

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

**DISEÑO DE LECHO FLUIDO PARA SECADO DE SOLIDOS GRANULADOS EN
EL SECTOR FARMACEUTICO**

Edwin Arley González Yepes

Juan Camilo Ruiz Turizo

Juan Esteban Villa Gil

Ingeniería Electromecánica

Adrián Felipe Martínez

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

Enero 26 de 2018

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

RESUMEN

El objetivo de este proyecto es diseñar un sistema de secado para productos granulados por medio de lecho fluidizado, utilizado como materia prima del proceso de fabricación de comprimidos en la empresa Laboratorios Medick S.A.S., buscando disminuir el tiempo de proceso, el consumo de energía y mejorar las características del producto. Se realizó la investigación de campo de los productos naturales, fitoterapéuticos, alimenticios, veterinarios, cosméticos, esencias florales y suplementos dietarios, divididos en tres procesos: preparación de líquidos, pastosos y sólidos. En este momento la empresa está necesitando el lecho fluido para el secado del producto procesado en el área de sólidos, pues este se está realizando en estufas eléctricas. Requiriendo como mínimo 24 horas para el secado de 30Kg de producto. La temperatura para el proceso no puede superar los 70°C, porque puede ocasionar daños a las propiedades del producto, generado un proceso más lento y costoso. Con el lecho fluido se logró reducir estos tiempos de secado a 1h y 30min por cada 30 kg de producto. Se recopiló la información detallada de los equipos que se encuentran en la empresa, y se pudo comparar datos con las investigaciones realizadas dando como resultado que el secador más acorde es el lecho fluidizado, se estudiaron las variables más importantes, realizando los cálculos correspondientes a tamaño de partícula, velocidad de mínima fluidización, caudal del aire, transferencia de calor, cálculos de diseño mecánico con sus respectivos planos, entre otros.

Para este proyecto se contó con el apoyo económico de la Gerencia General ya que se mejora significativamente el rendimiento, productividad y calidad del producto.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

RECONOCIMIENTOS

Queremos dedicar este triunfo primero a Dios, por permitir que se hayan hecho realidad nuestras metas y aspiraciones.

A nuestra familia, por el ánimo y el apoyo incondicional en los momentos que más lo necesitamos.

A todas las personas que han colaborado desinteresadamente para hacer posible el desarrollo del proyecto.

Al profesor Adrián Felipe quien nos dirigió y asesoró en este proceso para cumplir

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

ACRÓNIMOS

GIT Grupo de investigación en integración de soluciones con tecnología de información y comunicación

MIRP Máquinas Inteligentes y Reconocimiento de Patrones

NWK Capa de la red de pila ZigBee

MDS Escalamiento multidimensional

A Área transversal del orificio (pies^2)

A_d Sección transversal del distribuidor (m^2)

A_p Superficie de contacto gas partícula (m^2)

C_{pg} Calor específico del gas

C Coeficiente de flujo para orificios

D_p Tamaño partícula semejante una esfera (m)

g aceleración de gravedad ($32.2 \frac{\text{pies}}{\text{s}^2}$)

h_{gp} Coeficiente de transferencia de calor por convección ($\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$)

H altura de la partícula

k_g Conductividad térmica del gas

m_s Tasa de producción de material ($\frac{\text{Kg}}{\text{s} \cdot \text{m}^2}$)

m_h Masa de producto a un cierto contenido de humedad final (Kg)

N Numero de orificios

Nu Número de nusselt

P_p Peso partícula (g)

P_r Número de prandtl

P_{tp} Peso total partículas

q Razón de flujo atreves del orificio ($\frac{\text{pies}^3}{\text{s}}$)

Q̇ Calor transferido

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

- R_{emf}** Número de Reynolds (adimensional)
- r** Radio de la partícula
- T_g** Temperatura del gas (°C)
- T_s** Tiempo de secado (min)
- U_{mf}** Velocidad mínima de fluidización (m/s)
- V_{ep}** Volumen de la esfera partícula (m³)
- V_{cp}** Volumen del cilindro partícula (m³)
- Ṽ** Caudal del aire
- X** Radio equivalente al volumen del cilindro (m)
- Y** Factor experimental de expansión (adimensional)

LETRAS GRIEGAS

- Δp** Caída de presión atreves del orificio (psi)
- ρ_g** Densidad del gas (kg/m³)
- μ_g** Viscosidad del gas (kg *s/m)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

TABLA DE CONTENIDO

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	9
EL PROBLEMA	11
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA	12
2. JUSTIFICACION	13
3. OBJETIVOS	14
3.1 General	14
3.2 Específicos	14
4. MARCO TEÓRICO	15
4.1 SECADO	15
4.2 MÉTODOS DE SECADO	16
4.2.1 Convección	16
4.2.2 Conducción	16
4.2.3 Radiación	16
4.3 Clasificación de secadores.	18
4.3.1 Secadores directos	18
4.3.2 Los secadores indirectos	19
4.4 TIPOS DE SECADORES	20
4.4.1 Secadores de lecho por convección	20
4.4.2 Secadores de lecho por conducción	21
4.4.3 Secadores de lecho por radiación	21
4.5 SISTEMA DE LECHO DE FLUIDIZACION.	22
5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	27
5.1 Proceso para la fabricación de comprimidos en laboratorios Medick	27
5.2 Preparación de la solución aglutinante:	27

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

5.2.1 Equipos necesarios para la preparación de la solución aglutinada	27
5.2.2 Procedimiento para la preparación de la solución aglutinante	29
5.3 Proceso de mezclado:	30
5.3.1 Equipos necesarios para el mezclado:	31
5.3.2 Procedimiento de mezclado	32
5.4 Proceso de granulación	32
5.4.1 Equipo necesario para la granulación:	33
5.4.2 Procedimiento de granulado:	34
5.5 Proceso de secado:	34
5.5.1 Equipos necesarios para el secado:	34
5.6 Procedimiento análisis de humedad	37
5.6.1 Procedimiento:	38
5.7 Proceso de tableteado	40
5.7.1 Tableteadora:	40
5.7.2 Procedimiento de tableteado:	41
6. METODOLOGIA	42
6.1. Evaluación del sistema actual.	42
Resultados iniciales del analizador de humedad antes del producto entrar a la estufa de secado.	44
6.2. Selección del sistema propuesto	45
6.2.1 Tipo de material:	45
6.2.2 Capacidad del secador:	46
6.3 Cálculos de diseño:	46
6.3.1. Calculo del diámetro equivalente de la partícula:	46
6.3.2. Tasa de producción masa seca	47
6.3.3. Velocidad de mínima fluidización	48
6.3.4. Caudal de aire	51
6.3.5. Calculo del distribuidor de aire	51
6.3.6. Transferencia de calor	54
6.4 Planos de fabricación	57
6.4.1. Figura cabina secado y ductos lecho fluido (m)	58

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

6.4.2. Figura placa distribidora de aire (cm)	59
6.4.3 Figura de ventilador inoxidable (mm)	59
6.5 COSTOS DE FABRICACION	60
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	63
8. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	70
9. REFERENCIAS	71
10. APÉNDICE	¡Error! Marcador no definido.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

1. INTRODUCCIÓN

La elaboración de comprimidos representa para la empresa Laboratorios Medick S.A.S. una de sus principales líneas de producción. En el proceso de elaboración se ha encontrado que el secado del producto granulado representa un alto costo, debido al consumo de energía asociado a la estufa utilizada para la elaboración del secado y al tiempo de permanencia del producto en este equipo, lo cual genera un cuello de botella para el resto del proceso deteniendo el proceso de comprimido y aumentado los tiempos de producción.

El proceso de secado del material granulado es crítico en la elaboración de los comprimidos, debido a que determina el contenido de humedad en la materia prima, factor determinante en la compactación del producto. Actualmente el proceso es llevado a cabo en estufas eléctricas con recirculación de aire caliente mediante ventiladores centrífugos.

La propuesta de un sistema de secado por medio de lecho fluido busca disminuir los costos y el tiempo del proceso, además de mejorar la calidad de la materia prima. El alto costo en el consumo de energía y tiempo empleado que se presenta actualmente en el proceso de secado para producto granulado por medio de estufas eléctricas en la empresa Laboratorios Medick S.A.S. permite pensar en proponer el diseño de un sistema de secado para sustituir el proceso actual, y disminuir los costos asociados a este proceso. Por lo tanto, se considera la posibilidad de evaluar el diseño de un lecho fluido como propuesta para sustituir el proceso de estufas y poder lograr el secado en un tiempo aproximado de 1h y 30min por cada 30 kg, con esto se pretende eliminar el cuello de botella que se tiene en este momento, ya que el proceso que lo antecede el de granulado tiene un rendimiento de 15Kg/hora. Además, se espera que el lecho fluido permita la preservación de las propiedades funcionales del producto, logrando un secado controlado, cuidadoso y homogéneo.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Con el diseño de este proyecto se beneficiará en forma directa los departamentos de calidad y producción debido al incremento de los volúmenes de producción de alta calidad disponibles.

Por esta razón es muy importante para la empresa Laboratorios Medick S.A.S que el diseño propuesto del secador de lecho fluido mejore la productividad para la obtención de los sólidos secos, manteniendo las características técnicas del producto.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

EL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente el secado del producto granulado de la empresa Laboratorios Medick S.A.S presenta un alto consumo de energía y tiempo, es decir, para procesar alrededor de 30kg de producto, se requiere de 24h con las estufas eléctrica a una temperatura de 70°C. Esto se debe a que en el secado en estufas eléctricas la homogeneidad de la temperatura transferida al producto no es la misma en todos los sectores, lo que hace que el secado sea por fases.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA

En la empresa laboratorios Medick existe un problema en el costo y tiempo asociado al proceso de secado, por lo cual el lecho fluido es una muy buena opción para corregir este problema, debido a que en este las partículas se suspenden en el aire permitiendo el paso de un gas entre los gránulos, secando directamente cada uno y así garantizar un secado homogéneo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

2. JUSTIFICACION

El alto costo en el consumo de energía y tiempo empleado que se presenta actualmente en el proceso de secado para producto granulado, por medio de estufas eléctricas en la empresa Laboratorios Medick S.A.S. permite pensar en el diseño de un sistema de secado que consiste en sustituir el proceso actual, para disminuir los costos asociados a este proceso. Por lo tanto, se considera la posibilidad de evaluar el diseño de un lecho fluido como propuesta para sustituir el proceso de estufas y poder lograr el secado en un tiempo menor.

Además, se espera que el lecho fluido permita la preservación de la propiedades funcionales del producto, logrando finalmente un secado controlado, cuidadoso y homogéneo.

Con el diseño de este proyecto se beneficiará en forma directa los departamentos de calidad y producción debido al incremento de los volúmenes de producción de alta calidad disponibles.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

3. OBJETIVOS

3.1 General

Diseñar un lecho fluido para la empresa Laboratorios Medick S.A.S que permita reducir el tiempo de secado del material granulado, manteniendo la concentración de las vitaminas agregadas al producto en el proceso de granulación.

3.2 Específicos

- ✓ Consultar información teórica y referencias industriales funcionales sobre lechos fluidos y procesos térmicos de secado.
- ✓ Recolectar datos técnicos del proceso que permitan identificar las variables involucradas y su relación en el proceso de secado.
- ✓ Seleccionar el lecho fluido más adecuado para el proceso evaluado, realizar cálculos y planos de fabricación necesarios.
- ✓ Elaborar un presupuesto de materiales, equipos y adecuaciones necesarios para el montaje del sistema de secado diseñado propuesto.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

4. MARCO TEÓRICO

4.1 SECADO

El secado es un proceso en el que se intercambian calor y masa. Incluye una operación energética elemental y representa una de las acciones térmicas básicas en la industria de procesos y agroalimentaria. El secado o deshidratación se usa como técnica de preservación, pues muchas enzimas y microorganismos que causan cambios químicos en los alimentos y otros materiales no pueden crecer y desarrollarse en ausencia de agua.

Las razones para realizar el secado de un material son tan amplias como la variedad de materiales que necesitan o pueden ser secados, por ejemplo, algunos polvos necesitan perder humedad antes de ser comprimidos, este asunto es de importancia en la industria farmacéutica, siendo el secado la remoción de sustancias volátiles (que se llaman humedad) de una mezcla que se encuentra en un producto sólido mediante la aplicación de calor.

Las razones para su empleo son de diversos tipos:

- Facilitar la manipulación en etapas posteriores.
- Reducir gastos de transporte.
- Facilitar la conservación.
- Aumentar el valor del producto.
- Aprovechar subproductos.
- Reducir volumen y aumentar la capacidad de aparatos en otras etapas del proceso, etc.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

4.2 MÉTODOS DE SECADO

El secado de sólidos consiste en separar pequeñas cantidades de agua u otro líquido de un material sólido con el fin de reducir el contenido de líquido residual hasta un valor aceptablemente bajo.

En primer lugar, el calor se debe transferir al material mojado, para promover la operación de secado. El calor puede ser aplicado por uno o más de los siguientes métodos:

4.2.1 Convección, donde el medio calorífico, usualmente aire o productos de combustión, se encuentran en contacto directo con el material mojado.

4.2.2 Conducción, donde el calor es transmitido indirectamente por contacto del material mojado y una superficie caliente.

4.2.3 Radiación, donde el calor se transmite directamente y sólo de un cuerpo caliente al material mojado, por radiación de calor

En general, los distintos métodos para llevar a cabo la desecación de sólidos o líquidos pueden ser de tipo mecánico o fisicoquímico. Los más importantes son los siguientes:

a) Mecánicos:

- **Prensado:** Consiste en separar un líquido de un sistema sólido-líquido, por compresión del sistema en condiciones que permitan que el líquido escape mientras que el sólido quede retenido entre las superficies que lo comprimen.
- **Centrifugación:** Consiste en aplicar una fuerza centrífuga lo suficientemente elevada, de forma que el líquido se desplaza en dirección de la fuerza produciéndose la separación.

b) Fisicoquímicos:

- **Evaporación superficial:** Cuando el producto húmedo se somete a la acción de una corriente de aire caliente, el líquido se evapora aumentando la humedad del aire.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

- **Liofilización:** El líquido a eliminar, previamente congelado, se separa del producto que lo contiene mediante sublimación, por aportación de calor y vacío. Se aplica sobre todo a alimentos.
- **Absorción:** Este término se aplica a gases húmedos, de los que se elimina el vapor de la mezcla gaseosa solubilizándolo en un líquido, como por ejemplo la desecación de gases por tratamiento con ácido sulfúrico.
- **Adsorción:** Consiste en la separación de la humedad por retención sobre un sólido absorbente, como por ejemplo la desecación de aire con gel de sílice.
- **Congelación:** Separación de la humedad de un líquido por cristalización de la misma, que se separa en forma sólida.” (Terrizzano, 1979)

Existen varios tipos de operaciones de secado, que se diferencian entre sí por la metodología seguida en el procedimiento de secado; puede ser por eliminación de agua de una solución mediante el proceso de ebullición en ausencia de aire; también puede ser por eliminación de agua mediante adsorción de un sólido, y por reducción del contenido de líquido en un sólido, hasta un valor determinado mediante evaporación en presencia de un gas.

Los sólidos que se secan pueden tener formas diferentes -escamas, gránulos, cristales, polvo, tablas o láminas continuas- y poseer propiedades muy diferentes.

El producto que se seca puede soportar temperaturas elevadas o bien requiere un tratamiento suave a temperaturas bajas o moderadas. Esto da lugar a que en el mercado exista un gran número de tipos de secadores comerciales. Las diferencias residen fundamentalmente en la forma en que se mueven los sólidos a través de la zona de secado y en la forma en la que se transmite calor.

4.3 Clasificación de secadores.

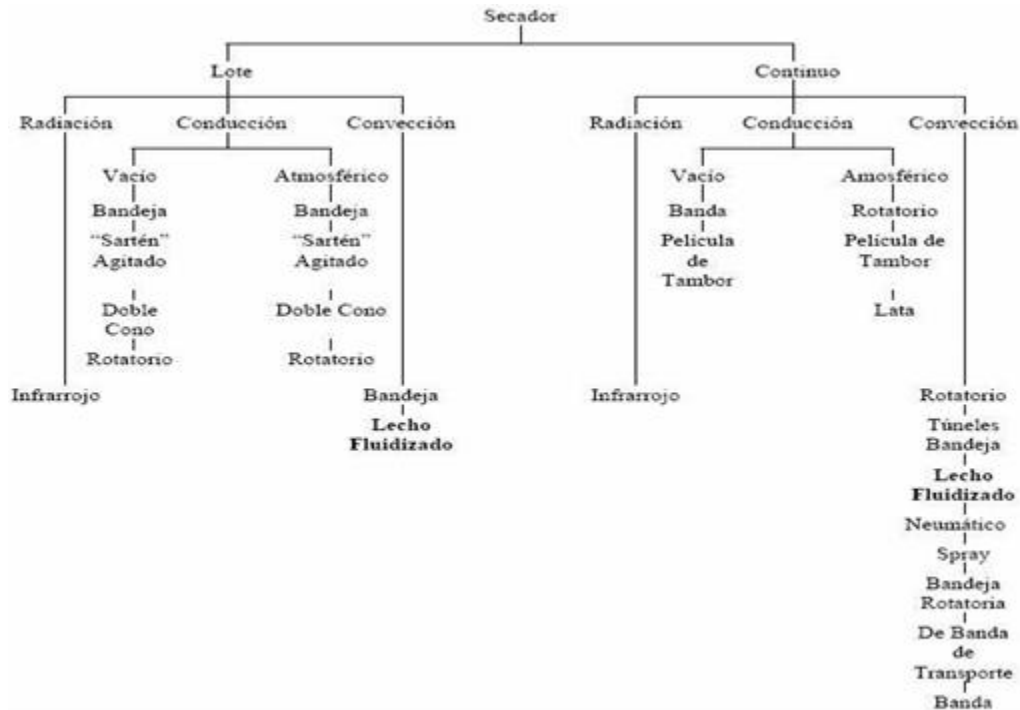


Figura 1. Clasificación de los secadores (Walas, 1988)

Hay varias formas de clasificar los equipos de desecación. Las dos clasificaciones más útiles se basan en:

4.3.1 Secadores directos

Las características generales de operación de los desecadores directos son:

- El contacto directo entre los gases calientes y los sólidos se aprovechan para calentar estos últimos y separar el vapor.
- La temperatura de desecación varía hasta 1000K, que es la temperatura limitante para casi todos los metales estructurales de uso común. A mayores temperaturas, la radiación se convierte a en un mecanismo de transmisión de calor de suma importancia.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

- A temperaturas de gases inferiores al punto de ebullición, el contenido de vapor de un gas influye en la velocidad de desecación y el contenido final de humedad de sólido. Con temperaturas de gas superiores al punto de ebullición en todos los puntos, el contenido de vapor del gas tiene solo un ligero efecto de retraso en la velocidad de desecación y el contenido final de humedad. Por lo tanto, los vapores súper calentados del líquido que se está separando pueden servir para desecar.
- Para desecación a temperaturas bajas y cuando las humedades atmosféricas son excesivamente elevadas, quizás sea necesario deshumidificar el aire de desecación.
- Un secador directo consume más combustible por libra de agua evaporada cuanto más bajo sea el contenido de humedad.
- La eficiencia mejora al aumentarse la temperatura del gas de entrada, para una temperatura de salida constante.

4.3.2 Los secadores indirectos

Difieren de los directos en la transmisión de calor y la separación de vapor:

- El calor de transferencia al material húmedo por conducción a través de una pared de retención de sólidos, casi siempre de índole metálica.

Las temperaturas de superficie pueden variar desde niveles inferiores al de congelación en el caso de secadores de congelación hasta mayores de 800K en el caso de secadores indirectos calentados por medios de productos de combustión.

- Los secadores indirectos son apropiados para desecar a presiones reducidas y en atmósferas inertes, para poder recuperar los disolventes y evitar la formación de mezclas explosivas o la oxidación de materiales que se descomponen con facilidad.
- Los secadores indirectos que utilizan fluidos de condensación por medio de calentamiento son en general económicos, desde el punto de vista del

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

consumo de calor, ya que suministran calor solo de acuerdo con la demanda hecha por el material que se está desecando.

- La recuperación de polvos y materiales finalmente pulverizados se manejan de un modo más satisfactorio en los secadores indirectos que en los directos.

4.4 TIPOS DE SECADORES

4.4.1 Secadores de lecho por convección

El material húmedo se coloca en bandejas poco profundas que descansan en un circuito con calefactor. No existen movimientos de la partícula, aunque puede moverse la masa total a desecar

	Características
Secadores en bandeja	<ul style="list-style-type: none"> • Bandejas con fondo liso, bandejas con fondo perforado, bandejas forradas papel, bandejas calentadas. • Formación de costras • Proceso lento 12 - 24 h • Secado no homogéneo • Producción discontinua (lotes)
Secadores de túnel	<ul style="list-style-type: none"> • Producción semicontinua • Regulación automática del secado de un producto por el control de la velocidad de los carros que lo desplazan a través del secadero. • Instalación de un sistema de medición de la humedad y temperatura del producto a la salida del secadero.
Secadores de bandas sin fin	

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Turbo secadores	<ul style="list-style-type: none"> • Bandejas circulares superpuestas caladas con bandejas circulares superpuestas caladas con movimientos rotatorios • Movimientos rotatorios brazos rascadores finos
------------------------	--

4.4.2 Secadores de lecho por conducción

En este proceso el sólido entra en contacto térmico con una superficie caliente y el grueso de la transferencia de calor se produce por conducción

	Características
Secado en horno de vacío	<ul style="list-style-type: none"> • La presión de funcionamiento puede llegar a ser de 0.03- 0.06 bares, presión a la que el agua hierve a 25 - 35 °C.

4.4.3 Secadores de lecho por radiación

Donde el calor se transmite directamente y sólo de un cuerpo caliente al material mojado, por radiación de calor

	Características
Secado por radiación microondas	<ul style="list-style-type: none"> • La penetración de la radiación es tan buena que el calor se genera uniformemente en el interior del sólido

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

4.5 SISTEMA DE LECHO DE FLUIDIZACION.

El secado por lecho fluidizado consiste generalmente en la eliminación de humedad de una sustancia por evaporación del agua de la superficie del producto, trasasándola al aire circundante. Esta técnica ha sido utilizada industrialmente desde 1948, y actualmente goza de una gran popularidad secando minerales, arena, polímeros, fertilizadores, farmacéuticos, materiales cristalinos y muchos otros productos industriales. La rapidez de este proceso depende del aire (la velocidad con la que éste circule alrededor del producto, su grado de sequedad, etc.), y de las características del producto (composición, contenido de humedad, tamaño de las partículas, etc.).

La fluidización convierte un lecho de partículas sólidas en una masa suspendida y expandida que posee muchas de las propiedades de un líquido. Esta masa tiene un ángulo de reposo igual a cero. Busca su propio nivel y adopta la forma del recipiente que la contiene. Los lechos fluidificados se utilizan en forma satisfactoria en varios procesos, tanto catalíticos como no catalíticos.

Generalmente, un lecho se fluidiza mediante un flujo de aire caliente lo que resulta en unas condiciones que son ideales para la aplicación. Existe un contacto íntimo entre el gas y el sólido a una velocidad que provoca coeficientes de transferencia de calor muy altos, con la combinación de la conducción y la convección. Así, se mezclan los sólidos de lo cual se obtiene un alto grado de uniformidad del secado. El lecho fluidizado se usa en una amplia gama de industrias debido a su posible gran capacidad, su costo bajo de construcción, fácil operación y alta eficiencia térmica. La única limitación es que el sólido pueda ser fluidizado por un gas.

Las principales razones de su popularidad son:

El eficiente contacto entre sólidos y gas hacen que las unidades sean compactas y de bajo costo, y tiene una alta eficiencia térmica.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

- El manejo de partículas es gentil, comparado a otros tipos de secadores, esto es importante con cristales frágiles.
- El que no existan muchas partes móviles, más allá de las necesarias para la alimentación y descarga de las partículas, mantiene la confianza y los bajos costos.
- La posibilidad de aplicar diversos tipos de energía (paneles calientes inmersos, radiadores, etc.)
- buen mezclado, uniformidad del material en el lecho.

La mayor limitante en la aplicación de los secadores de lechos fluidizados, es que el material que está siendo secado tiene que ser fluidizable. Algunos de los potenciales productos se encuentran muy mojados para fluidizar satisfactoriamente. Esto es usualmente debido a un excesivo contenido de humedad en la superficie de las partículas, causando aglomeración. Este problema puede solucionarse exponiendo la superficie húmeda en un secador neumático previo al secado en un lecho fluidizado. Otra limitante se encuentra si el producto tiene una distribución de tamaño muy amplia, de tal manera que la velocidad del fluido suficiente para fluidizar las partículas grandes represente pérdidas de pequeñas partículas del lecho. Para superar esta limitación se pueden usar lechos fluidizados vibratorios.

Las dimensiones del equipo de secado en un lecho fluidizado dependen de:

- Rendimiento de procesamiento del material seco
- Masa de la humedad removida
- Velocidad del gas
- Tiempo de residencia del material en el dispositivo

Para cada tipo de secador existen algunas variaciones en los parámetros llamados parámetros de rango de comportamiento del equipo.

Existen varios tipos de secadores de lecho fluidizado, que tienen diferentes funciones, y en donde se pueden secar de diferente manera, diferentes tipos de

partículas.

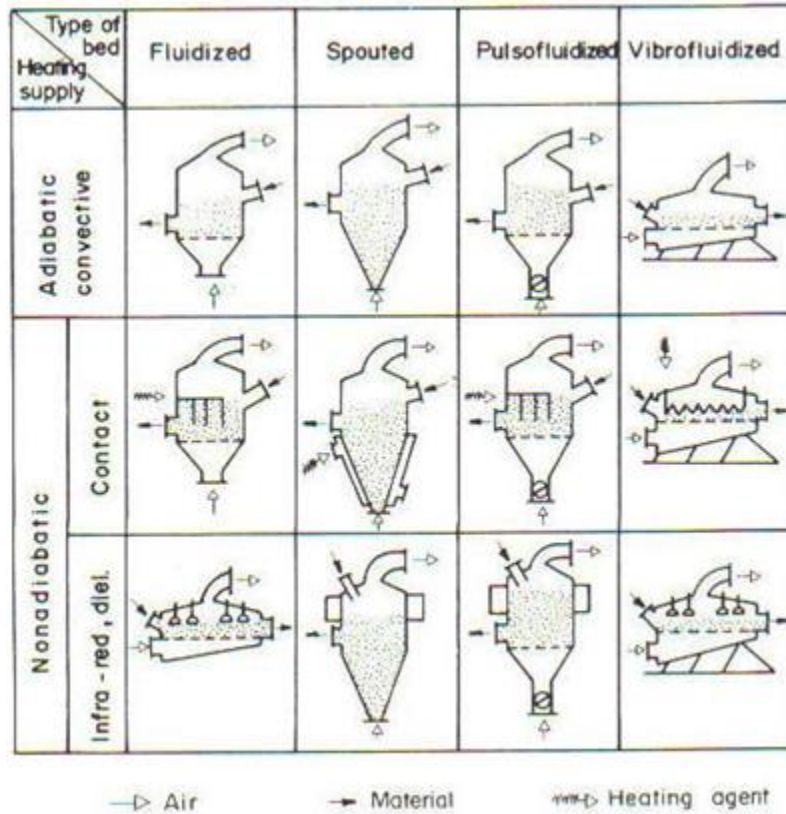


Figura 2. Métodos de suministro de calor en secadores con varios tipos de lecho fluido (proceso de secado, 2016)

Los secadores por lechos fluidizado son diversos y dependen del proceso al cual requieren ser aplicados estos son algunos ejemplos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

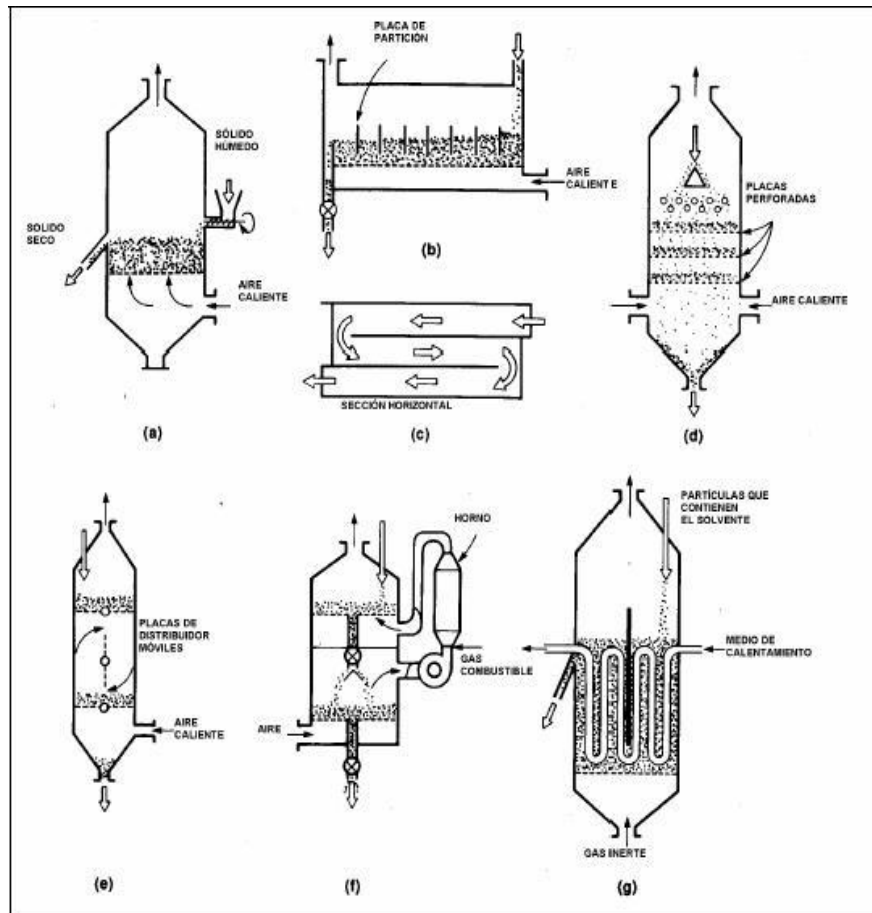


Figura 3. Tipo de secados en lecho fluido (Alejandro & Armando, 2016)

- a) Utilizado para materiales inorgánicos.
- b) y c) Utilizado cuando el tiempo de fluidizado por partícula es importante.
- d) Para obtener un contraflujo.
- e) Para sustancias (por ejemplo, fármacos) que requieren tiempos idénticos de Secado.
- f) Para materiales sensibles a temperaturas elevadas, la temperatura del aire es baja. Para evitar la reducción en la eficiencia térmica se recupera el calor de los sólidos secos.
- g) Para materiales muy húmedos. Operando a presiones elevadas y con vapor sobrecalentado se pueden obtener eficiencias térmicas mucho mayores que con secadores convencionales. Entre mayor sea el contenido de agua, más

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

eficiente el sistema.

El método de fluidización ha sido adoptado por las ventajas en el secado de sólidos granulares como granos, fertilizantes, químicos y minerales. Las condiciones de fluidización así como las propiedades de los granos tienen un alto impacto en la velocidad de secado: los materiales sin porosidad secan a tasa constante; los porosos, con tasa constante y luego decreciente.

No todos los materiales húmedos son fáciles de fluidizar. Debido al alto contenido de agua, unos tienden a aglomerarse y/o pegarse a superficies metálicas.

En estos casos deben hacerse modificaciones al secador para lograr el propósito, un ejemplo es el lecho vibro-fluidizado. Otro caso se presenta cuando el único propósito de la fluidización es el secado, para esto se necesitan lechos con muchas estaciones.

El tamaño de las partículas sólidas que se pueden fluidizar las describe Gerald en la siguiente gráfica.

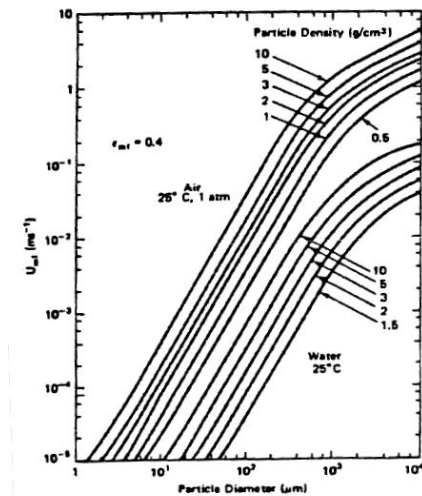


Figura 4. Velocidad mínima de fluidización vs diámetro de partícula (Edward, 1981)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Laboratorios Medick S.A.S. es una empresa dedicada a la fabricación de productos naturales, siendo su principal referente la producción de comprimidos.

En este proceso de comprimido es de relevante importancia el secado porque de este depende un buen tableteado y rendimiento del proceso.

A continuación se hará la descripción del proceso.

5.1 Proceso para la fabricación de comprimidos en laboratorios Medick

Para explicar cuáles son los procesos necesarios para la fabricación de comprimidos, se realizará el siguiente procedimiento

5.2 Preparación de la solución aglutinante:

Los aglutinantes son añadidos a las formulaciones de tabletas para darles cohesividad a los polvos, suministrando de este modo la suficiente coherencia para formar el granulado, el cual bajo forma compactada se transforma en una, masa aglutinada previa a ser tableta y obtener así un comprimido más resistente.

5.2.1 Equipos necesarios para la preparación de la solución aglutinada

5.2.1.1 Tanque de calentamiento

Se calienta el agua desionizada a una temperatura de 85°C con la cual luego se preparara la solución aglutinante para la preparación del producto, el tanque incluye una fuente de calor, la cual puede ser eléctrica o térmica permitiéndole al producto alcanzar las temperaturas requeridas en el proceso, por medio de una resistencia a 220vac la cual tiene una potencia de 4150W y una capacidad de 120litros, el tiempo que tarda en llegar a la temperatura deseada los 120Litros es de 3h. Se controla la temperatura por medio de un controlador BR6 con una temperatura máxima de 100°C y mínima de -40°C.

5.2.1.1.1 Características del tanque de calentamiento

CARACTERISTICAS DEL TANQUE DE CALENTAMIENTO			
VOLTAJE	AMPERAJE	VATIOS	T máx.
220 Vac	18.8 A	4150w	100°C

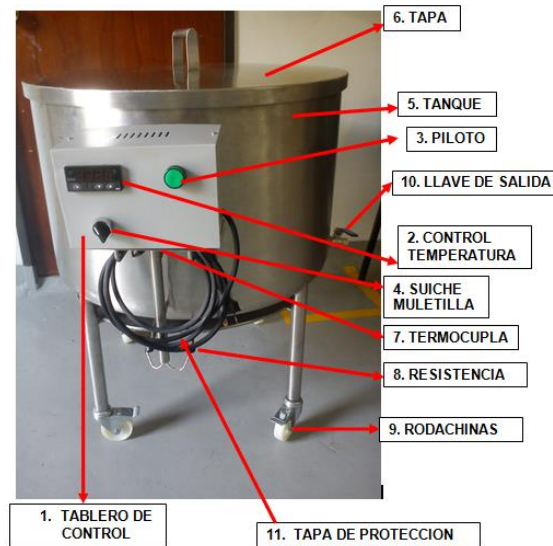


Figura 5. Tanque de Calentamiento (GONZALEZ YEPES, 2016)

5.2.1.2 Motor mezclador

Este es el encargado de mezclar la solución aglutinante por medio de una propela marina a una velocidad constante de 800rpm.

5.2.1.2.1 Características del motor de mezclado

CARACTERISTICAS DEL MOTOR DE MEZCLADO			
VOLTAJE	FASES	REVOLUCIONES	POTENCIA
220Vac	3	3400rpm	3hp

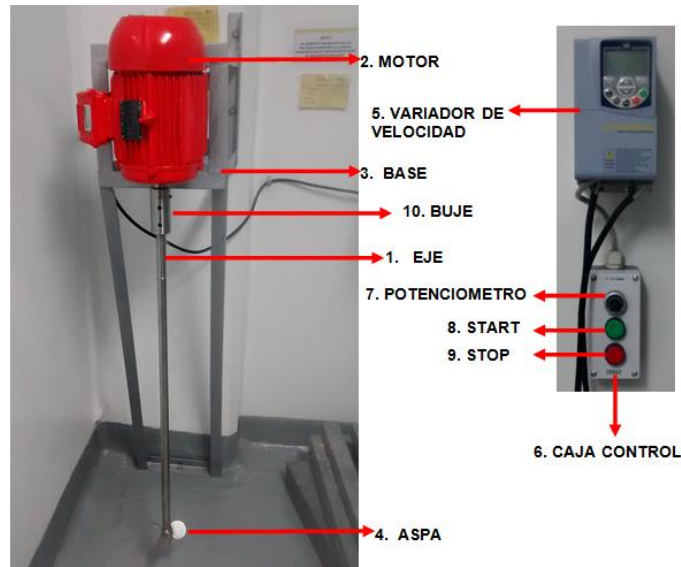


Figura 6. Motor Mezclador (GONZALEZ YEPES, 2016)

5.2.2 Procedimiento para la preparación de la solución aglutinante

- **Paso 1.** Llevar agua purificada a un recipiente, según fórmula química sugerida y disolver con los demás componentes hasta alcanzar las condiciones.
- **Paso 2.** Llevar agua purificada caliente a otro recipiente de mayor capacidad que el anterior y disolver la azúcar refinada completamente.
- **Paso 3.** Llevar el tanque de calentamiento de agua purificada y una vez que el agua haya hervido, de inmediato empezar a formar el engrudo adicionando la mezcla del almidón de maíz con agitación constante con el motor mezclador, dejar agitando por 10 minutos para homogenizar la mezcla.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

- **Paso 4.** Adicionar la solución del azúcar todavía caliente a la mezcla del almidón agitando con el motor, dejar homogenizar por 5 minutos. Finalmente se obtiene una mezcla viscosa y un poco traslucida.

5.3 Proceso de mezclado:

Este es un proceso farmacéutico cuyo objetivo principal es conseguir la máxima interposición entre dos o más componente y una mezcla lo más homogénea posible de los mismos. El Proceso consiste en una mezcla neutra pues los excipientes no se mezclan espontáneamente y tampoco tiende a separarse espontáneamente.

Los objetivos de la agitación pueden ser:

- Mezcla de dos líquidos miscibles (ej: alcohol y agua)
- Disolución de sólidos en líquido (ej: azúcar y agua)
- Mejorar la transferencia de calor (en calentamiento o enfriamiento)
- Dispersión de un gas en un líquido (oxígeno en caldo de fermentación)
- Dispersión de partículas finas en un líquido
- Dispersión de dos fases no miscibles (grasa en la leche)

5.3.1 Equipos necesarios para el mezclado:

5.3.1.1 Mezclador horizontal

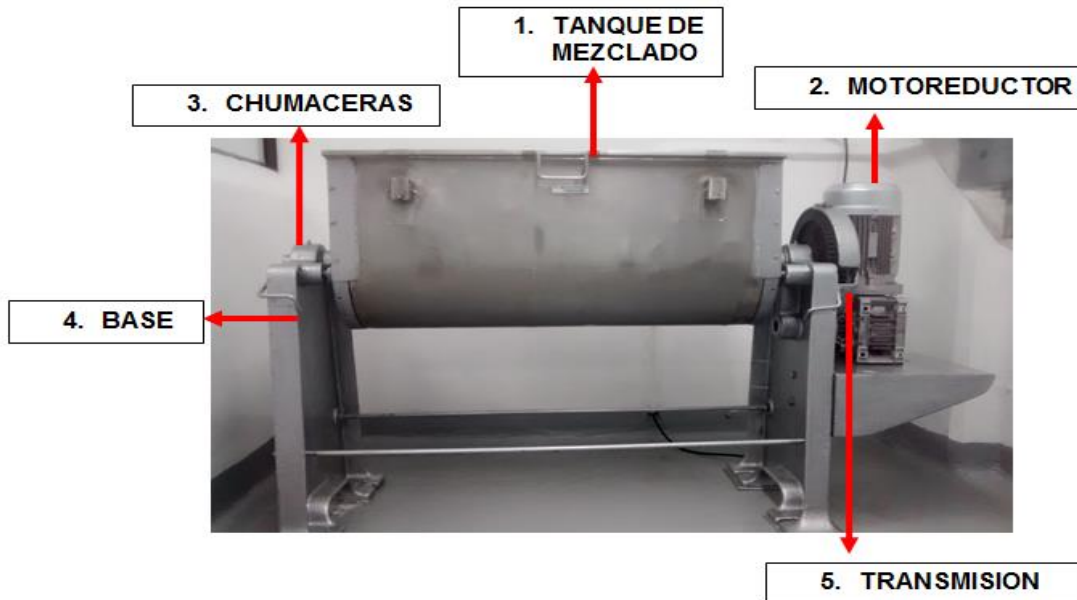


Figura 7. Mezclador Horizontal (GONZALEZ YEPES, 2016)

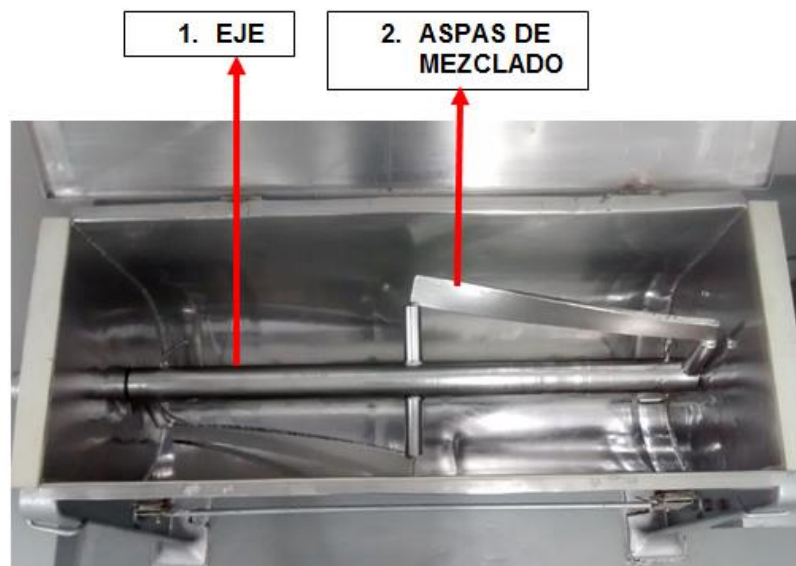


Figura 8. Mezclador Horizontal (GONZALEZ YEPES, 2016)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

5.3.1.2 Características del mezclador horizontal de polvos

Mezclador Horizontal de Polvos	
Potencia	5.5 Hp
Voltaje	220 V
Amperaje	15 Amp
Revolución	50rpm
Capacidad máxima	80kg

5.3.2 Procedimiento de mezclado

- **Paso 1.** Tamizar por malla # 10 la materia prima alcachofa y llevarla al mezclador horizontal y comenzar a operar el equipo. Humectar la alcachofa, adicionando la solución aglutinante con mezclado previamente hasta terminar la adición de la solución aglutinante
- **Paso 2.** Una vez finalizada la adición del aglutinante dejar mezclando por 20 minutos para obtener las características deseadas del granulado.

5.4 Proceso de granulación

La granulación es el proceso por el cual las partículas primarias de polvo se preparan para adherirse y formar partículas mayores con múltiples partículas que se conocen como gránulos, estos gránulos se elaboran como un producto intermedio para la elaboración de comprimidos normalmente para la industria farmacéutica los gránulos tienen un tamaño de 2mm a 5mm de diámetro.

5.4.1 Equipo necesario para la granulación:

5.4.1.1 Granuladora:

Es un equipo el cual transforma la materia prima en gránulos por medio de 2 martillos que forzan a pasar el producto por una malla con unas perforaciones de 4mm dándole así el tamaño al granulado.

5.4.1.2 Características de la granuladora

GRANULADORA	
Revoluciones	60rpm
Potencia	2hp
Voltaje	220v AC
Fases	3
Producción	40 kg/h



Figura 9. Granuladora (GONZALEZ YEPES, 2016)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

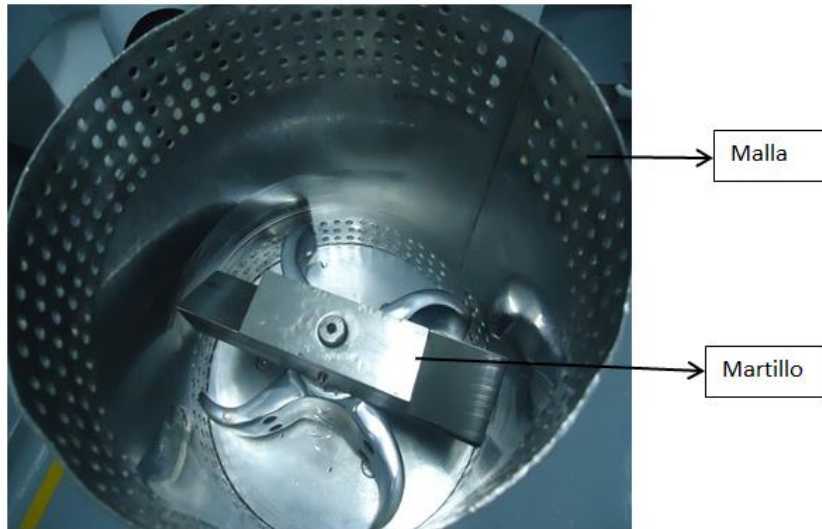


Figura 10. Granuladora (GONZALEZ YEPES, 2016)

5.4.2 Procedimiento de granulado:

Pasar la mezcla humectada previamente en el mezclador horizontal a través de la malla de la granuladora para obtener el granulo requerido recibir el producto en un recipiente plástico para luego ser trasladado al área de secado.

5.5 Proceso de secado:

Actualmente en la empresa laboratorios Medick S.A.S. el proceso de secado del producto granulado se realiza con una estufa eléctrica con inyección de aire

5.5.1 Equipos necesarios para el secado:

5.5.1.1 Estufa: esta se encarga de secar el producto a través de la transferencia de calor por convección forzada, el equipo utilizado actualmente cuenta con 5 resistencias de 1760w las cuales se encargan de generar el calor para el secado y además cuenta con un ventilador de 1hp el cual hace circular el aire caliente por todo el interior de la estufa permitiendo el intercambio de calor con el producto. Este equipo se encuentra calificado en su instalación, operación y desempeño ante el ente regulador (Invima) y calibrada según el informe de la OMG 32, 40 y 46. Los

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

cuales expresan que todos los equipos que se utilicen para la fabricación de productos farmacéuticos deben cumplir con las exigencias allí planteadas.

En la instalación del equipo se toman todos los datos primarios como lo son proveedores, característica técnica del equipo, fuentes de alimentación, materiales de fabricación, repuestos necesarios y se chequea que todo lo mencionado cumpla con sus especificaciones.

En la operación se enciende la estufa sin producto en su interior para verificar el buen funcionamiento de todas sus partes, además se calibra y chequea la temperatura y flujo de aire en cada una de las bandejas para garantizar que estén en las mismas condiciones y se pueda producir un secado homogéneo. Estas medidas son tomadas por una empresa externa especializada en metrología, certificada por la ONAC.

El desempeño se evalúa produciendo 3 lotes pilotos y realizando su secado en las estufas, en este se mide el tiempo de secado del producto, la temperatura en las diferentes bandejas y la humedad final de cada una de las bandejas, la cual no debe tener una diferencia mayor del 2% para garantizar que el proceso es homogéneo y así estandarizar sus parámetros. Estas medidas son tomadas por una empresa externa especializada en metrología, certificada por la ONAC.

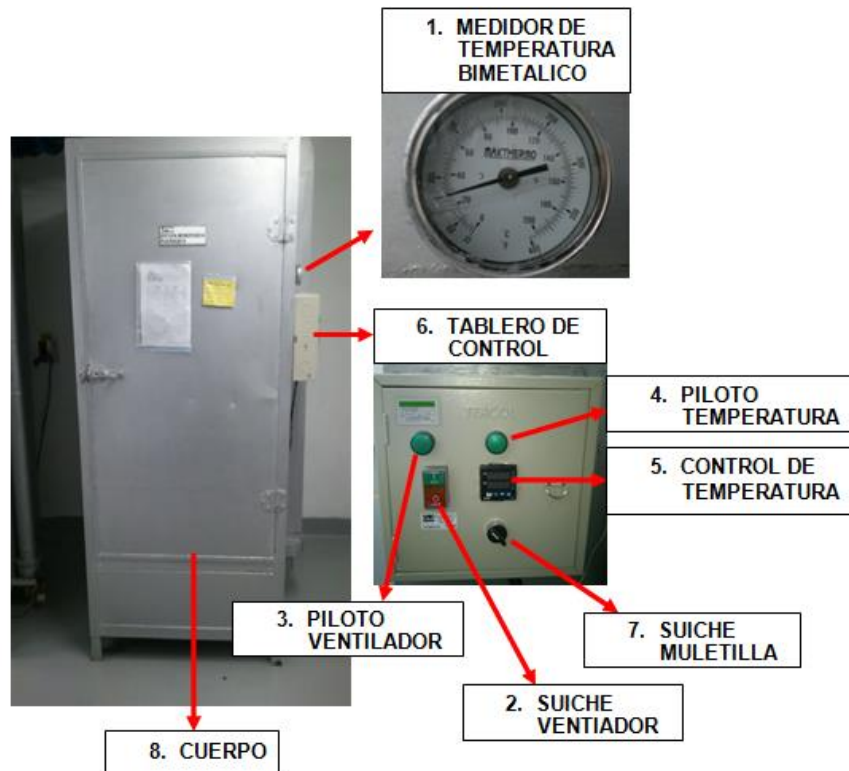


Figura 11. Estufa (GONZALEZ YEPES, 2016)

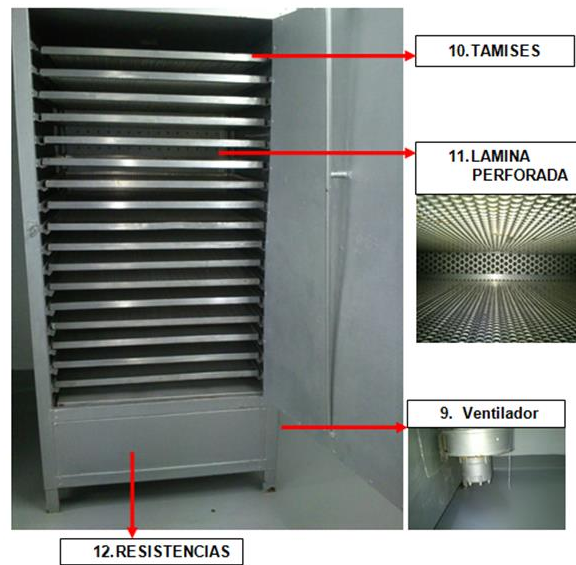


Figura 12. Estufa (GONZALEZ YEPES, 2016)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

5.5.1.2 Procedimiento de secado:

- **Paso 1.** Cargar los tamices de la estufa con 30Kg de producto granulado repartiéndolos por toda la estufa.
- **Paso 2.** programar el control de temperatura por tres ciclos de 8 horas a una temperatura de 60°C
- **Paso 3.** terminando cada ciclo de secado tomar 5 muestras en los puntos establecidos y llevar a control de calidad para determinar el contenido de la humedad que debe ser menor al 7%.
- **Paso 4.** Una vez verificado el contenido de humedad retirar el granulado seco de la estufa y almacenar en canecas con bolsas plásticas dentro de ellas.

5.6 Procedimiento análisis de humedad

Para el proceso de tableteado del producto que sale de las estufas de secado es de suma importancia determinar el porcentaje de humedad con que sale el producto, el cual debe de ser menor al 7% para evitar daños en la tableteadora y poder obtener un producto de buena calidad. Por estas razones es necesario un equipo que pueda determinar el porcentaje de humedad del producto final de la estufa de secado. En la empresa laboratorios Medick S.A.S. para este análisis se cuenta con un analizador de humedad PMB el cual se calibra anualmente para garantizar la buena trazabilidad de la humedad.

Este analizador de humedad determina los niveles de humedad del producto analizando la pérdida de peso del producto cuando se calienta a altas temperaturas en un horno, la pérdida de peso debido a la evaporación del líquido se puede analizar para encontrar el contenido de humedad del producto. Este analizador de humedad permite determinar el porcentaje de humedad del producto desde el 0,1% hasta un 99,9%.

$$\%humedad = 100 \times \left(\frac{masa\ inicial - masa\ seca}{masa\ inicial} \right)$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

5.6.1 Procedimiento:

- Para comenzar el proceso un analista de control calidad extrae una muestra aleatoria del producto final de una de las bandejas de la estufa, la cual se encuentra calificada en su instalación, operación y desempeño ante el ente regulador (Invima) y calibrada según el informe de la OMG 32, 40 y 46. Lo que garantiza que el calor al interior de la estufa es homogéneo y no puede presentarse un diferencial mayor a $2\pm$ °C, permitiendo que la muestra tomada sin importar la bandeja tenga la misma humedad. (este muestreo se verifico en la calificación de desempeño del equipo, tomando muestra bandeja por bandeja para verificar que la diferencia de humedad no supere un diferencial de \pm 2%)
- Se establece la temperatura del analizador de humedad en 106°C (es la temperatura recomendada por el fabricante del equipo para medición de la humedad **del producto es principalmente agua**) y en modo de operación porcentaje de humedad.
- Se pone el plato de aluminio en el horno del analizador de humedad y se tara para que entregue el peso solo de la muestra que se va a medir, se cierra la tapa del horno para comenzar el proceso.
- Después de transcurrido un tiempo el cual depende del porcentaje de humedad de la muestra, el analizador activa una alarma de sonido indicando que el proceso termino y muestra en el display los resultados requeridos, porcentaje de humedad, masa inicial y masa final.

Resultados iniciales del analizador de humedad antes del producto entrar a la estufa de secado.

tiempo	Temperatura	humedad	Masa inicial	Masa final	vaticos
12min:20seg	106°C	56,27	3,922 g	1,715 g	400w



Resultados finales del analizador de humedad al salir el producto de la estufa de secado.

tiempo	Temperatura	humedad	Masa inicial	Masa final	vattos
2min:20seg	106°C	4,19	3,679 g	3,525 g	400w



Analizador de humedad PMB



Figura 13. Analizador de humedad (GONZALEZ YEPES, 2016)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Certificado de calibración



Figura 14. Certificado de calibración (GONZALEZ YEPES, 2016)

5.7 Proceso de tableado

Los comprimidos son formas farmacéuticas sólidas que se obtienen de un producto previamente granulado y de una compactación continua que se le realiza por el choque de dos punzones, los comprimidos que se elaboran en laboratorios Medick tienen siempre forma redonda, con una dosificación exacta del principio activo. Pero, además del principio activo, el comprimido contiene una serie de sustancias que sirven para formar la estructura necesaria para mantener su forma y sus características inalteradas en el tiempo. Son conocidos comúnmente como excipientes, estos le dan diferentes características al producto como lo son dureza, peso, fluidización etc.

5.7.1 Tableteadora:

Es una máquina que por medio de compresión dan forma a un polvo o granulado. Su producción es aproximadamente de 80000 tabletas por hora, posee un motor de 3hp, punzones y matrices para tabletas redondas.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

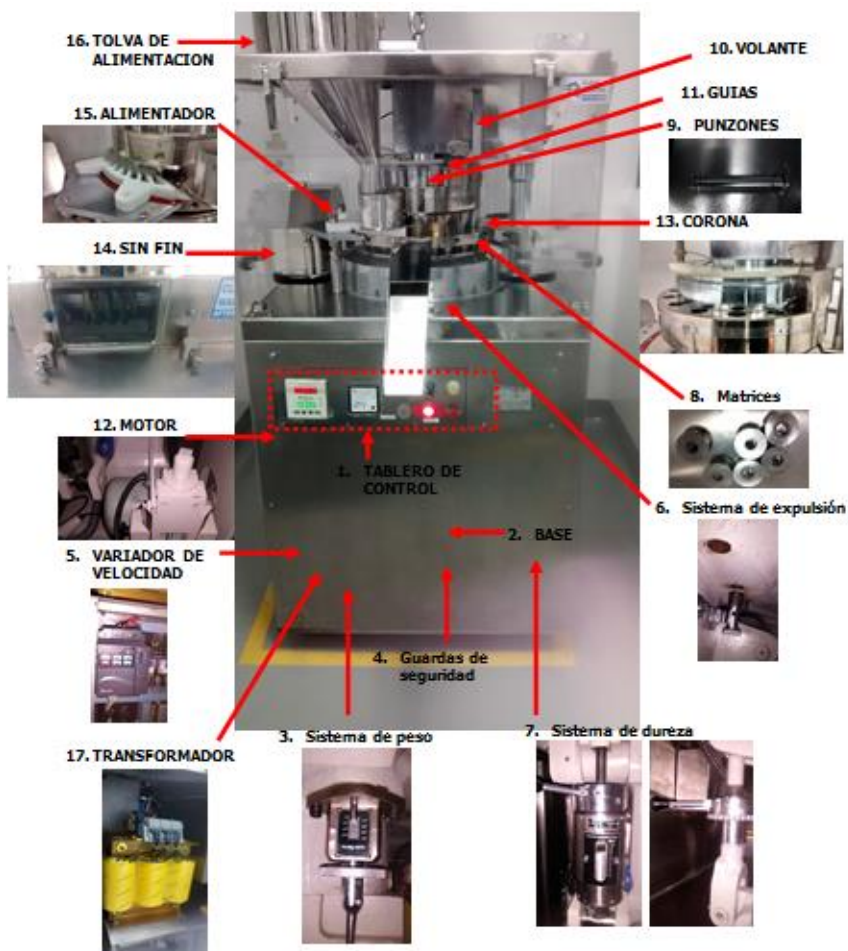


Figura 15. Tableteadora (GONZALEZ YEPES, 2016)

5.7.2 Procedimiento de tableteado:

- **Paso 1.** Iniciar el proceso en la tableteadora se llena la tolva de alimentación con el producto previamente granulado y secado.
- **Paso 2.** Iniciar con la compresión del granulado y comprobar que las tabletas si cumplen con las características del proceso, como son: dureza 4-5 kg F, peso de 25 tabletas: 14,3g – 15,8g, peso individual de tabletas 570mg- 630mg, friabilidad menor a 1% y tiempo de desintegración menor a 60 minutos.
- **Pasó 3.** Una vez terminado el proceso de tableteado almacenar las tabletas en recipientes plásticos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

6. METODOLOGIA

6.1. Evaluación del sistema actual.

Se estudió y se investigó sobre el proceso de fabricación de productos farmacéuticos y la importancia del secado en dicho proceso. Se consultó sobre los procesos de secado, particularmente las teorías sobre tipos de lecho fluido y sus aplicaciones, características técnicas más relevantes y procesos térmicos involucrados, con ayuda de bases de datos y libros especializados sobre el tema.

Se realizó una descripción detallada del proceso de fabricación de comprimidos para tener una visión de la importancia del secado del producto granulado para su posterior compresión.

Se recolecto la información de las necesidades que se tiene en la empresa Laboratorios Medick S.A.S para el proceso de secado y se midió la cantidad de humedad con la que el producto entra al proceso de secado con ayuda de instrumentos medidores de humedad como se indica en el numeral “5.6 *procedimiento análisis de humedad*”

La humedad de los productos a secar se define desde el proceso de mezclado, en el cual se mezclan la materia prima, excipientes y aglutinante. Siendo el aglutinante el humectante del producto. Las cantidades de aglutinante para la elaboración de los productos en laboratorios Medick ya se encuentra definida en la formula maestra de los lotes, para que los productos no superen una humedad mayor al 90%.

El porcentaje de humedad fue definido por laboratorios Medick el cual no es superior al 90%, de igual forma se validó dicha información tomando 20 muestras de producto y analizándolas en el Analizador de humedad PMB del laboratorio de calidad de laboratorios Medick.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

PRODUCTO ALCACHOFA	
Numero de muestra	%Humedad
1	60.32
2	56.27
3	54.32
4	50.35
5	68.38
6	73.43
7	50.25
8	65.97
9	63.56
10	52.51
11	51.21
12	54.65
13	79.78
14	73.29
15	63.67
16	68.58
17	54.19
18	53.44
19	55.68
20	69.76
Promedio humedad	60.98
Desviación estándar	8.9

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

El promedio de humedad inicial de la alcachofa es de 60.98 y su desviación estándar es +/- 8.9, lo cual no afectara nuestros cálculos ya que el equipo se calculó para un secado de la alcachofa a una humedad del 90%, y como los resultados fueron menores podrá ser mucho mas eficiente el secador calculado.

Resultados iniciales del analizador de humedad antes del producto entrar a la estufa de secado.



En la siguiente figura se encuentran los datos más importantes del proceso de secado utilizado actualmente en la empresa Laboratorios Medick, estos valores se deben de tener en la cuenta para el diseño del lecho fluido y así conservar y confirmar un buen secado de los gránulos.

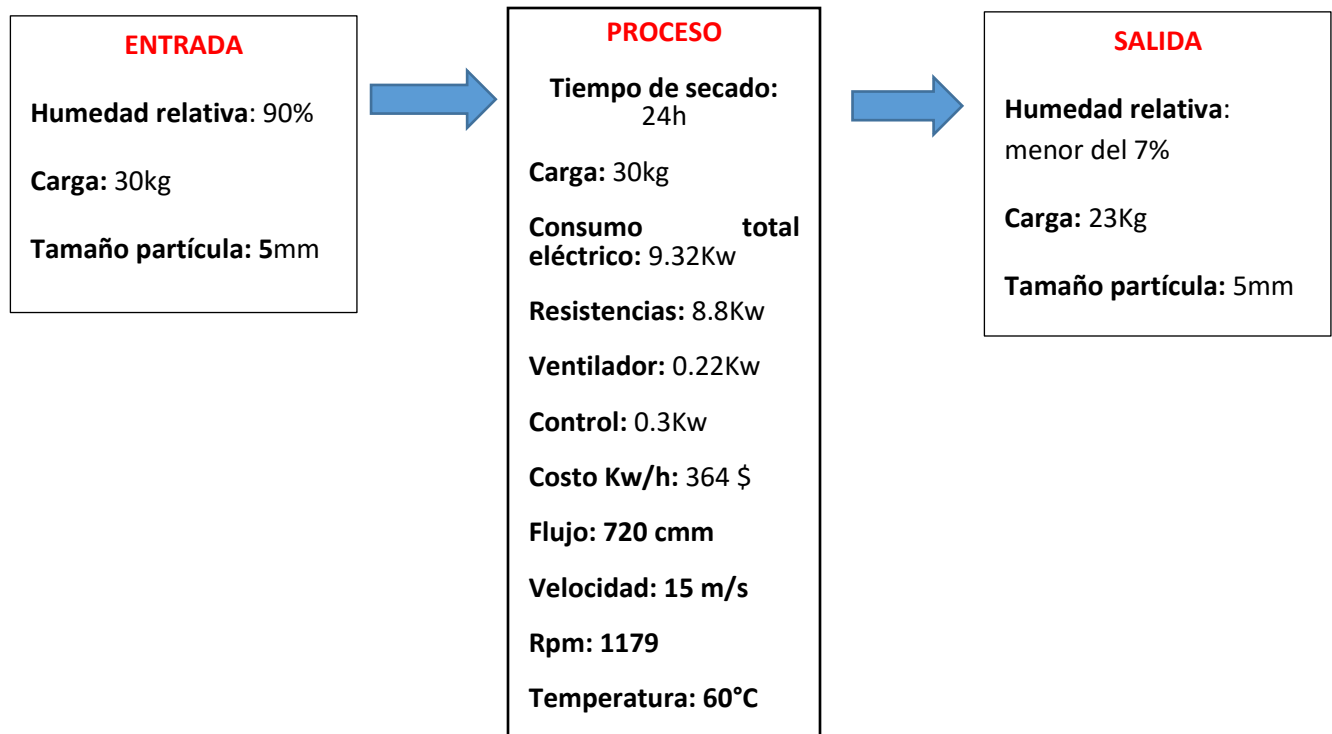


Figura 16. Datos del proceso de secado (GONZALEZ YEPES, Figura, 2017)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

6.2. Selección del sistema propuesto

Se realizaron visitas a la empresa Actum y Naturfar para comprender mejor el funcionamiento de los lechos fluidizados, en ambas empresas se encontró el mismo tipo de lecho fluidizado el cual es fabricado por la empresa Actum. El equipo que se observó en Actum es un lecho fluido con una capacidad de producción para 100Kg/h de alcachofa, el cual inyecta aire caliente en la cámara para secar el producto, la generación de calor se realiza por medio de resistencias eléctricas, no es recomendable el uso de combustibles porque si no hay un buen control de la combustión podría generar contaminación en los productos. En la empresa Naturfar se observa un lecho fluido para una producción de 50Kg/h.

Se sabe de sistemas que pueden presentar eficiencias mayores que el lecho fluido, pero las necesidades de producción de la empresa y el presupuesto asignado para este proyecto, basado en los resultados observados en las visitas realizadas en cuanto al funcionamiento del sistema, la empresa considera que la opción más viable bajo las condiciones mencionadas es el lecho fluido. Además, el uso masivo de este tipo de secadores en el sector genera resistencia desde la directiva de la compañía por los costos asociado.

El cual consiste generalmente en la eliminación de humedad de una sustancia por evaporación del agua de la superficie del producto, traspasándola al aire circundante, la fluidización convierte un lecho de partículas sólidas en una masa suspendida lo cual acelera el proceso de secado del producto.

6.2.1 Tipo de material:

El material que se quiere secar son productos naturales granulados que se utilizan para la fabricación de comprimidos, para los cálculos de diseño se utilizaran los datos del producto más crítico de la empresa Laboratorios Medick S.A.S. la alcachofa.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

6.2.2 Capacidad del secador:

La capacidad de secado requerida para el lecho fluidizado la cual necesita el proceso para evitar la formación de un cuello de botella y poder seguir con el flujo normal de la producción es de 30Kg/hora

6.3 Cálculos de diseño:

En esta sección del trabajo se muestra el diseño de la parte más importante que conforma el secador, analizando las variables y propiedades fundamentales que hacen parte del secado. Tomando como base para ello datos experimentales obtenidos en un lecho fluidizado ubicado en la empresa Naturfar.

Con la información obtenida del proceso de investigación y datos recolectados del proceso se realizaron los cálculos pertinentes de acuerdo a las necesidades para el diseño del lecho fluido.

6.3.1. Calculo del diámetro equivalente de la partícula:

Generalmente las ecuaciones están relacionadas para partículas esféricas, debido a que en la práctica trabajar con estas partículas es poco probable se sugiere trabajar con un d_p que corresponde al diámetro de una esfera de volumen equivalente.

Para hallar d_p se muestrearon 100 gránulos de alcachofa y se promedió la altura y el diámetro. Altura promedio del granulo 6mm y diámetro promedio del granulo: 4mm.

$$V_c = \pi r_g^2 h_g = \pi (0,002m)^2 (0,006m) = 7,5 \times 10^{-8} m^3$$

$$h_g = \text{Altura promedio del granulo (m)}$$

$$V_c = \text{volumen del cilindro (m}^3\text{)}$$

$$r_g = \text{radio del granulo (m)}$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

$$V_e = \frac{4}{3}\pi x^3$$

V_e = volumen de una esfera (m^3)

x = radio equivalente al volumen de una esfera (m^3)

Se igualan el volumen del cilindro y el volumen de la esfera

$$x = \sqrt[3]{\frac{3V_c}{4\pi}} = \sqrt[3]{\frac{3(7,5 \times 10^{-8} m^3)}{4\pi}} = 2,6 \times 10^{-3} m$$

$$D_p = 2x = 2 * 2,6 \times 10^{-3} m^3$$

Diámetro promedio	$D_p = 5,2 \times 10^{-3} m$
--------------------------	------------------------------

Como en la producción de los productos granulados es imposible obtener la forma del granulo como esferas perfecta se debe obtener el diámetro de una esfera de volumen equivalentes así podemos asegurar que todo el producto tendrá el mismo proceso de secado

6.3.2. Tasa de producción masa seca

La tasa de producción de material es la cantidad de producto que el lecho fluidizado es capaz de secar con cierta humedad final requerida por unidad de tiempo y superficie de secador. El lecho fluidizado que se diseñara para la empresa laboratorios Medick S.A.S. estará basado en el espacio que se tiene en el área de producción que no podrá sobre pasar un diámetro de 80cm. Por lo cual la tasa de producción del lecho fluidizado se define con la siguiente ecuación.

$$m_s = \frac{m_h}{60 * t_d * A_d}$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Dónde:

$$m_s = \text{tasa de producción de material} \left(\frac{Kg}{s * m^2} \right)$$

$$m_h = \text{masa de producto a uncierto contenido de humedad final (Kg)}$$

$$t_d = \text{tiempo de secado (min)}$$

$$A_d = \text{seccion transversal del distribuidor (m}^2\text{)}$$

La tasa de producción calculada para el lecho fluidizado utilizando el diámetro mayor permitido en la empresa es:

Tasa de producción de masa seca	$m_s = 0,016 \left(\frac{Kg}{s * m^2} \right)$
--	---

6.3.3. Velocidad de mínima fluidización

Como no se encontró información suficiente y confiable para el cálculo de la velocidad de mínima fluidización de la alcachofa, se hicieron ensayos en un lecho fluido para determinar el valor de la velocidad.

6.3.3.1 Procedimiento de determinación de la velocidad de mínima fluidización

Se produjo un lote de 30kg de alcachofa y se introdujo en el lecho fluidizado conseguido para el ensayo, se inició el lecho fluidizado y se fue aumentando gradualmente la velocidad del ventilador hasta que se logró fluidizar los gránulos de alcachofa. Se retiró el producto de la cámara de secado para dibujar una matriz dentro de la cámara de secado y realizar 13 mediciones de la velocidad del aire a la cual se fluidizó el producto, con un anemómetro calibrado en puntos estratégicos del distribuidor de aire. Se halló el promedio de los datos obtenidos para así conseguir el valor de la velocidad necesaria para fluidizar el producto.

Matriz de puntos de muestra en el distribuidor de aire

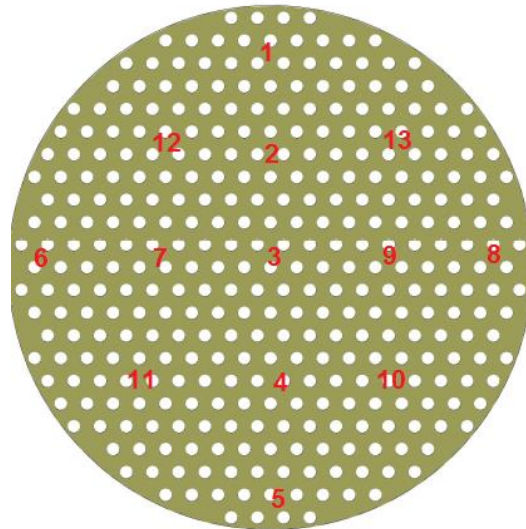


Figura 17. Distribuidor de aire (GONZALEZ YEPES, Figura, 2017)

Evidencias de la prueba realizada para la determinación de velocidad de mínima fluidización

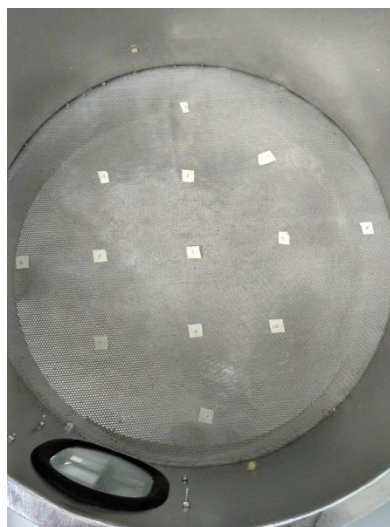


Foto del Distribuidor de aire real en el cual se realizaron las pruebas (GONZALEZ YEPES, Figura, 2017)

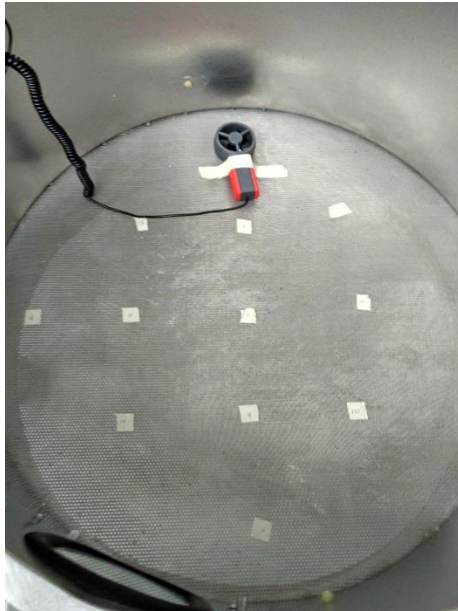


Foto del dato tomado con el anemómetro en el primer punto de la matriz (GONZALEZ YEPES, Figura, 2017)

Resultados de la toma de velocidades de mínima fluidización

Punto de muestreo	Velocidad de mínima fluidización (m/s)
1	4,3
2	4,16
3	4,48
4	4,47
5	4,82
6	4,5
7	5,03
8	3,71
9	3,65
10	4,63
11	4,65
12	3,99

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

13	4,05
promedio	4,18
Desviación estándar	0,41

Velocidad mínima de fluidización	$U_{mf} = 4,18 \frac{m}{s}$
---	-----------------------------

6.3.4. Caudal de aire

Después de haber hallado la velocidad mínima de fluidización y conociendo el diámetro de la cámara de secado se halló el caudal necesario de aire para cumplir con estos parámetros y así poder elegir la ventilación adecuada.

$$\tilde{V} = U_m * A_d$$

Caudal del aire	$\tilde{V} = 2,09 \frac{m^3}{s}$
------------------------	----------------------------------

Se espera que, con el caudal del aire constante el producto siempre estará en una misma altura para el secado.

6.3.5. Calculo del distribuidor de aire

El diseño del distribuidor de aire elegido es del tipo placa multiorificios para su cálculo se utiliza un método que considera aspectos teóricos y datos experimentales, de flujo de fluidos a través de orificios. Este método considera dos suposiciones que son suficientemente conservadoras y están aceptadas con razonable confianza, para el cálculo de las placas multiorificios.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Condiciones:

- Los orificios están bien orientado con respecto al área transversal de la sección del lecho del secador.
- El flujo total para distribuir está dividido en flujos incrementales iguales a través de cada orificio en la placa.

Teoría del flujo orificio

$$q = YCA \sqrt{\frac{2g(144)\Delta p}{\rho}}$$

q= razón de flujo atreves del orificio $\left(\frac{\text{pies}^3}{s}\right)$

Y=Factor experimental de expansión (adimensional)

C=coeficiente de flujo para orificios (adimensional)

A= área transversal del orificio (pies^2)

g= aceleración de gravedad $\left(32.2 \frac{\text{pies}}{s^2}\right)$

Δp = Caída de presión atreves del orificio (psi)

ρ = densidad del fluido $\left(\frac{\text{lb}}{\text{pies}^3}\right)$

Para encontrar los valores de C e Y se obtienen desde las curvas de la figura 18

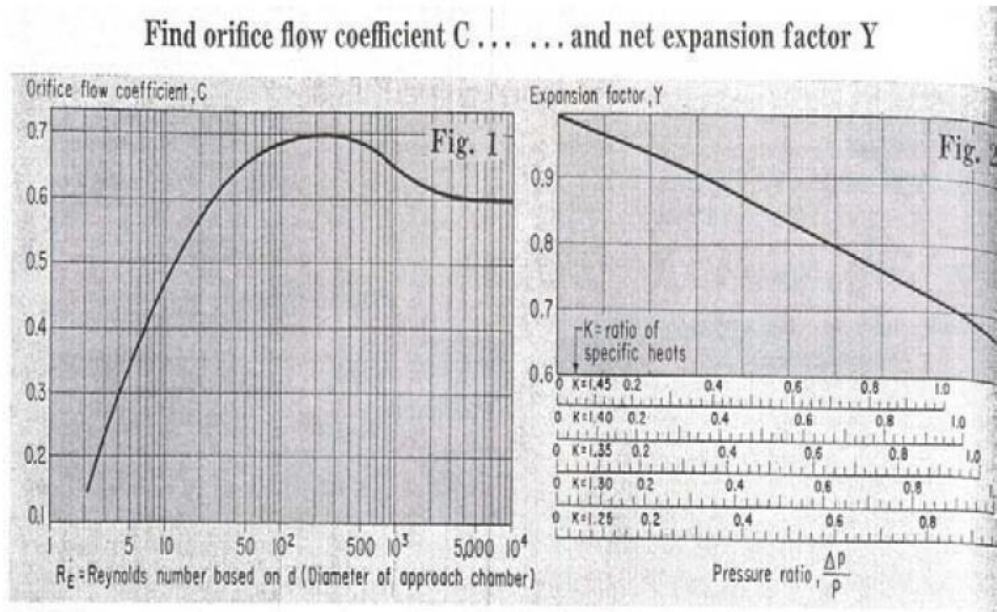


Figura 18. Curvas para factores C y Y

El tamaño del orificio para el distribuidor de aire se eligió de 2mm por dos razones:

- El orificio de la placa distribuidora debe de ser más pequeño que el diámetro de la partícula a fluidizar para permitir que cuando el producto este en reposo este no se caiga atreves de los orificios.
- Mayor a 1mm por la facilidad de compra de esta placa perforada en el mercado.

$$q = 1 \times 0,65 \times 3,2 \times 10^{-5} \text{pies}^2 \sqrt{\frac{2 \times 32,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 144 \times 1 \text{psi}}{0,067 \frac{\text{lb}}{\text{pies}^3}}}$$

$$q = 7,73 \times 10^{-3} \frac{\text{pies}^3}{\text{s}}$$

La relación de flujo total, flujo orificio y número de orificios es la siguiente:

$$q = \frac{N}{\bar{V}} \quad N = \frac{\bar{V}}{q}$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

$$\tilde{V} = \text{flujo total distribuido} \left(\frac{\text{pies}^3}{s} \right)$$

$N = \text{numero de orificios}$

$$N = \frac{38,85 \frac{\text{pies}^3}{s}}{7,73e^{-3}}$$

$N = 5025$ Numero de orificios

6.3.6. Transferencia de calor

Se halló la razón de transferencia de calor necesaria en el secado del producto granulado, con la ecuación de Newton de transferencia de calor por convección. Para esto primero se hallaron el número de Reynolds, numero de Nusselt, número Prandtl valores adimensionales necesarios para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor y también se halló el valor de “superficie de contacto gas partícula” que corresponde en el lecho fluido a la suma de las superficies de contacto de todas las partículas con el fluido

6.3.6.1. Ecuación de número de REYNOLDS

Se utiliza para caracterizar el movimiento de un fluido el cual puede ser laminar, transición o turbulento. Relaciona viscosidad cinética del fluido, velocidad y dimensión típica de un flujo en una expresión adimensional. Con el resultado obtenido el movimiento del fluido en este trabajo es laminar.

$$R_{emf} = \frac{\rho_g U_{mf} D_p}{\mu_g} \quad R_{emf} = 1224,67$$

R_{emf} = número de Reynolds (adimensional)

ρ_g = densidad del gas (kg/m³)

U_{mf} = velocidad mínima de fluidización (m/s)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

D_p = tamaño partícula semejante una esfera (m)

μ_g = viscosidad del gas (kg *s/m)

6.3.6.2. Ecuación de PRANDTL (propiedad del gas)

El número prandtl es una propiedad del fluido (no del flujo), es un parámetro asociado al problema de transmisión de calor, indica la relación entre la difusión de la cantidad de movimiento debida a la viscosidad y la difusión térmica.

$$Pr = \frac{\mu_g C_{p_g}}{K_g}$$

$$Pr = 0,0007545$$

Pr = número de prandtl (adimensional)

μ_g = viscosidad del gas (kg *s/m)

C_{p_g} = calor específico del gas

k_g = conductividad térmica del gas

6.3.6.3. Ecuación número NUSSELT

El número de Nusselt es un número adimensional que mide el aumento de la transmisión de calor desde una superficie por la que un fluido circula (Transferencia de calor por convección).

“Existen en la literatura un gran número de correlaciones para el cálculo del número de Nusselt en aplicaciones de almacenamiento de energía mediante partículas, sin embargo, como hacen referencia Ismail y Stuginsky en su texto, todas ellas producen resultados similares. Para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor entre las partículas del lecho y el fluido se ha empleado la correlación que

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

aparece en el texto de Galloway y Sage, desarrollada por los autores para tal efecto, mediante la cual se puede obtener el número de Nusselt

$$Nu = 2.0 + c_1 Re_{mf}^{\frac{1}{2}} Pr^{\frac{1}{3}} + c_2 Re_{mf} Pr^{\frac{1}{2}}$$

Donde los coeficientes c_1 y c_2 para un lecho cualquiera toman los valores de 1.354 y 0.0326 respectivamente. Sin embargo Rady afirma según otros dos autores, Beasley y Clark, que tomando los valores de $c_1 = 2.031$ y $c_2 = 0.049$ se consiguen mejorar los resultados entre los datos numéricos y los experimentales, por lo que serán los que se empleen. En cuanto al resto de parámetros, Re_{mf} , es el número de Reynolds y Pr es el número de Prandtl.” (Torres, 2012)

$$Nu = 7,4$$

T_g = temperatura del gas (°C)

U_{mf} = velocidad mínima de fluidización (m/s)

6.3.6.4. Superficie de contacto gas partícula

Para poder hallar la transferencia de calor por convección primero se debió hallar el área del producto que va intervenir en la transferencia de calor, para esto primero se hizo un muestreo de 100 gránulos pesando cada granulo y el peso total de la cantidad de producto para poder determinar la cantidad de gránulos promedio que se van a secar, después de hallar la cantidad de gránulos promedio se multiplico por el área de cada granulo y así determinar la superficie de contacto gas partícula.

$$A_p = 4 \pi x^2 \frac{P_p}{P_{tp}}$$

$$A_p = 53,7m^2$$

A_p = superficie de contacto

X = radio equivalente al volumen del cilindro (m)

P_p = peso partícula (g)

P_{tp} = peso total partículas.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

6.3.6.5. Coeficiente de transferencia de calor por convección

Es una correlación simplificada entre el estado del fluido y las condiciones de flujo, por lo cual generalmente se la conoce como una propiedad de flujo

$$h_{gp} = \frac{Nu k_g}{D_p}$$

$$h_{gp} = 36,7 \frac{W}{m^2 K}$$

h_{gp} = coeficiente de transferencia de calor por convección (W/m² °K)

k_g = conductividad térmica del gas

D_p = tamaño partícula semejante una esfera (m)

Nu = número de nusselt (adimensional)

6.3.6.6. Ecuaciones transferencia de calor por convección (NEWTON)

$$\bar{Q} = h_{gp} A_p (T_g - T_{ps})$$

$$\bar{Q} = 45474 W$$

\bar{Q} = calor transferido

h_{gp} = coeficiente de transferencia de calor por convección (W/m² K)

A_p = superficie de contacto gas partícula (m²)

T_{ps} = temperatura superficial partículas (°C)

6.4 Planos de fabricación

Se elaboraron sus respectivos planos, basados en los cálculos realizados y en la limitante de espacio de la zona en la cual se instalaría dentro de las instalaciones de Laboratorios Medick S.A.S.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

6.4.2. Plano placa distribuidora de aire (mm)

En la figura 20 se muestra el plano de la placa distribuidora de aire la cual se encarga de distribuir homogéneamente el aire caliente por toda la cámara de secado.

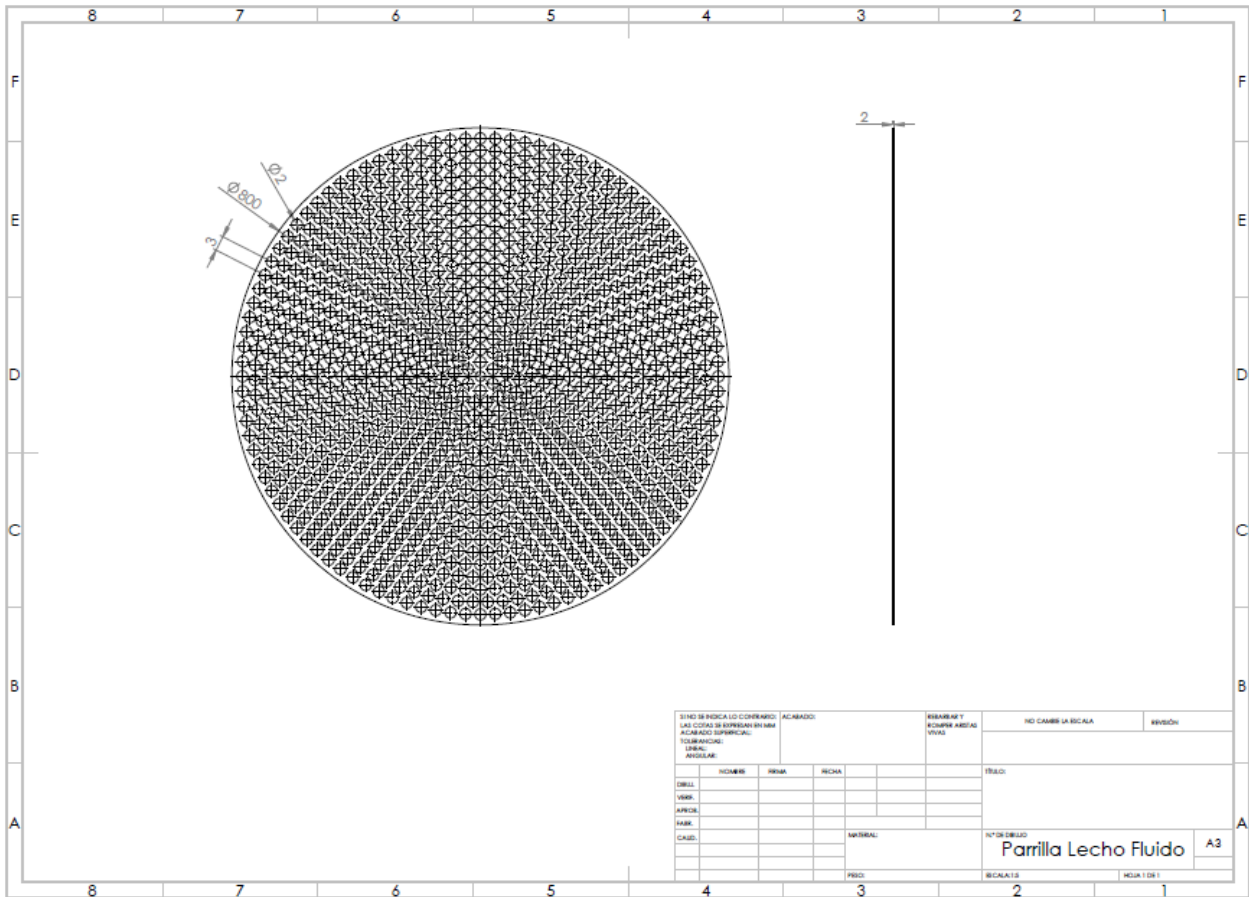


Figura 20. Dimensiones placa distribuidora de aire

6.4.3 Figura de ventilador inoxidable (mm)

En la figura 21 se muestra las dimensiones del ventilador requerido para impulsar el aire que será inyectado para el secado del producto.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

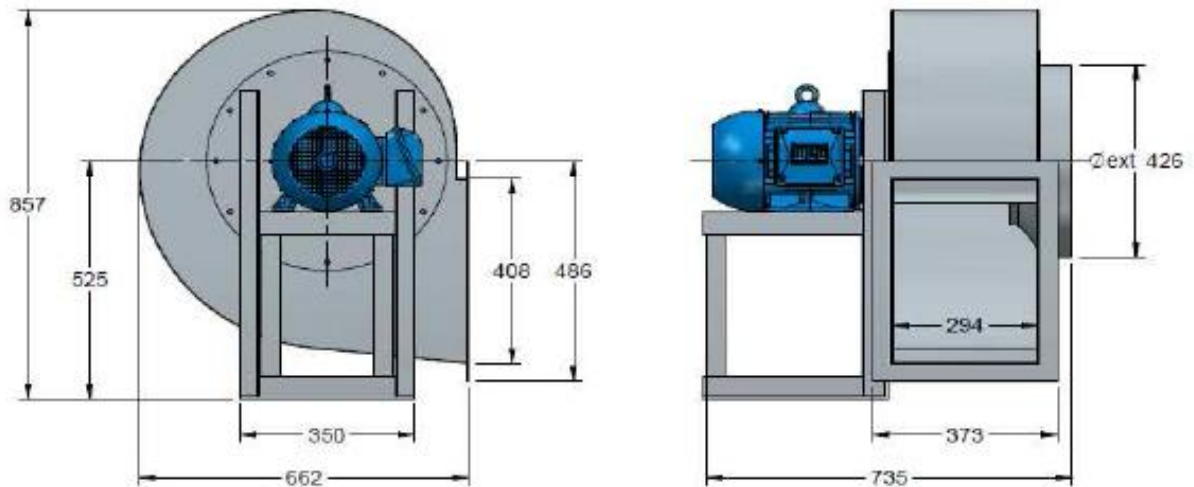


Figura 21. Dimensiones ventilador

6.5 COSTOS DE FABRICACION

A continuación se presenta el presupuesto de los costos de fabricación para equipo teniendo en cuenta materiales y mano de obra a utilizar.

MATERIALES	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
fabricación de ducto para secado:	1	\$13.350.000	\$13.350.000
Reducción de diámetro de 800mm a 400mm con una altura de 200mm Inox 304 cal 16	2		
Ducto de diámetro 800mm x 1.000mm de largo en inox 304 cal 16	1		
Codo de 400mm de diámetro x 600mm. de radio a 6 virolas en inox 304 cal 16	1		
Reducción de diámetro 750mm a 400mm con un altura de 1.000 mm en Inox 304 cal 16	2		
Ducto de diámetro 750mm x 3.000 mm de largo en inox 304 cal 16	1		
Ducto de diámetro 400mm de largo en inox 304 cal 17	1		
Férrulas de 400mm x 4.000mm de largo en inox 304 cal 17	8		

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Abrazaderas tipo clamp de 400mm de diámetro en inox 304 cal 1/8	4		
Ensamble con proceso Tic y acabado (satinado)	1		
Enchafetado de ducto para aire caliente con lana cerámica blanca al 8% de densidad, lamina inoxidable con acabado espejo	1		
Grafada	1		
Montaje	1		

Tabla 2. Costos ductos de transporte.

MATERIALES	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Ventilador VAFR 401 con motor y accesorios en acero Inoxidable 304	2	\$ 10.210.000	\$ 20.420.000
Variador de velocidad 7.5 hp, 220 V	2	\$ 2.415.000	\$ 4.830.000
		TOTAL	\$ 25.250.000

Tabla 3. Costos ventiladores

MATERIALES	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
resistencias eléctricas 220Vac, 2400W, con aletas dispersoras de calor	7	\$ 257.000	\$1.799.000
relé trifásico	2	\$380.000	\$ 760.000
Breake trifásico 150Amperios	1	\$1.100.000	\$ 1.100.000
fusible 130 ^a	1	\$ 25.000	\$ 25.000
porta fusible	2	\$ 91.000	\$182.000
control de temperatura digital autonics tc4	1	\$250.000	\$250.000
termocupla tipo K 0-400°C	1	\$57.000	\$57.000
temporizador LE4S	8	\$240.000	\$1.920.000
relé electromagnético	4	\$18.000	\$72.000
base de relé	1	\$16.000	\$16.000
suiche muletilla	3	\$19.900	\$59.700
Pulsador	2	\$13.362	\$26.724
Piloto	4	\$10.200	\$40.800
gabinete de control	1	\$800.000	\$800.000
paro de emergencia	1	\$15.600	\$15.600
Horómetro	1	\$153.000	\$153.000

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

fuelle dc	1	\$107.300	\$107.300
Otros	1	\$1.000.000	\$1.000.000
		TOTAL	\$ 8.384.124

Tabla 4. Costos sistema de control.

Mano de obra (ensamblaje, conexiones eléctricas y puesta a punto)	\$ 15.000.000
---	---------------

Basado en que gran parte del montaje se hará por personal de la empresa y estará sujeto a cambios según los costos en el momento del montaje.

Tabla 5. Costo mano de obra.

TOTAL, FABRICACION LECHO FLUIDO	\$ 61.984.124
--	----------------------

Tabla 6. Costo total lecho fluido

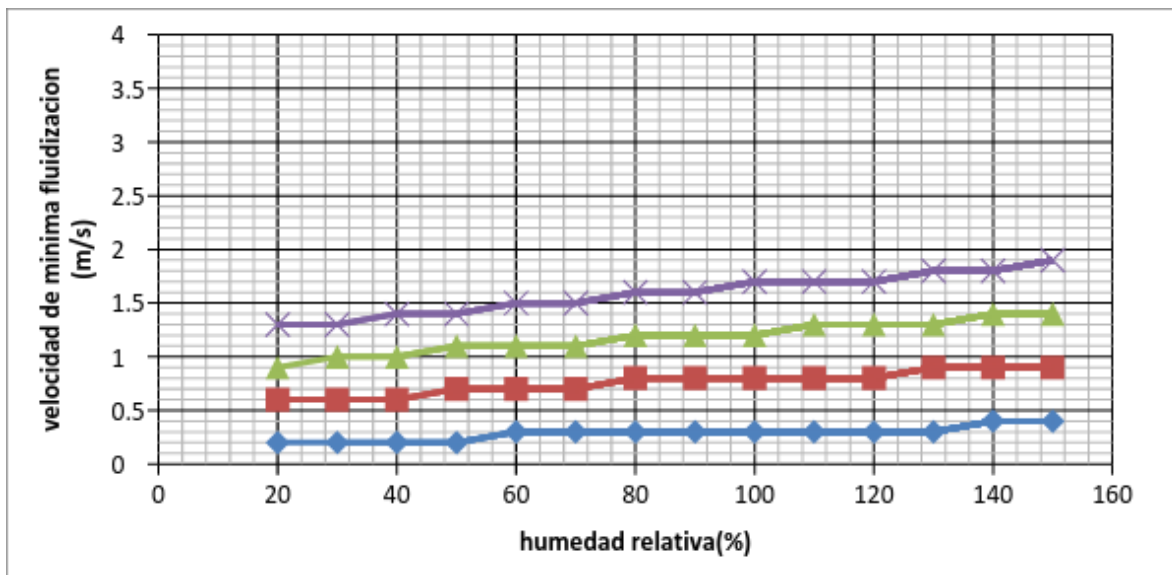
 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

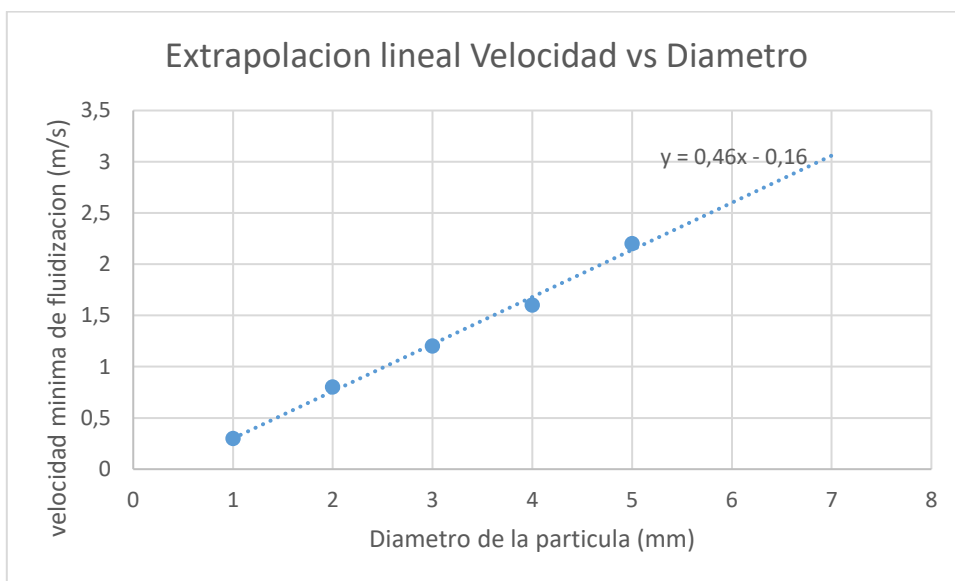
Cálculo de la velocidad mínima de fluidización

Inicialmente se basó el cálculo de la velocidad de mínima fluidización en la tesis “diseño de un lecho fluidizado para biomasa forestal” realizado por Rodrigo Alejandro Urrutia en el cual saca una tabla con velocidades de mínima fluidización para partículas de 1mm a 4mm de diámetro a diferentes porcentajes de humedad, como la humedad que se maneja en esta tesis solamente es 90% solo se tomaran los datos para esta humedad y como en tamaño de partícula es de 5mm se debió extrapolar para calcular el dato de mínima fluidización.

Humedad (%)	Umf para Dp=1m (m/s)	Umf para Dp=2m (m/s)	Umf para Dp=3m (m/s)	Umf para Dp=4mm (m/s)
150	0,4	0,9	1,4	1,9
140	0,4	0,9	1,4	1,8
130	0,3	0,9	1,3	1,8
120	0,3	0,8	1,3	1,7
110	0,3	0,8	1,3	1,7
100	0,3	0,8	1,2	1,7
90	0,3	0,8	1,2	1,6
80	0,3	0,8	1,2	1,6
70	0,3	0,7	1,1	1,5
60	0,3	0,7	1,1	1,5
50	0,2	0,7	1,1	1,4
40	0,2	0,6	1	1,4
30	0,2	0,6	1	1,3
20	0,2	0,6	0,9	1,3



humedad 90%	diámetro de la partícula(mm)				
	1	2	3	4	5
velocidad mínima fluidización (m/s)	0,3	0,8	1,2	1,6	2,2



	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Para extrapolar primero se halla la pendiente de la recta

$$m = \frac{1,6 - 1,2}{4 - 3} = 0,44$$

Tomamos el punto P (4,1.6) y la ecuación punto pendiente

$$Y - Y_0 = m(X - X_0)$$

$$Y - 1,6 = 0,44(X - 4)$$

$$Y = 0,4X - 1,6 + 1,6$$

$$Y = 0,4X$$

Extrapolamos para x=5,2

$$F(5)= 0,44(5,2)= 2,28$$

$$U_{mf} = 2,28 \frac{m}{s}$$

Después de calcular esta velocidad, se verifico en un lecho fluido real conseguido para realizar ensayos. En este se pudo determinar que la velocidad real para la fluidización de la granulometría de la alcachofa es de $4,16 \frac{m}{s}$, lo cual es un incremento de la velocidad calculada a la real de $1,8 \frac{m}{s}$, esta diferencia se puede asociar a que las densidades de la biomasa y la alcachofa son diferentes.

Descripción del lecho fluido conseguido para los ensayos:



Foto del lecho fluido utilizado para los ensayos (GONZALEZ YEPES, Figura, 2017)

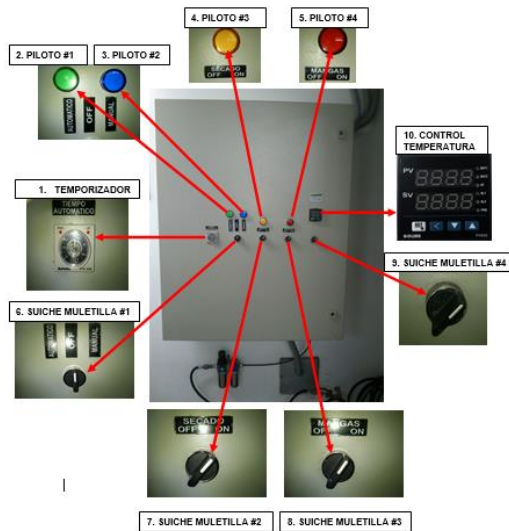


Foto del tablero de control del lecho fluido utilizado para los ensayos (GONZALEZ YEPES, Figura, 2017)

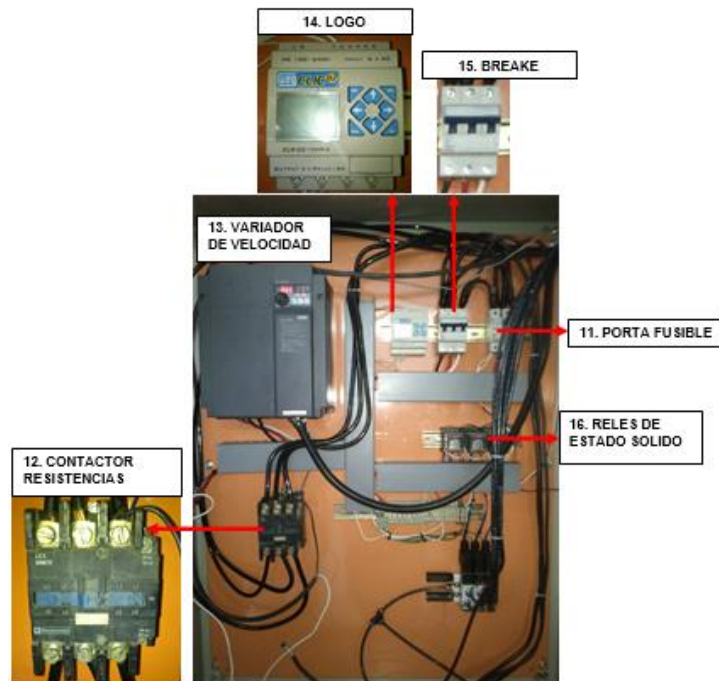


Foto del tablero de potencia del lecho fluido utilizado para los ensayos (GONZALEZ YEPES, Figura, 2017)

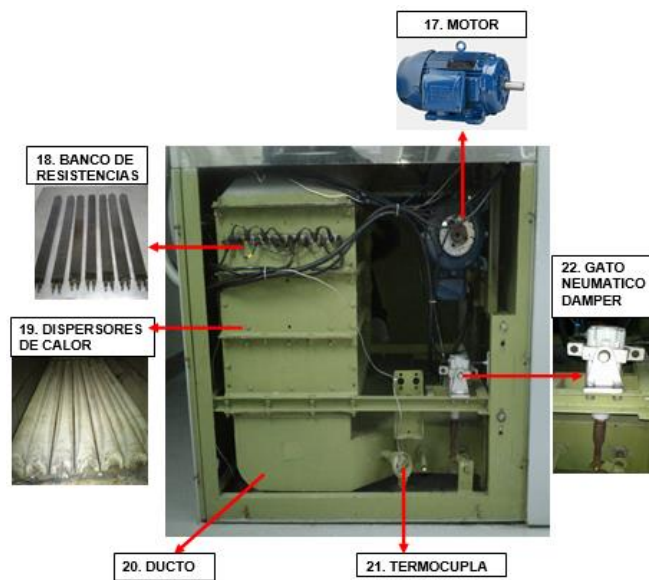


Foto del tablero de potencia del lecho fluido utilizado para los ensayos (GONZALEZ YEPES, Figura, 2017)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

El lecho fluido utilizado en los ensayos tiene una producción similar a la que se requiere que es de 30Kg/h, este equipo trabaja produciendo aire por medio de un ventilador centrifugo e inyectándolo a la cámara donde se encuentran las resistencias generadoras del calor y así transmitirlo a la cámara de secado para que se produzca el intercambio de calor con el producto a secar, este posee un gran tamaño porque toma el aire del exterior de la planta por lo cual necesita un sistema de filtrado de aire para evitar contaminaciones en el producto, y la humedad que extrae es enviada a fuera de la planta. Posee un sistema de alimentación eléctrico 220Vac, trifásico para el motor, resistencias eléctricas y el sistema de control, Y un sistema de alimentación neumático para el sellado de la cabina de secado.

Para el diseño de lecho fluido que se propuso se anuló el sistema de filtración de aire puesto que una de las limitantes de este proyecto es el espacio con el que se cuenta, por lo cual el lecho fluido propuesto tomara el aire de la misma área que ya está filtrado y lo expulsara por la extracción del área, con lo cual reduciremos el tamaño del equipo, el flujo de aire y la recamara de secado será del mismo tamaño que los del lecho fluido que se obtuvo para el cálculo de la velocidad de mínima fluidización para que estos datos no se vean afectado por el dimensionamiento.

TIEMPO DE SECADO

Los cálculos dirigidos en esta tesis fueron enfocados en reducir el tiempo de secado actual de 24h de la alcachofa en estufas de secado a un tiempo aproximado de una hora en lecho fluidizado requerimiento de la empresa Laboratorios Medick S.A.S. para evitar cuellos de botella en este proceso, para constatar que esto si se puede lograr se realizaron ensayos en un lecho fluido real con tres lotes de alcachofa a una velocidad de fluidización de $4,16 \frac{m}{s}$ y a una temperatura de 60°C y estos fueron los resultados.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

LOTE 1			
DATOS INICIALES		DATOS FINALES	
Humedad inicial	83%	Humedad final	4,3%
Cantidad	30kg	Tiempo secado	1 h 35min

LOTE 2			
DATOS INICIALES		DATOS FINALES	
Humedad inicial	80%	Humedad final	3,3%
cantidad	30kg	Tiempo secado	1 h 25min

LOTE 3			
DATOS INICIALES		DATOS FINALES	
Humedad inicial	75%	Humedad final	3,9%
cantidad	30kg	Tiempo secado	1 h 15min

Como se pudo observar en los diferentes ensayos el tiempo de secado de la alcachofa en lecho fluidizado puede ser bastante eficiente con respecto a la tasa de producción de masa seca que se obtiene en las estufas de secado actuales.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

8. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

- Según las visitas a empresas farmacéuticas, la recolección de datos y las investigaciones realizadas el secador escogido fue el lecho fluidizado.
- Se diseñó un lecho fluido para el secado de productos naturales. Las variables más influyentes para el diseño mecánico fueron, velocidad de mínima fluidización, humedad final e inicial de las partículas, temperatura del aire y el cálculo del caudal.
- La capacidad del lecho fluido requerido en Laboratorios Medick es de 30Kg/h, por lo cual todos los cálculos fueron basados en este tiempo para lograr reducir el tiempo de secado actual en las estufas que es de 24h y lograr una ganancia en tiempo de aproximadamente 23h.
- La temperatura de operación del aire de secado se estableció en 60°C, debido a la sensibilidad del producto puesto que después de esta temperatura las vitaminas se empiezan a quemar. La potencia hallada para alcanzar esta temperatura es de 45kw la cual estará representada con resistencias eléctricas con dispersores de calor.
- Debido a la certificación de laboratorios Medick en buenas prácticas de manufactura, el material para el diseño de las partes del secador que están en contacto con el producto debe de ser acero inoxidable 304.
- Según planos de fabricación se cotizo la construcción del equipo, donde el costo de inversión es de \$ 46.984.124. Considerando costos de materiales, elementos de control y mano de obra.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

9. REFERENCIAS

Fermín, B., Luis, J., & Erices, M. (2004). diseño y construcción de un secador de alimentos de origen vegetal en el estado amazonas. Caracas, Venezuela: Universidad central de Venezuela.

Kuni D, L. O. (1968). Fluidization Engennering. New York: Jonh Wile & Sons.

R, M. (2005). Secado de particulas de biomasa natural en un lecho fluidizado. españa: universidad valladolid.

richardson. (1961). How too dising Fluid Flow distributors. Union Carbide chemicals. CO.

Terrizzano, M. (1979). El secado de solidos de la industria química. Barcelona, España: Reverte S.A.

LEVY. E. Fundamentals of Fluidization. Apuntes. Lehigh University. 1981

PATIÑO SIENRA, José Luis. Estudio experimental de las hidrodinámicas de un lecho fluidizado al vacío empleando vapor sobrecalentado. Universidad de las Américas. México 2004

Abdel-Jabbar N.M; Jumah R.Y. y Ali Al-Haj. "Multivariable Process Identification and Control of Continuous Fluidized Bed Dryers". Drying Technology

Caballero, F.V.; "Secado de Amaranto: Simulación y Modelado en Lechos Fluidizados", Tesis de Maestría, UAM-Iztapalapa, México 1999

(GONZALEZ YEPES, 2016)

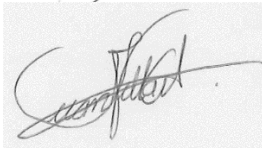
	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Torres, J. I. (2012). Transferencia de calor en un lecho fijo para almacenamiento de energía térmica. escuela politecnica superior.

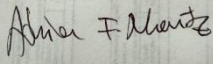
Walas, S. M. (1988). *Chemical Process Equipment*. Boston.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

FIRMA ESTUDIANTES

Edwin Gonzalez
Dian Quilpez


FIRMA ASESOR

Segunda entrega informe final para revisión de evaluador.
 03/ago/2017


FECHA ENTREGA: _03 de Agosto de 2017

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO _____ ACEPTADO _____ ACEPTADO CON MODIFICACIONES _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____