUDAL (m ³ /h) | % HUMEDAD | TEMPERATURA (°C) (del producto) | Ts | Tw |
|--------|-----------------|----------------------------------|----------------------------|-----------|---------------------------------|------|------|
| 8:30 | 0,29 | 33 | 23,8 | 97,2 | 16,8 | 16,4 | 16,5 |
| 8:40 | 0,19 | 31,3 | 15,5 | 82,9 | 20,5 | 17,5 | 18,6 |
| 8:45 | 0,21 | 33,4 | 14,8 | 78,0 | 19,9 | 15,9 | 17,4 |
| 8:50 | 0,36 | 38,1 | 29,9 | 76,5 | 18,6 | 14,4 | 16,1 |
| 8:55 | 0,30 | 31,1 | 25,1 | 72,4 | 24,4 | 19,1 | 20,9 |

Ts = Temperatura de bulbo seco

Tw =Temperatura de bulbo húmedo.

RESULTADOS:

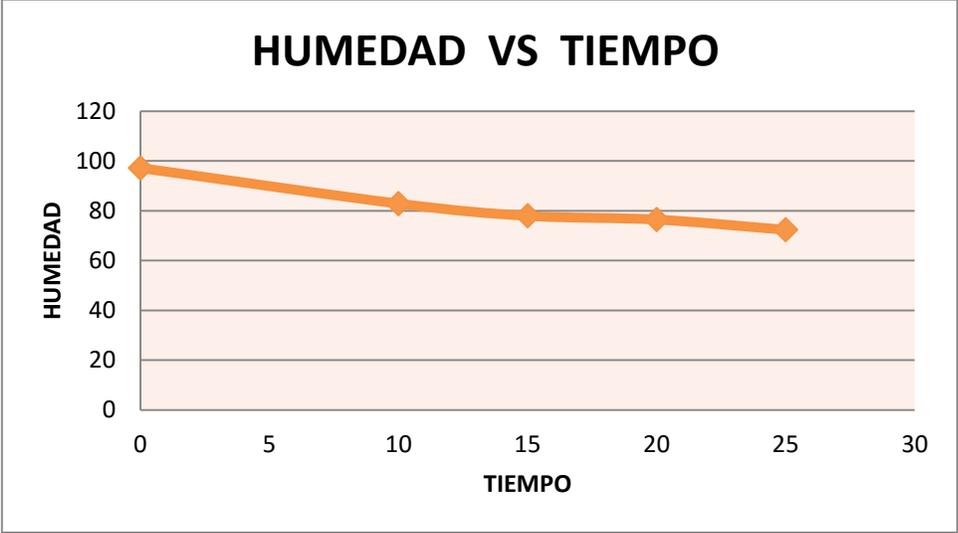
PESO VS TIEMPO

| TIEMPO (seg.) | PESO (g) |
|---------------|----------|
| 0 | 1502,2 |
| 5 | 1496 |
| 25 | 1407,6 |



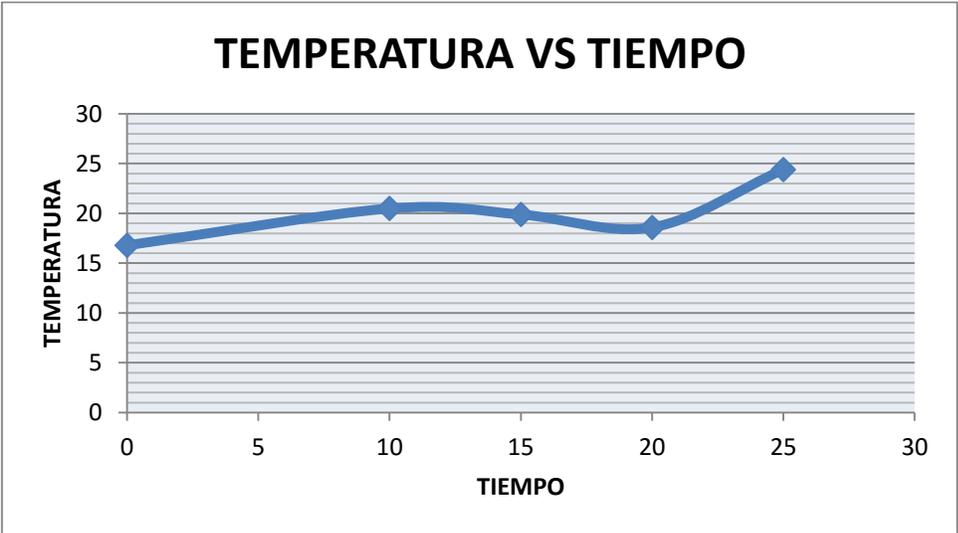
HUMEDAD VS TIEMPO

| TIEMPO (seg.) | % HUMEDAD |
|---------------|-----------|
| 0 | 97,2 |
| 10 | 82,9 |
| 15 | 78 |
| 20 | 76,5 |
| 25 | 72,4 |



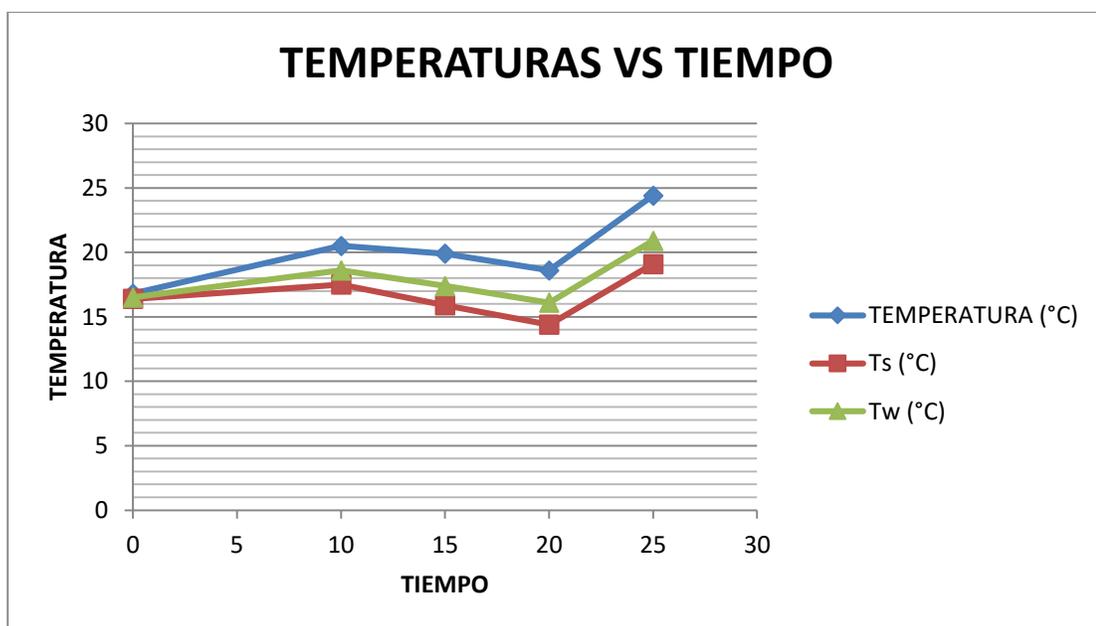
TEMPERATURA (en el producto) VS TIEMPO

| TIEMPO (seg) | TEMPERATURA (°C) |
|--------------|------------------|
| 0 | 16,8 |
| 10 | 20,5 |
| 15 | 19,9 |
| 20 | 18,6 |
| 25 | 24,4 |



CURVAS DE LAS TEMPERATURAS (en el producto) VS EL TIEMPO

| TIEMPO (seg) | TEMPERATURA (°C) | Ts (°C) | Tw (°C) |
|--------------|------------------|---------|---------|
| 0 | 16,8 | 16,4 | 16,5 |
| 10 | 20,5 | 17,5 | 18,6 |
| 15 | 19,9 | 15,9 | 17,4 |
| 20 | 18,6 | 14,4 | 16,1 |
| 25 | 24,4 | 19,1 | 20,9 |



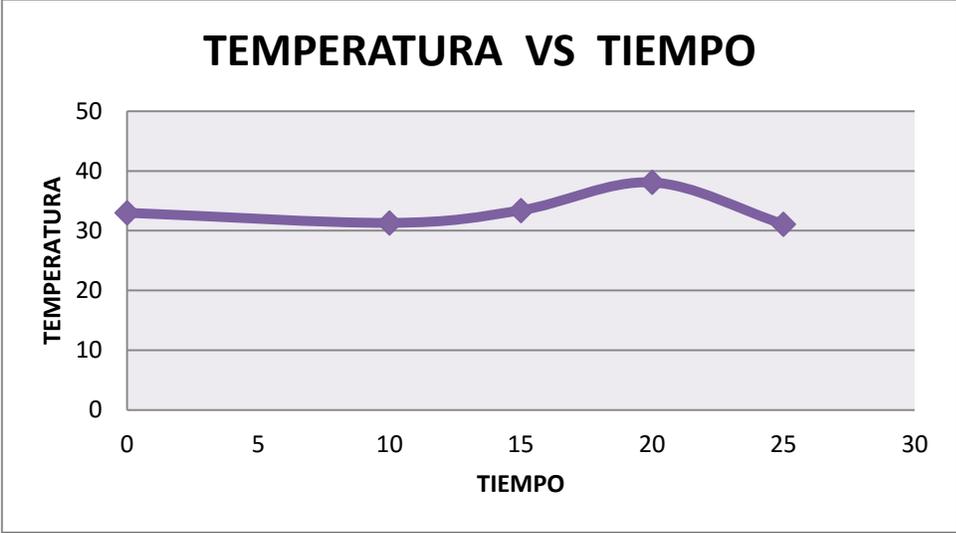
VELOCIDAD VS TIEMPO

| TIEMPO (seg) | VELOCIDAD (m/s) |
|--------------|-----------------|
| 0 | 0,29 |
| 10 | 0,19 |
| 15 | 0,21 |
| 20 | 0,36 |
| 25 | 0,3 |



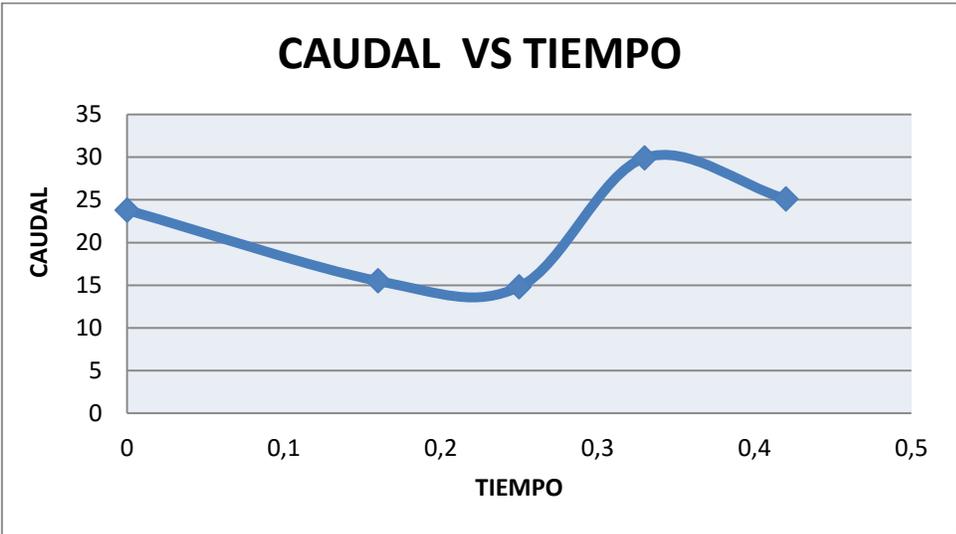
TEMPERATURA (en el equipo) VS TIEMPO

| TIEMPO (seg) | TEMPERATURA (°C) |
|--------------|------------------|
| 0 | 33 |
| 10 | 31,3 |
| 15 | 33,4 |
| 20 | 38,1 |
| 25 | 31,1 |



CAUDAL VS TIEMPO

| TIEMPO (h) | CAUDAL (m3/h) |
|------------|---------------|
| 0 | 23,8 |
| 0,16 | 15,5 |
| 0,25 | 14,8 |
| 0,33 | 29,9 |
| 0,42 | 25,1 |



6.- CONCLUSIONES:

- Se determinó que el tiempo en que se demora en secar 1502,2 gramos de frejol en el secador rotativo piloto de cereales es de 25 minutos.
- El porcentaje de humedad inicial del frejol fue de 97,2% y su porcentaje final fue de 72,4% llegando casi al porcentaje del ambiente que fue de 73,5%.
- El peso del producto inicialmente con humedad fue de 1502,2 gramos, luego de su secado fue de 1407,6 gramos teniendo una pérdida de peso de 94,6 gramos.
- Se tuvo un desperdicio del frejol por el equipo de 4,89 gramos.
- Se realizó las diferentes gráficas como por ejemplo del Peso Vs el Tiempo en la que se observa como el peso del producto va disminuyendo conforme el tiempo aumenta.
- En la gráfica de la Temperaturas del producto Vs el Tiempo, la Velocidad en el equipo Vs el Tiempo y el Caudal Vs el Tiempo no son constantes sino que aumentan y disminuyen en el tiempo.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA



Escuela de: _____

Laboratorio N° 04

Integrantes: _____

Fecha de Realización: _____

Fecha de Entrega: _____

Calificación: _____

1.- TEMA: Secado de Habas.

2.- OBJETIVOS:

- Indicar el tiempo de secado del producto.
- Determinar el contenido de humedad inicial y final del producto.
- Realizar las gráficas de secado.

3.- MATERIALES:

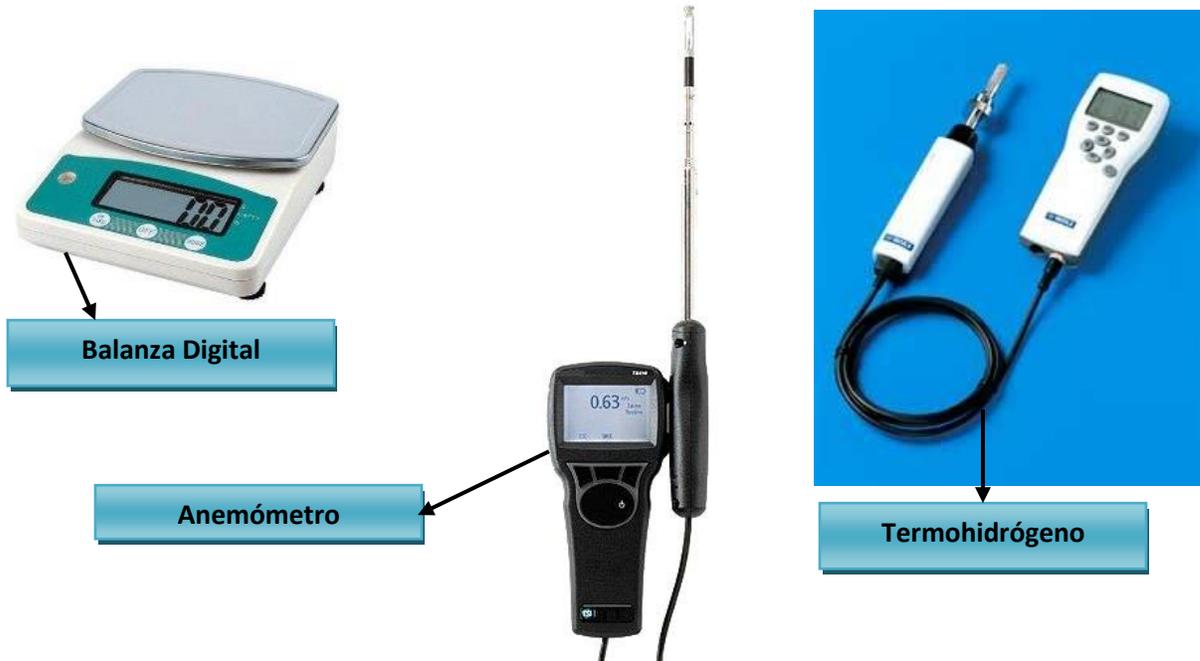
- Secador Rotativo Piloto de Cereales.
- Balanza Digital.
- 1,6614 kg de Habas.
- Anemómetro.
- Termohidrógeno.

4.- DIAGRAMA:



Habas

Secador Rotativo Piloto
de Cereales



5.- PROCEDIMIENTOS, CÁLCULOS, TABLAS, RESULTADOS:

Procedimiento:

- Pesar los 1,6614 Kg de habas en la balanza digital.
- Encender el secador rotativo piloto siguiendo el manual de procedimiento indicado en el **Anexo N° 4**.
- Realizar la toma de medidas iniciales del producto.
- Luego colocar las habas en el secador rotativo piloto.
- Durante la práctica sacar pequeñas muestras del producto para tomar los datos necesarios que se indican en las tablas.
- Luego que se tome la última muestra del producto en la cual se verifica que el producto está seco, sacar el producto y volverlo a pesar.
- Realizar las gráficas con los datos obtenidos en la práctica y llenar las tablas de los datos.

Tablas de Datos:

| PRODUCTO | Peso antes del secado (g) | Peso después del secado (g) | Pérdida de Peso | Contenido de Humedad |
|----------|---------------------------|-----------------------------|-----------------|----------------------|
| HABAS | 1661,4 | 1550,2 | 111,2 | 7,17% |

Cálculo del Contenido de Humedad según la fórmula:

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso del alimento seco}} \times 100 = \frac{\text{Peso del alimento húmedo} - \text{Peso del alimento seco}}{\text{Peso del alimento seco}} \times 100$$

Datos:

$$W = \text{Kg de sólido húmedo} = 1,6614 \text{ kg} = 1661,4 \text{ (g)}$$

$$W_s = \text{Kg de sólido seco} = 1,5502 \text{ kg} = 1550,2 \text{ (g)}$$

Cálculo:

$$\text{Pérdida de Peso} = W - W_s = 1661,4 \text{ g} - 1550,2 \text{ g} = 111,2 \text{ g}$$

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{W - W_s}{W_s} \times 100 = \frac{1661,4 \text{ g} - 1550,2 \text{ g}}{1550,2 \text{ g}} \times 100 = 7,17\%$$

| DATOS DEL AMBIENTE | |
|-------------------------|------------|
| Porcentaje de humedad = | 73,0 % |
| Temperatura = | 16,3 ° C |
| Tiempo de inicio = | 10 h 25 am |

| DATOS DEL GRANO | |
|-------------------------------|----------|
| Porcentaje de Humedad Inicial | 87,8 % |
| = | |
| Temperatura = | 16,9 ° C |

| | |
|-------------------|------------|
| Tiempo de inicio= | 10 h 25 am |
|-------------------|------------|

| DATOS EN EL EQUIPO | |
|---------------------|------------------------|
| Caudal del aire= | 37,8 m ³ /h |
| Temperatura = | 25,4 °C |
| Velocidad del aire= | 0,45 m/s |

DATOS TOMADOS EN LA PRÁCTICA

| TIEMPO | VELOCIDAD (m/s) | TEMPERATURA (°C) (en la máquina) | CAUDAL (m ³ /h) | % HUMEDAD | TEMPERATURA (°C) (del producto) | Ts | Tw |
|--------|-----------------|----------------------------------|----------------------------|-----------|---------------------------------|------|------|
| 10:25 | 0,45 | 25,4 | 37,8 | 87,8 | 16,9 | 14,9 | 15,7 |
| 10:30 | 0,36 | 31,1 | 29,9 | 80,7 | 19,2 | 15,9 | 17,2 |
| 10:35 | 0,41 | 30,3 | 34,4 | 78,9 | 19,9 | 16,2 | 17,6 |
| 10:40 | 0,32 | 35,4 | 26,5 | 78,8 | 20,7 | 16,8 | 18,3 |
| 10:45 | 0,23 | 32,5 | 18,8 | 76,7 | 21,1 | 16,9 | 18,5 |
| 10:50 | 0,16 | 33,6 | 13 | 69,3 | 21,7 | 15,9 | 18,8 |

Ts = Temperatura de bulbo seco

Tw =Temperatura de bulbo húmedo.

RESULTADOS:

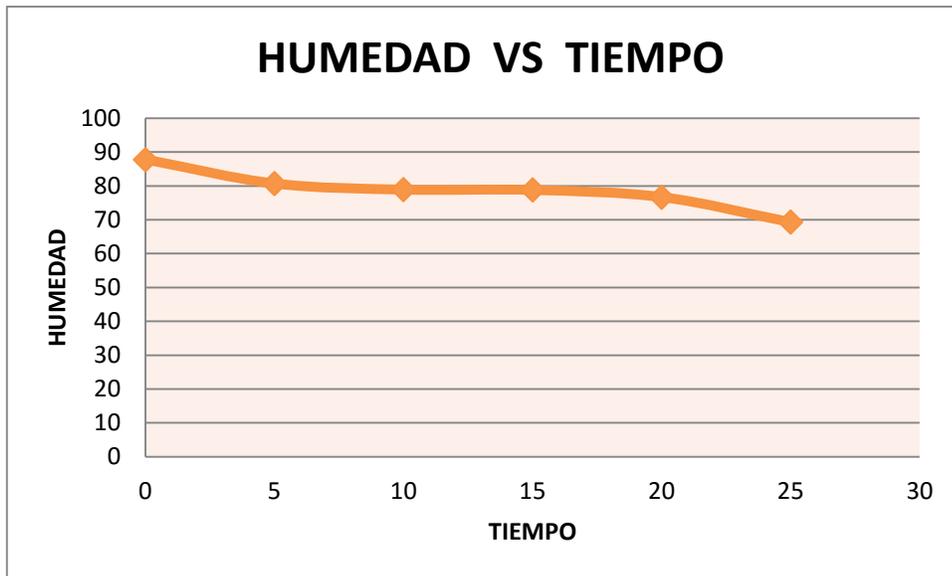
PESO VS TIEMPO

| TIEMPO (seg.) | PESO (g) |
|---------------|----------|
| 0 | 1661,4 |
| 5 | 1657,7 |
| 25 | 1550,2 |



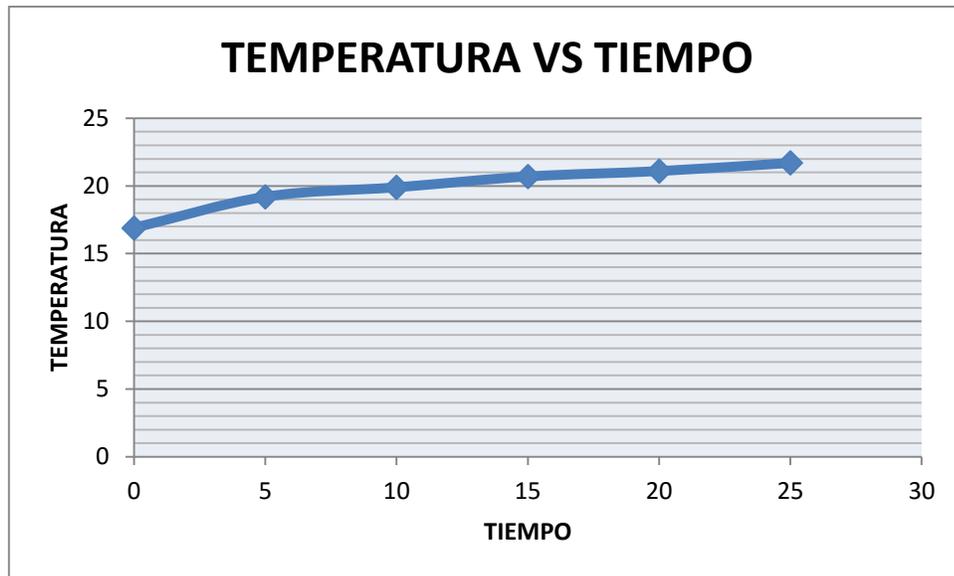
HUMEDAD VS TIEMPO

| TIEMPO (seg.) | % HUMEDAD |
|---------------|-----------|
| 0 | 87,8 |
| 5 | 80,7 |
| 10 | 78,9 |
| 15 | 78,8 |
| 20 | 76,7 |
| 25 | 69,3 |



TEMPERATURA (en el producto) VS TIEMPO

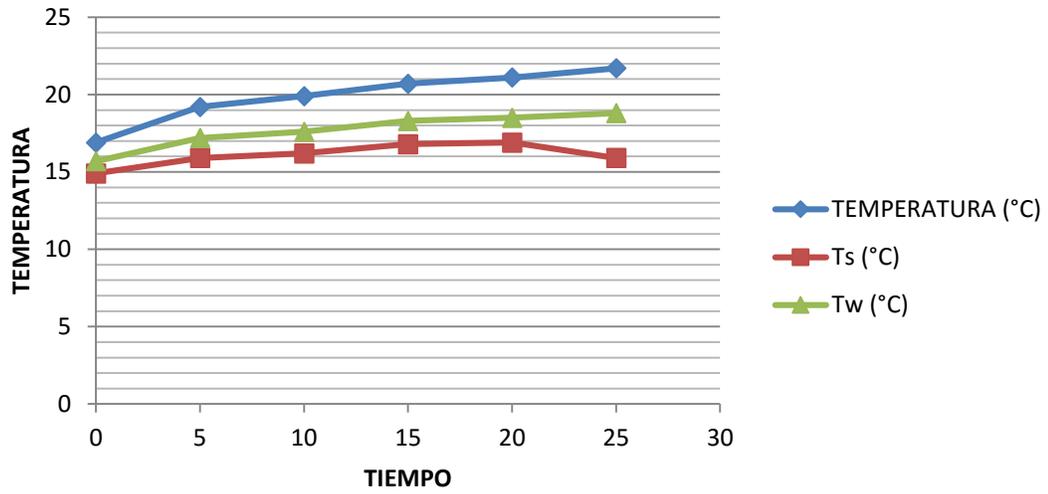
| TIEMPO (seg) | TEMPERATURA (°C) |
|--------------|------------------|
| 0 | 16,9 |
| 5 | 19,2 |
| 10 | 19,9 |
| 15 | 20,7 |
| 20 | 21,1 |
| 25 | 21,7 |



CURVAS DE LAS TEMPERATURAS (en el producto) VS EL TIEMPO

| TIEMPO (seg) | TEMPERATURA (°C) | Ts (°C) | Tw (°C) |
|--------------|------------------|---------|---------|
| 0 | 16,9 | 14,9 | 15,7 |
| 5 | 19,2 | 15,9 | 17,2 |
| 10 | 19,9 | 16,2 | 17,6 |
| 15 | 20,7 | 16,8 | 18,3 |
| 20 | 21,1 | 16,9 | 18,5 |
| 25 | 21,7 | 15,9 | 18,8 |

TEMPERATURAS VS TIEMPO



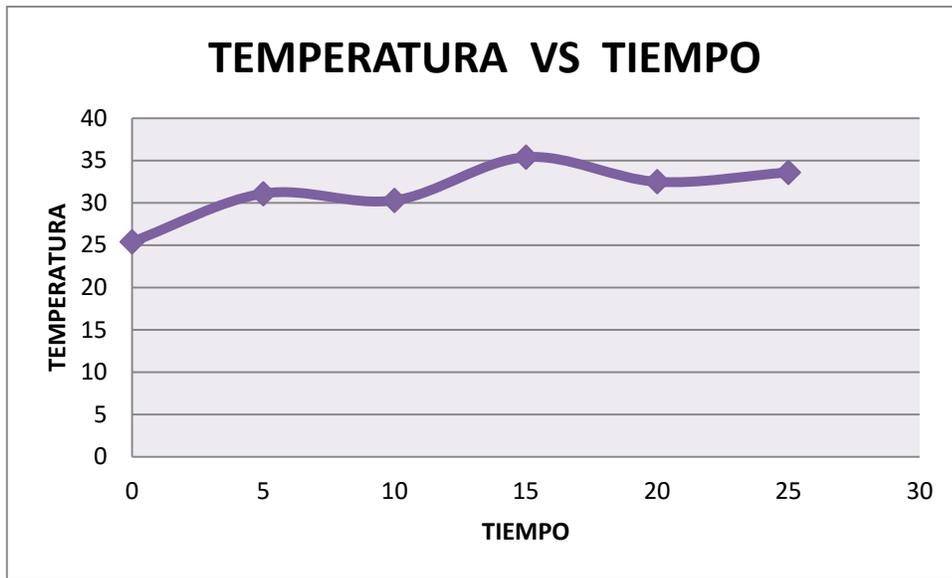
VELOCIDAD VS TIEMPO

| TIEMPO (seg) | VELOCIDAD (m/s) |
|--------------|-----------------|
| 0 | 0,45 |
| 5 | 0,36 |
| 10 | 0,41 |
| 15 | 0,32 |
| 20 | 0,23 |
| 25 | 0,16 |



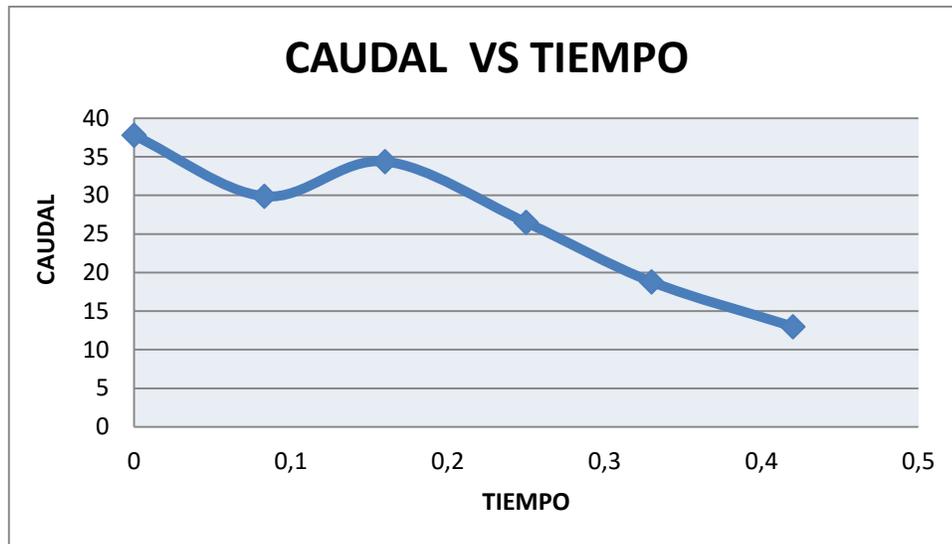
TEMPERATURA (en el equipo) VS TIEMPO

| TIEMPO (seg) | TEMPERATURA (°C) |
|--------------|------------------|
| 0 | 25,4 |
| 5 | 31,1 |
| 10 | 30,3 |
| 15 | 35,4 |
| 20 | 32,5 |
| 25 | 33,6 |



CAUDAL VS TIEMPO

| TIEMPO (h) | CAUDAL (m3/h) |
|------------|---------------|
| 0 | 37,8 |
| 0,083 | 29,9 |
| 0,16 | 34,4 |
| 0,25 | 26,5 |
| 0,33 | 18,8 |
| 0,42 | 13 |



6.- CONCLUSIONES:

- Se determinó que el tiempo en que se demora en secar 1661,4 gramos de haba en el secador rotativo piloto de cereales es de 25 minutos.
- El porcentaje de humedad inicial de las habas fue de 87,8% y su porcentaje final fue de 69,3 %, por debajo del porcentaje del ambiente que fue de 73,0%.
- El peso del producto inicialmente con humedad fue de 1661,4 gramos, luego de su secado fue de 1550,2 gramos teniendo una pérdida de peso de 111,2 gramos. Se tuvo un desperdicio de habas por el equipo de 0 gramos.
- Se realizó las diferentes gráficas como por ejemplo del Peso Vs el Tiempo en la que se observa como el peso del producto va disminuyendo conforme el tiempo aumenta.
- En la gráfica de las Temperaturas del producto Vs el Tiempo, la Velocidad en el equipo Vs el Tiempo y el Caudal Vs el Tiempo no son constantes sino que aumentan y disminuyen en el tiempo.

3.2 DISCUSIÓN

Se realizó la selección de los equipos, maquinarias, herramientas y variables que se emplearon para la construcción del Secador Rotativo Piloto de Cereales estos se encuentran descritas en el **Capítulo II sección 2.4** Operacionalización de Variables en la cual se describe las variables; en la **sección 2.5.1.1** Selección de los Materiales se describe los materiales o equipos que son parte del secador; en la **sección 2.5.2** en la **Tabla 1**, se describe la maquinaria usada en la construcción y en esta misma sección se encuentran los instrumentos utilizados.

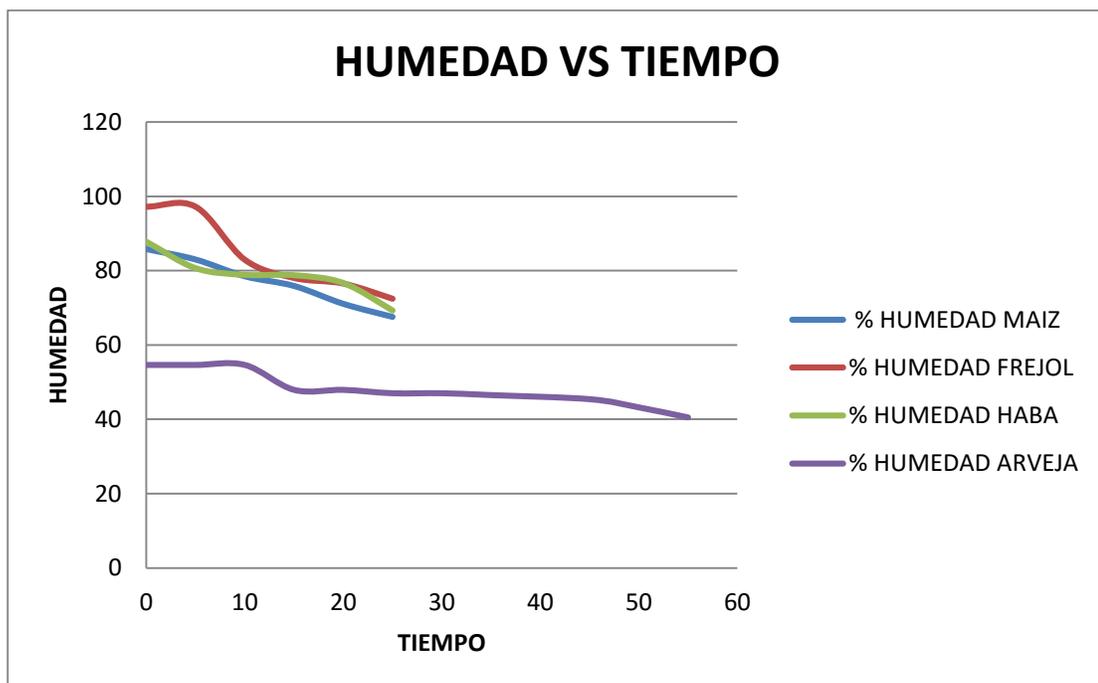
En el **Anexo N° 3** del proyecto de investigación se efectuó el respectivo análisis de costos, en el cual se describe el presupuesto total utilizado en la construcción del equipo y la relación costo beneficio.

Se elaboró el manual de mantenimiento que se encuentra en el **Anexo N° 5** y el manual de procedimiento que se muestra en el **Anexo N° 4** del Secador Rotativo Piloto de Cereales.

Además, se elaboró la guía de prácticas de laboratorio para que los estudiantes se puedan desenvolver durante las mismas, entre las prácticas que se efectuaron son maíz, arveja, habas y frejol con sus respectivas curvas, así se puede observar en el **Capítulo III** , por ejemplo tenemos la siguiente gráfica con su respectivo gráfico de la Humedad Vs el Tiempo.

| TIEMPO | % HUMEDAD MAIZ | % HUMEDAD FREJOL | % HUMEDAD HABA | % HUMEDAD ARVEJA |
|--------|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|
|--------|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|

| | | | | |
|----|------|------|------|------|
| 0 | 85,8 | 97,2 | 87,8 | 54,6 |
| 5 | 83 | 97,2 | 80,7 | 54,6 |
| 10 | 78,5 | 82,9 | 78,9 | 54,6 |
| 15 | 75,9 | 78 | 78,8 | 47,9 |
| 20 | 71,1 | 76,5 | 76,7 | 47,9 |
| 25 | 67,6 | 72,4 | 69,3 | 47 |
| 30 | | | | 47 |
| 35 | | | | 46,5 |
| 45 | | | | 45,4 |
| 50 | | | | 43,2 |
| 55 | | | | 40,5 |



CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Se realizó la construcción de un Secador Rotativo Piloto de Cereales para el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería, por lo cual se indica las variables que intervienen, las cuales son la humedad de los cereales que se mide en porcentaje (%); la temperatura la cual se mide en (°C), Caudal del aire este se mide en m³/min, el tiempo de secado en segundos (seg.), la carga y descarga en (kg).
- Se seleccionó los materiales, equipos y herramientas para la construcción del Secador Rotativo Piloto de Cereales, por ejemplo entre las herramientas de medida utilizadas para la construcción son el tacómetro, calibrador, flexómetro, calibrador de roscas, goniómetro; las maquinas usadas son tronadora, taladro pedestal, roladora, esmeril, cizalla, sierra vaivén, amoladora, compresor, taladro de mano, soldadora, torno; los materiales que se encuentran en el equipo están descritos con su respectiva descripción y costos en el **Anexo N° 3**; cabe recalcar que se uso acero inoxidable.
- Se efectuó un análisis financiero, es decir la relación costo/beneficio, se consultó que en el mercado el equipo esta ofertando en 12450 dólares, por lo que el beneficio es que el costo total del equipo se reduce a un 25,42% de su costo en el mercado por lo tanto la Universidad ha ahorrado 9286 dólares con el desarrollo de este proyecto de investigación.
- Se realizó una guía de prácticas que son: cuatro prácticas ejecutadas, las cuales son: el secado de maíz, arveja, frejol, habas, se efectuó las respectivas curvas de secado y los resultados de las mismas.

- Se elaboró el manual de mantenimiento y de funcionamiento del Secador Rotativo Piloto de Cereales para la correcta utilización del equipo.
- En las prácticas de laboratorio realizadas, se obtuvo que con 1661,4 gramos de habas se demora 25 min. de secado, con el porcentaje de humedad inicial de 87,8%; en 1502,2 gramos de frejol el secado es en 25 min., con el porcentaje de humedad inicial de 97,2%; en 2000 gramos de maíz se demora 25 min, con un porcentaje de humedad de 85,8%; en 1857 gramos de arveja, se demora 55 min. , con un porcentaje de humedad de 54,6%, por lo tanto concluimos que el tiempo de secado en la arveja es mayor que en los otros productos por las condiciones ambientales.

4.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda la utilización del Secador Rotativo Piloto durante el periodo académico, para que los estudiantes de las Escuelas de Ingeniería Industrial, Ambiental y Agroindustrial adquieran destrezas a nivel práctico.
- Es recomendable seguir el manual de procedimiento, para el encendido y apagado del equipo con lo cual se evitará alguna avería del mismo.
- Se recomienda también tener en consideración el manual de mantenimiento del equipo, para alargar su vida útil.
- Es aconsejable una inspección continua de los equipos, con el fin de verificar el correcto funcionamiento de los mismos y evitar daños.
- Se recomienda que los docentes realicen otras prácticas, con otros cereales.
- Para mejorar el tiempo de secado, se puede aumentar la temperatura del secador, lo cual daría como resultado menor tiempo en el secado de los productos, cabe recalcar que la temperatura adecuada para secar los cereales es de 37°C.

CAPÍTULO V

5. PROPUESTA

5.1 TÍTULO DE LA PROPUESTA

AUTOMATIZACIÓN DEL SECADOR ROTATIVO PILOTO DE CEREALES

5.2 INTRODUCCIÓN

Hoy en día, los avances tecnológicos en las redes de comunicación avanzan a una velocidad vertiginosa, lo que permite mejorar el procesamiento de datos en un equipo mecánico, utilizando nuevos software o dispositivos que permiten el acceso de datos de manera automática durante el proceso de secado.

La amplia disponibilidad y la capacidad de estas nuevas facilidades de comunicación, combinadas con el desarrollo de las tecnologías y la generalización de componentes de uso como para la adquisición de datos y el control de procesos industriales, permiten incorporar estos recursos a procesos de enseñanza-aprendizaje en docencia universitaria.

En este contexto, la presente investigación propone la automatización del secador rotativo piloto de cereales, aumentando a dicho equipo un dispositivo automático para la realización de estudios de secado, capaz de registrar datos de las variables asociadas al proceso de deshidratación, evolución de la humedad, temperaturas de bulbo seco y húmedo, velocidad del aire, entre otros.

5.3 OBJETIVOS

5.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Automatizar el Secador Rotativo Piloto de Cereales.

5.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Programar una interfaz visual y amigable, para que el usuario pueda obtener del software la captura, procesamiento y traducción de datos.
- Realizar prácticas de laboratorio, con diferentes cereales, para efectuar la comparación de los datos obtenidos.
- Transmitir la información y monitoreo de las prácticas de laboratorio realizadas en el equipo, por medio del software hacia puntos remotos del Internet.

5.4 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA-TÉCNICA

La automatización del Secador Rotativo Piloto de Cereales, propone la implementación de instrumentación automática para el procesamiento de datos en las prácticas de laboratorio. Así se tiene los siguientes instrumentos a incorporar:

- Anemómetro.
- Balanza Digital.
- Sensores de Temperatura.
- Cámara Digital.
- Una Computadora.
- Software Labview.

Con la ejecución de la propuesta, el equipo tendrá las funciones de capturar, procesar y traducir los datos en información en tiempo real como la humedad del producto en base seca, temperatura de bulbo húmedo, temperatura de bulbo seco, humedad relativa y la velocidad de secado, con sus respectivas curvas gráficas.

5.5 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

El Secador Rotativo Piloto de Cereales, su función principal es la deshidratación de los cereales, por lo cual se plantea la automatización, considerando prescindir de

toda intervención manual del operador, de modo de eliminar errores por manipulación en la toma de datos durante las prácticas.

Para ello se consideraron los requisitos básicos:

- Registro automatizado de datos del proceso de secado.
- Interfaz visual y amistosa de comunicación con el usuario, compatible con procesos de docencia e investigación
- Posibilidad de transmisión de información y monitoreo hacia puntos remotos del Internet.

A tal efecto, se considerará en el diseño la incorporación de instrumental automático para la captura y procesamiento de los datos obtenidos en las prácticas. Esto implicará el siguiente equipamiento: Anemómetro LCA-30, de 0,25 – 30 m/s (TSI, Inc.) y Balanza Mod. PB-1502-L, de 1510g x 0,01 g (Precisión Hispana), ambos con interfaz de comunicación RS-232. Se incluyen dos sensores de temperatura PT-100 clase B DIN 43760 / IEC 751, una Cámara Digital VideoCam Express II (Genius, Inc.). La información generada por este instrumental es recopilada para su procesamiento en un Computador Personal genérico (Pentium 4).

Adicionalmente se debe incorporar un sistema de registro de imágenes, mediante la cámara digital incluida en el equipamiento, de tal modo poder transmitir en directo los experimentos que se realicen, junto a la totalidad de información generada, hacia un terminal remoto (otro Computador Personal) vía Internet. En forma complementaria dicha información podría ser utilizada para realizar procesamiento de imagen con la finalidad de estudiar fenómenos asociados a la deshidratación, como el cambio de color y volumen-forma.

La totalidad de los datos capturados durante el proceso experimental serán procesados mediante un Circuito de Control basado en un Microcontrolador PIC18F452, el cual

será complementado con un software de interfaz gráfica, programado en lenguaje de alto nivel, Labview. Esta aplicación tiene la función de capturar, procesar y traducir los datos en información en tiempo real (humedad del producto en base seca, temperatura de bulbo húmedo, temperatura de bulbo seco, humedad relativa y la velocidad de secado). Todos los datos visualizados en la interfaz gráfica serán almacenados en una detallada base de datos Excel para su posterior análisis.

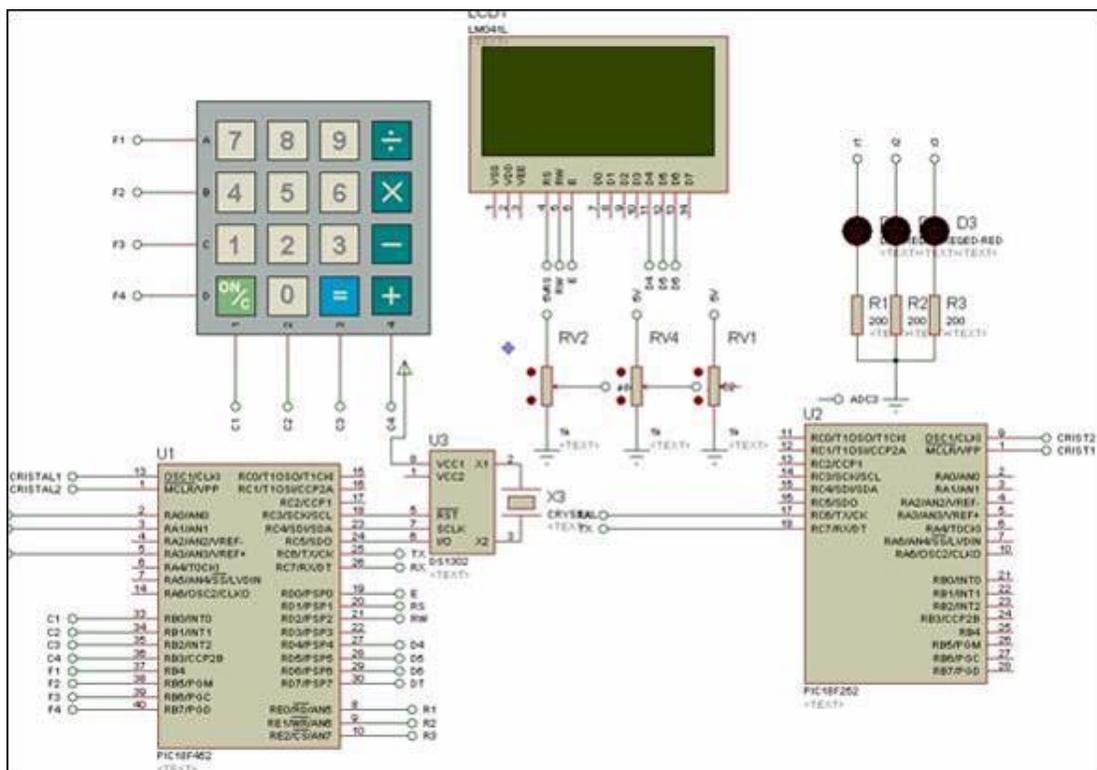


Gráfico 24: Diagrama simplificado del Circuito del Sistema de Control.

La interfaz de comunicación visual, se puede operar tanto a nivel local como remoto en un PC que tenga acceso a Internet alámbrico o inalámbrico. Esta interfaz entrega la siguiente información: ventana de visualización de video (1), control de captura de imagen (2), nombre del archivo de imagen (formato JPG) (3), gráfico en tiempo real de los datos de humedad versus tiempo (4), temperaturas de bulbo húmedo y seco (5),

velocidad del aire de secado (6), velocidad de secado calculada a partir de la derivada del gráfico de humedad versus tiempo (7).

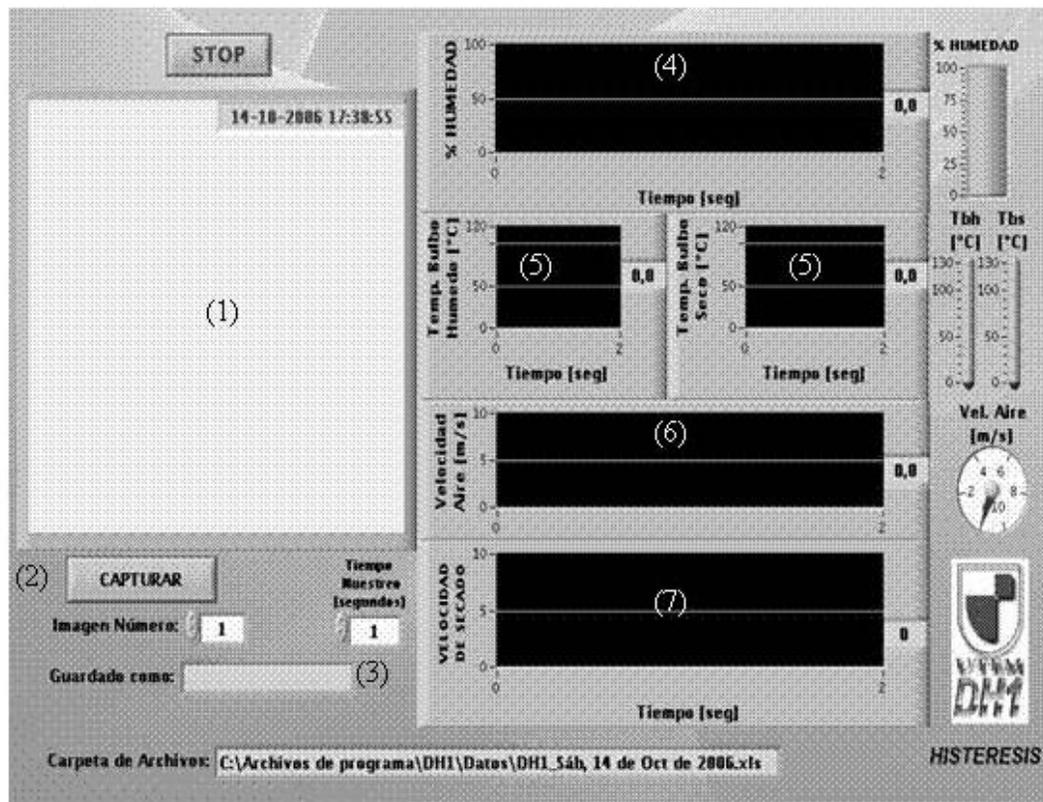


Gráfico 25: Interfaz de comunicación con el usuario

5.6 MONITOREO Y EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA

El desarrollo de este prototipo permitirá realizar experiencias de secado a distintas temperaturas de manera automática, prescindiendo de manipulación humana tanto de la muestra del cereal, como de las variables de proceso.

Esto facilitará el manejo y registro de los datos, dando como resultado un proceso más flexible y preciso.

La interfaz visual desarrollada y disponible para múltiples usuarios en línea, facilitará el proceso de enseñanza-aprendizaje por parte de los estudiantes de Ingeniería.

Finalmente se puede evaluar que la propuesta de automatización es viable y válida por la exactitud de los datos obtenidos y mejora en la realización de las prácticas.

BIBLIOGRAFÍA:

- GEANKOPLIS, Christie J., Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias, 3ª Edición, CECSA Compañía Editorial Continental S.A., 2003, México
- PERRY R. AND GREEN D., Chemical Engineers Handbook, 6ta. Edición. McGraw-Hill, 1984, New York.

INTERNET:

- http://www.sanutricion.org.ar/cereales_legumbres.pdf
- <http://www.scribd.com/doc/17102539/Bioquimica-de-Granos-y-Cereales>
- http://es.wikipedia.org/wiki/Zea_mays
- http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642008000400002&script=sci_arttext
- http://es.wikipedia.org/wiki/Lens_culinaris
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Arroz>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Triticum>
- http://es.wikipedia.org/wiki/Hordeum_vulgare
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Chocho>
- http://es.wikipedia.org/wiki/Pisum_sativum
- http://es.wikipedia.org/wiki/Vicia_faba
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Ejote>
- <http://www.scribd.com/doc/27036363/SECADO-I-Definicion-La-Operacion-de-Secado>
- <http://www.virtual.unal.edu.com>
- http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/sanchez_h_a/capitulo6.pdf

- <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/200/1/56T00172.pdf>
- <http://depa.fquim.unam.mx/albertotecante/Secado.pdf>
- <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/247/1/96T00114.pdf>
- <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/252/1/96T00119.pdf>
- <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2175/1/CD-2924.pdf>
- <http://techwordsac.com/educapalimentos/articulos/TECNICAS%20DE%20SECADO%20-%20ITDG.pdf>
- http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/martinez_c_j/capitulo5.pdf
- http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leip/ortiz_a_bs/capitulo2.pdf
- http://azul.bnct.ipn.mx/Libros/vision_alimentos/Tomol/I-17.pdf
- <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/485/48510304.pdf>
- http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0704_Q.pdf
- http://api.ning.com/files/yO6HvHfv9PLAdnAlm-jfDLZr0ibh6n510*0buu4COdkBS3v1noleHy-CVg*Z5brGrclr1c-Jm8iKge-3lwZgldJONxtmgn6W/Secadodegranosyseccadoras.pdf
- http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/9872.pdf
- <http://www.uo.edu.cu/ojs/index.php/tq/article/viewFile/1822/1369>
- <http://cbi.izt.uam.mx/iq/Laboratorio%20de%20Operaciones%20Unitarias/Practicas%20Laboratorios/PRACTICA6.pdf>