



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO HIDROSOLUBILIZADOR AUTOMATIZADO DE
EXTRACTOS BOTÁNICOS PARA EL MANEJO AGRONÓMICO POR MEDIO DE LIOFILIZACIÓN PARA
EL LABORATORIO DE FITOQUÍMICA DEL IASA 1.**

Ing. Roberto Gutiérrez¹, Dr. Carlos Cárdenas², Pedro López³, Diego Padilla⁴.

RESUMEN.

El proceso de liofilización consiste en la deshidratación de extractos o sustancias líquidas a sólidas, con el fin de mantener sus propiedades químicas y biológicas, cambiando su aspecto físico, para lograr una mejor manipulación, transporte, dosificación y tratamiento de los fluidos. Para el presente proyecto, se liofilizó extracto de laurel, basando el desarrollo del equipo en diseño mecatrónico, ya que se hace uso de estudios innovadores con el fin de obtener nuevos productos combinando el diseño mecánico, térmico y de control eléctrico. A través de estudios, análisis y simulaciones, se obtiene el diseño mecánico, eléctrico y de la interfaz del usuario, para el desarrollo del equipo, teniendo presente los requerimientos planteados por el cliente. Los resultados obtenidos de las prácticas de liofilización por medio de la interfaz del usuario se detallan en el documento.

Palabras clave: Liofilización, deshidratación, cámara de vacío, hidrosolubilización, diseño, construcción.

ABSTRACT.

The process of lyophilization consists in the dehydration of extracts or liquid substances to solid, in order to maintain their chemical and biological properties, changing their physical aspect, to achieve better handling, carriage, dosage and fluid treatment. For the present project, lyophilization was practiced in laurel extracts, basing the equipment development in mechatronical design since innovative studies are held to obtain new products combining mechanical, thermal and electric control design. Throughout studies, analysis and simulations, mechanical, electrical and user interface design are achieved for the development of the equipment, taking in consideration the client requirements. The results obtained by the lyophilization tests are detailed in the document.

Keywords: Lyophilization, dehydration, vacuum chamber, hydrosolubilization, design, construction.

¹ Escuela Politécnica del Ejército (ESPE), Director de Proyecto de Tesis, Docente de la Cátedra de Termodinámica Aplica, Quito – Ecuador. Email: ergutierrez@espe.edu.ec Cel. 0984533079

² Escuela Politécnica del Ejército (ESPE), Codirector de Proyecto de Tesis, Docente de la Cátedra de Toxicología, Quito – Ecuador. Email: cdcardenas@espe.edu.ec Cel. 0995692408

³ Escuela Politécnica del Ejército (ESPE), Elaborador del Proyecto de Tesis, Postulante al Título de Ingeniero en Mecatrónica, Quito – Ecuador. Email: pedro.lopez.ec@gmail.com Cel. 0984058903

⁴ Escuela Politécnica del Ejército (ESPE), Elaborador del Proyecto de Tesis, Postulante al Título de Ingeniero en Mecatrónica, Quito – Ecuador. Email: diegoxavier1988@hotmail.com Cel. 0992522654

INTRODUCCIÓN.

La deshidratación consiste en la reducción de la actividad del agua (humedad) para restringir los procesos de deterioro posibles en un producto. [1]

La deshidratación por congelación es el proceso de extraer el agua u otro solvente de un producto congelado por sublimación. Esta ocurre cuando una muestra congelada pasa directamente a la fase gaseosa sin pasar por la fase líquida. A este método se lo conoce como liofilización. Al final del proceso, las propiedades del producto se conservan, únicamente modificando su apariencia.

Se debe tomar en cuenta los procedimientos que engloban la liofilización:

- **Preparación.-** Para obtener resultados óptimos, el producto debe tener una preparación antes de ingresar a la cámara (limpiar, pelar, cortar o rallar). Los productos líquidos, como es el caso de los extractos botánicos, deben concentrarse previamente, ya sea macerándolos o usando diversos métodos para disminuir el contenido de agua, y así acelerar el proceso de liofilización.

- **Congelación inicial.-** Es un proceso previo, ajeno a esta cámara de liofilización y obligatoria. El tiempo de congelación depende de la cantidad, distribución, concentración y el tipo de producto.. Se recomienda que el producto se mantenga a temperaturas entre -10 y -15 °C para evitar el cambio de estado.

- **Desecación primaria.-** Es la etapa en la que las moléculas cristalizadas de agua se hace vapor. En este proceso se retira la mayor cantidad de humedad del producto. La temperatura y tiempo pueden ser modificados dependiendo del producto a tratar.

- **Desecación secundaria.-** Es desechar los últimos rastros de humedad ligada al producto. Necesita gran cantidad de energía, para lo cual se usan fuentes externas y poder obtener humedades menores al 10%. [2]

Para el diseño global de la máquina, se tiene presente el ambiente de trabajo, las condiciones y parámetros bajo los cuales se efectúa el proceso:

- **Alto vacío.**

Para el proceso de liofilización la presión que es ejercida es la externa, ya que dentro de la cámara se está eliminando el aire, provocando una succión uniforme mediante una bomba de vacío.

Con el alto vacío se mantiene las propiedades del producto, asegurando que se produzca la sublimación y obteniendo resultados de calidad.

Para producir la sublimación del producto, el vacío que se genera debe ser menor al punto triple (4.5 mm Hg), y así asegurar que el diagrama del proceso no cruce el límite de la fase líquida.

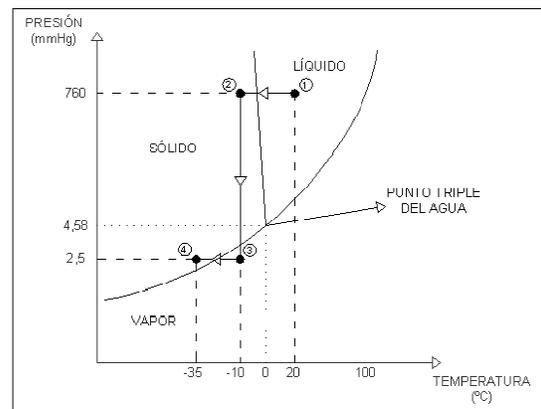


Figura 1. Diagrama de fases del agua

- **Temperatura de condensación**

Debido a la sublimación que se genera, el vapor que ocupa la cámara debe dirigirse a la etapa de condensación para evitar daños en la bomba. Uno de los sistemas aislados pero de suma importancia es el sistema de refrigeración, el cual gobierna la temperatura del evaporador, y por ende la temperatura de condensación.

- **Temperatura de calentamiento**

Ya que la liofilización demanda mucha energía, el sistema de calentamiento aporta externamente para estabilizar el proceso y poder retirar la humedad que está ligada al producto.

DISEÑO GENERAL

El fin de la máquina es soportar las condiciones a las que va a estar sujeta, y por ello es primordial tomar en cuenta el vacío que se generará dentro de la liofilizadora, ya que por ser de alto valor, se

busca implementar una geometría resistente a este tipo de cargas a presión externa, siendo la forma cilíndrica la más adecuada para estas aplicaciones ya que con esta se reduce la formación de esquinas en su diseño, las cuales son susceptibles a deformaciones.

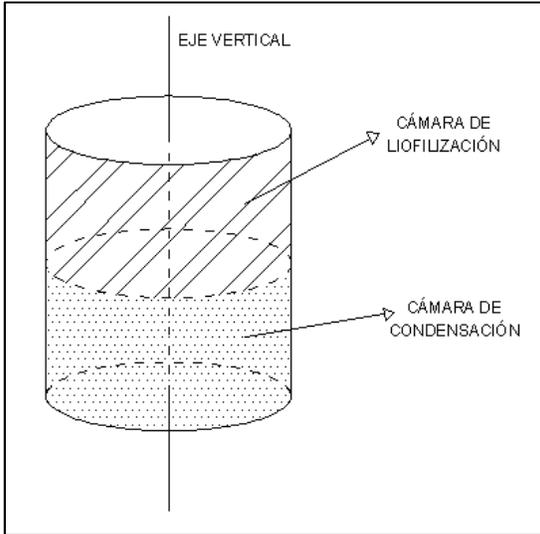


Figura 2. Diseño estructural básico de la liofilizadora.

Conociendo la estructura base, se asigna como eje principal de la máquina al vertical, contando con la cámara de liofilización en la parte superior y la sección de condensación en la parte inferior de la máquina

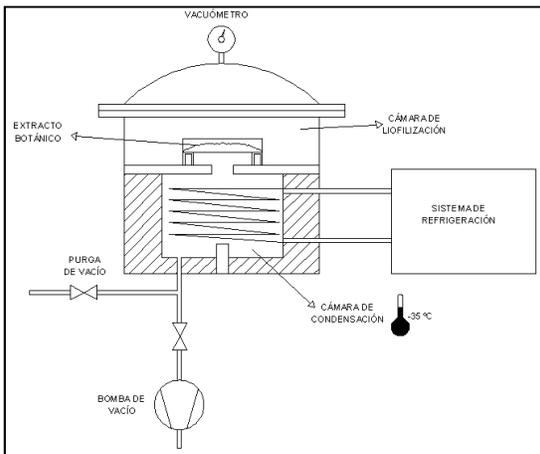


Figura 3. Diagrama del modelo liofilizador.

El equipo liofilizador cuenta con varios elementos, que cumplen su función específica:

- **Cámara de secado**

Es el sitio en el cual se deposita el producto, el cual está contenido en el portabandejas. Además aloja al sistema de calentamiento y a los sensores que controlan el proceso.

- **Sistema de calentamiento**

Está compuesto por la matriz de níquelinas que se encargan de aportar la energía externa necesaria para producir la sublimación.

- **Sistema de refrigeración**

Compuesto por la unidad condensadora, en conjunto con los elementos propios del sistema. Es el encargado de suministrar el refrigerante necesario al evaporador.

- **Cámara de condensación**

Está compuesto por el evaporador - serpentín. Por este circula el refrigerante y alcanza hasta temperaturas de $-42\text{ }^{\circ}\text{C}$, ocasionando la condensación del agua sublimada.

- **Bomba de vacío**

Es la encargada de generar el vacío necesario dentro de la cámara liofilizadora.

- **Tablero de control**

Contiene los elementos de potencia y de control. Se puede visualizar los parámetros y manipular los selectores que accionan los diferentes actuadores.

- **Estación operador**

Conformada por la PC con una interfaz HMI. Se tiene visualización y control de los parámetros.

DISEÑO MECÁNICO.

En esta sección se realizó el diseño de la cámara liofilizadora, involucrando espesores del cuerpo, tapa, aislante, análisis térmico para seleccionar la unidad condensadora y sistema de calentamiento, y bomba de vacío.



Figura 4. Diagrama del modelo liofilizador.

Obteniendo los siguientes resultados:

Espesor del cuerpo.

El análisis abarcó la selección del material a utilizar, y el espesor del mismo; obteniendo como resultado la utilización de acero inoxidable 304, con espesor de 2 mm, mediante fórmulas que involucran la presión máxima admisible (P_a), coeficientes que se establecen de acuerdo a tablas de diseño (B) y el diámetro interior del cilindro deseado (D_o). La fórmula utilizada es:

$$P_a = \frac{4B}{3\left(\frac{D_o}{t}\right)} \quad [3]$$

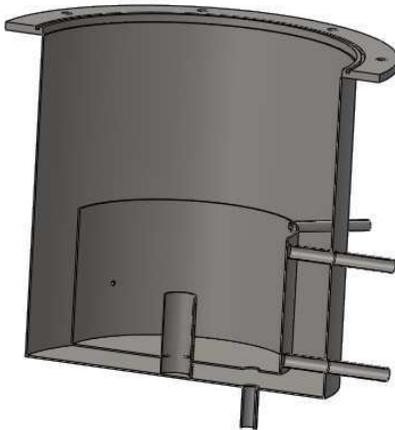


Figura 5. Estructura del cuerpo de la cámara liofilizadora.

Espesor de la tapa.

Al igual que el cuerpo, el material seleccionado es de las mismas características. La presión a la que está sujeta influye de sobremanera para el espesor, obteniendo el valor de 2 mm de acuerdo a la fórmula: $t = \frac{PLM}{2SE - P(M-0.2)}$ [3], donde: P es la presión de diseño o máxima presión de trabajo permitida (lb/pulg^2), M es un factor calculado por tablas, S es el esfuerzo del material (lb/pulg^2) y E representa la eficiencia de la junta.



Figura 6. Estructura de la cabeza de la cámara liofilizadora.

Con los espesores de la cámara de liofilización se realizó un estudio y se comprobó la resistencia de la estructura ante presiones máximas externas de 50 psi.

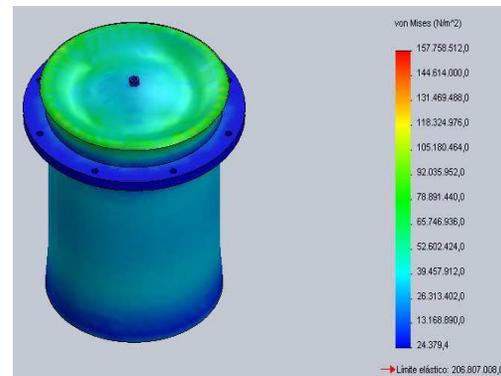


Figura 7. Comportamiento de la cámara ante tensiones aplicadas.

Aislante.

En base a la conductividad térmica de diversos materiales, se optó por la utilización de poliuretano como aislante, y espesor de pared de 60 mm, obtenido por la fórmula: $q_1 = \frac{(\theta_{si} - \theta_{se})}{R_1} W/m$ [4], la cual tiene como parámetros: q_1 que representa el flujo de calor [W/m], θ_{si} como la temperatura interior [°K], θ_{se} temperatura exterior [°K] y R_1' siendo la resistencia térmica [m °K/W].

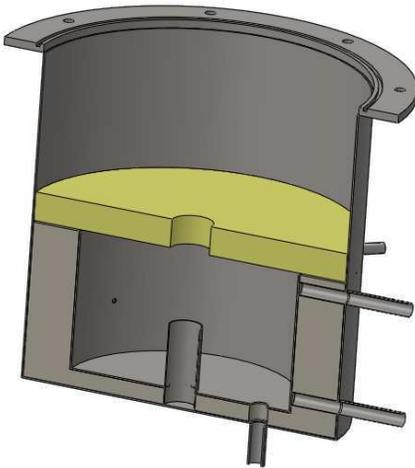


Figura 8. Aislante para cámara de condensación.

Unidad condensadora.

Para la selección de los elementos, se tuvo en cuenta la temperatura que se desea alcanzar en el evaporador (-40°C) y la carga térmica del sistema (0.35KW). En base a lo mencionado se ha seleccionado la unidad condensadora CAE2424Z. [5] utilizando el refrigerante 404-A.

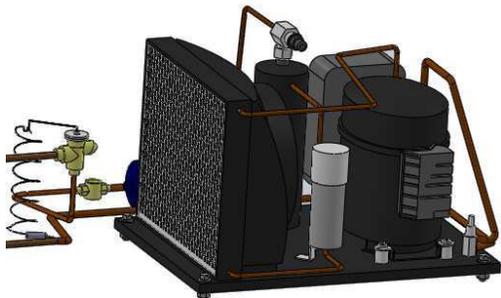


Figura 9. Elementos del sistema de refrigeración.

Sistema de calentamiento

Para el sistema de calentamiento se obtuvo la potencia (396.73 W) que requiere el sistema mediante el cálculo de la carga del producto q_p según la fórmula: $q_p = \frac{m \cdot C \cdot \Delta T}{t}$ [6], que se define por: m como la masa del producto, C representa el calor específico del producto (antes de congelarse) y t es el tiempo de enfriamiento.

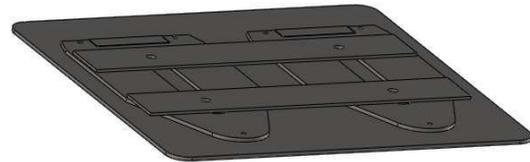


Figura 10. Niquelinas de calentamiento.

Bomba de vacío

Teniendo como referencia el nivel de vacío requerido, y la disponibilidad en el mercado, se optó por la bomba Quality Model QVP-500



Figura 11. Bomba Quality Model QVP-500

DISEÑO ELECTRÓNICO

El control esencial en un sistema de liofilización es la temperatura y el tiempo de duración de cada etapa del proceso.

Para conocer el desarrollo del proceso durante el período de liofilización, es necesario crear un registro histórico de datos sobre la temperatura en diferentes puntos de la máquina en relación con el tiempo.

Para ello se procedió a la selección de controladores digitales, después de hacer un análisis de diseño para varias alternativas.

El controlador digital seleccionado es de la marca Full Gauge, modelo MT512-Ri plus, con las siguientes características.

Alimentación:	MT512Ri → 115 ó 230 Vac ± 10% (50/60 Hz)
Temperatura de control:	-50 hasta 75°C / -58 hasta 221 °F
Corriente máxima por salida:	NA → 16(8)A/250Vac 1HP NC → 8A/250Vac
Dimensiones:	71 x 28 x 71 mm
Temperatura de operación:	0 hasta 50 °C / 32 hasta 122 °F
Humedad de operación:	10 hasta 90% HR (sin condensación)
Límite de la temperatura de la superficie de la instalación:	50 °C / 122 °F
Tipo de construcción	Regulador electrónico incorporado
Acción automática:	Tipo 1
Control de contaminación:	Nivel 2
Voltaje de impulso:	1,5 kV
Temperatura para la prueba de la presión de esfera:	75 °C y 125 °C / 167 °F y 257 °F
Insulation:	Class II

Tabla 1. Datos técnicos del controlador MT512-Riplus [7]

El controlador fue seleccionado debido a los rangos de temperatura a los cuales opera y censa. Se utilizan dos controladores, uno para la temperatura del sistema de calentamiento, y otro para la temperatura del producto

Los circuitos de control y de potencia cuentan con las debidas protecciones.

INTERFAZ HMI PARA CONTROL POR PC.

La interfaz HMI utilizada para el control y visualización es propia de los equipos Full Gauge y se la lleva a cabo bajo el software denominado Sitrad.

La primera ventana muestra la temperatura censada, tiempo de funcionamiento y el estado del

controlador. Tiene la facilidad de desplazarse entre los distintos controladores.



Figura 12. Interfaz de usuario, ventana 1.

La segunda ventana presenta los parámetros que se pueden modificar de cada controlador dependiendo de los requerimientos del operario.

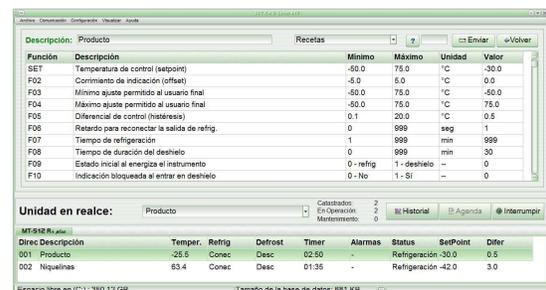


Figura 13. Interfaz de usuario, ventana 1.

RESULTADO

Las pruebas de liofilización del extracto madre de laurel, un producto utilizado comúnmente como fungicida, dio como resultado en base a varios parámetros, el nivel de hidrosolubilidad. Incluye el tiempo de duración del proceso, la cantidad máxima permitida del producto por bandeja y el tiempo de accionamiento del sistema de calentamiento. Los resultados obtenidos de varias pruebas fueron los siguientes:

Fecha de la prueba: 10 de Diciembre 2012

Producto: Extracto de laurel

Controlador: MT-512Ri plus - Producto

Controlador: MT-512Ri plus - Niquelina

Período de supervisión: 10/12/2012 10:45 hasta 10/12/2012 23:45

Temperatura del producto: Mín. = -30.2 °C; Máx.= 8.9 °C; Media = -16.5 °C

Peso inicial del producto (bandeja 1): 350 gr.

Peso inicial del producto (bandeja 2): 350 gr.
Peso final del producto (bandeja 1): 3,158 gr.
Peso final del producto (bandeja 2): 12 gr.
Porcentaje de liofilizado obtenido (bandeja 1):
 0,9022%
Porcentaje de liofilizado obtenido (bandeja 2):
 3,4285%
Tiempo de espera para encendido del sistema de calentamiento: 1 hora
Tiempo de duración de la prueba: 13 horas
Setpoint para las niquelinas: 40 °C

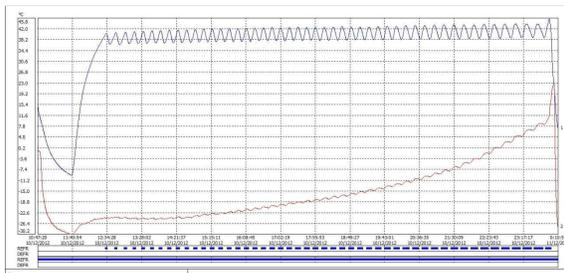


Figura 14. Gráfica obtenida a tiempo real de la prueba

Análisis de la prueba realizada:

El producto obtenido en la bandeja superior se deshidrató completamente, alcanzando un valor inferior al 1% de su peso original. En la bandeja inferior se llevó a cabo un proceso de liofilización más retardado por una disminución de temperatura en la niquelina localizada en su base debido a la cercanía con la cámara de condensación, por lo que se obtuvo restos de producto líquido en los vértices de la bandeja, sin embargo el peso se redujo al 3,4% de su valor inicial.

Resultados preliminares obtenidos.

Resultados preliminares para obtener un liofilizado en base a 700 gr de extracto de laurel:

- 13 horas de proceso de liofilización
- 1 hora de retardo en el encendido de las niquelinas
- Setpoint establecido a 40 °C para las niquelinas.

Extracto deshidratado obtenido del proceso:



Figura 15. Extracto de laurel obtenido de la prueba 4

Los resultados obtenidos son satisfactorios al alcance del proyecto planteado inicialmente por lo que se considera que la máquina se encuentra completamente funcional para desempeñar sin inconvenientes la práctica de liofilización e hidrosolubilidad en el laboratorio de Fitoquímica del IASA.



Figura 16. Escarcha presente de la humedad del producto en el serpentín

Pruebas de Espectrofotometría

En el laboratorio de química del IASA se llevaron a cabo pruebas espectrométricas y de concentración, para lo cual se empleó un espectrofotómetro de absorción de luz y varias tabulaciones del extracto para determinar su concentración.



Figura 17. Diferentes concentraciones de extracto de laurel

En el espectrofotómetro se obtiene una gráfica donde se produce un pico claramente definido, el cual indica el valor de la longitud de onda que la sustancia absorbe y la absorbancia (A) de la solución en su respectiva concentración.



Figura 18. Equipo espectrofotómetro

El proceso se repite para cada una de las muestras, obteniendo los siguientes valores:

Muestra	Absorbancia (A)
100 ml	2,472
1000 ml	0,673
Extracto madre diluido 50 veces	0,331

Tabla 2. Absorbancia obtenida de muestras de laurel a diferentes concentraciones

La concentración de una sustancia se puede obtener de la fórmula:

$$A = a * b * C$$

Donde:

- A: Absorbancia de la sustancia
- a: Coeficiente propio de la sustancia
- b: Coeficiente de acuerdo a la cápsula utilizada
- C: Concentración de la sustancia

Igualando ecuaciones y reemplazando con los datos obtenidos se determina que la concentración del extracto madre con las muestras de 100ml y 1000ml respectivamente, y el valor final representa un promedio de los datos obtenidos, el cual es:

$$C_{extracto\ madre} = 4,575\ gr/lt$$

Esta prueba indica que es necesario añadir 4,575 gr de extracto deshidratado en un litro de agua para obtener la misma concentración de la solución madre.

Finalmente, el rendimiento del equipo construido se determina con una relación entre la cantidad de producto liofilizado obtenido y la cantidad teórica que se produciría de liofilizado, obteniendo un valor del 90,34%.

Actualmente en el Ecuador, para contrarrestar ciertas plagas en los campos se aplica un litro de extracto madre de laurel por cada 19 litros de agua corriente mediante bombas de mochila, por lo que se concluye que una sesión de liofilización en el equipo construido es suficiente para obtener 20 litros de fungicida de laurel.

CONCLUSIONES

- La cantidad de producto a liofilizar incide directamente en la duración del proceso, así como su forma y especialmente su grosor ya que la capa seca que se produce en la parte superior del extracto hace cada vez más dificultosa la deshidratación del producto localizado en la base de la bandeja. Es por tanto, necesario la práctica de varias pruebas para determinar estos parámetros con cualquier tipo de producto que se desee deshidratar.
- La preparación del producto es un evento previo clave para una liofilización exitosa, y en cuanto a extractos botánicos disueltos en agua, esta consiste en granular la solución previamente congelada obteniendo un fino granizado que se esparce de forma homogénea en la bandeja, cerciorándose de que la temperatura no aumente para evitar cambios en su estado.

- Durante la construcción de la máquina es importante realizar metódicamente pruebas de hermeticidad mediante ensayos no destructivos al equipo pues la presencia de fugas en la cámara disminuye el desempeño de la bomba de vacío afectando un factor de suma importancia como es la presión necesaria en el desarrollo del proceso de liofilización.

- La utilización de un material aséptico para la construcción del equipo como el caso del acero inoxidable 304 requiere de procesos de soldadura especializados de tipo TIG, que aunque presentan un coste más elevado brinda un buen acabado con mejores propiedades de resistencia a la corrosión, ductilidad y fuerza.

- Para asegurar un sellado hermético del cuerpo de la cámara con la tapa, la presencia de un empaque de tipo O-Ring resulta fundamental pues al crear la succión por medio de la bomba, este elemento de caucho por sus propiedades físicas se contrae de tal forma que evita cualquier paso de aire hacia el interior inclusive sin la presencia de pernos en la brida.

- La toma de vacío en la cámara así como la manguera por la cual se extraerá el aire deben ser dimensionadas del mayor tamaño posible según disponga la bomba de vacío para aprovechar el máximo caudal de succión mejorando de esta manera el tiempo de creación de vacío máximo y los resultados de liofilización.

- La temperatura de la cámara de liofilización no debe ser afectada por el evaporador de la cámara de condensación, por ende los cálculos para el dimensionamiento y la selección del material de la pared del aislante deben ser adecuados y así evitar que el producto altere su proceso de liofilización.

- Durante la liofilización, al encontrarse la cámara en vacío, el método de propagación del calor es únicamente por conducción ya que para la convección no existe un medio de transferencia. Por tanto, las planchas de calentamiento deben encontrarse en contacto directo con las bandejas que contienen el producto para resultados satisfactorios del proceso.

- Para el diseño del sistema eléctrico, debido a la relativamente alta potencia de los componentes de la máquina como el sistema de refrigeración y

la bomba de vacío se deben separar los circuitos en potencia y control y así evitar daños o sobrecalentamiento en elementos como temporizadores de menor amperaje.

- El tiempo promedio de duración del proceso de liofilización para la obtención de extracto de laurel completamente seco es de 10 horas, obteniendo una deshidratación del 96% para un volumen máximo de 400 ml por bandeja.

- El diseño completo de la cámara de liofilización se realizó en base a la Norma ASME sección VIII, con lo que se garantiza el funcionamiento adecuado del equipo bajo las condiciones de trabajo establecidas para la liofilización.

- El rendimiento obtenido para la máquina es alto (90,3%) y completamente funcional para aplicaciones botánicas en control de plagas donde una cantidad pequeña de extracto deshidratado rinde para varios litros de fungicida.

RECOMENDACIONES

- El maquinado de las piezas que requieren de un pulido especial, como las bridas para asegurar un contacto superficial óptimo entre ellas, se recomienda efectuar una vez hechos los procesos de soldadura necesarios entre el resto de piezas ya que el calor que se aplica en estos procedimientos deforman los materiales y pueden causar imperfecciones notorias en su estructura.

- El proceso de liofilización requiere de una delgada capa de producto homogénea a lo largo de la bandeja utilizada, para aumentar la capacidad de liofilización del equipo se recomienda la fabricación de bandejas con un área mayor y planchas de calentamiento que cubran completamente la base de las mismas.

- El aceite utilizado en la bomba de vacío rápidamente acumula impurezas externas que pueden ocasionar daños en el actuador o disminuir el vacío máximo alcanzado por la máquina, es por eso que se recomienda su cambio cada 24 horas de funcionamiento asegurando un óptimo rendimiento del equipo liofilizador.

- Se recomienda llevar un registro continuo sobre el funcionamiento del equipo en el cual se

puedan detallar las horas de trabajo, acontecimientos importantes o fallas en caso de existir alguna y un cuadro de control periódico de los distintos elementos que necesitan mantenimiento como son la bomba de vacío y el sistema de refrigeración.

- Es recomendable encender el sistema de refrigeración una vez alcanzado un vacío de -20 pulg de Hg en la cámara de liofilización, de esta manera se asegura que la escarcha formada en el serpentín de la cámara de condensación sea extraída únicamente de la humedad propia del producto más no de la humedad del ambiente.
- El sistema de refrigeración posee un visor para supervisión del estado del refrigerante, el cual consta de un indicador por pigmentación para determinar si el refrigerante se encuentra seco o húmedo antes de ingresar a la válvula de expansión. El indicador debe mostrar una coloración verde cuando su funcionamiento es normal, en caso de presentar un color amarillento debe consultarse con un técnico especialista para su inspección y mantenimiento.
- El conexionado de las planchas de calentamiento debe ser verificado que se realice de manera adecuada, para esto un código de colores señala los pares de cables que deben conectarse entre sí para evitar un funcionamiento inadecuado del sistema de calentamiento.
- Para evitar daños en los componentes eléctricos y electrónicos dentro del tablero de control, se recomienda realizar la desconexión de los interruptores termomagnéticos cuando el equipo no se encuentre en operación.
- Para una liofilización exitosa dentro de un período menor a 13 horas se recomienda ubicar una cantidad máxima de 400 gr de producto congelado por bandeja.

BIBLIOGRAFÍA.

[1]<http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r46891.PDF>, Deshidratación: secado y liofilización.

[2] Flesia, M.A. La Conservación de sustancias perecederas por medio de la liofilización. U.T.N Fac. Reg. Santa Fe. Cátedra de Procesos Industriales. 2005.

[3] EUGENE F. MEGYESY, Diseño y cálculo de recipientes a presión, 7ma edición, México, México D.F., 1992.

[4] ISOVER, MANUAL DE AISLAMIENTO EN LA INDUSTRIA, MERCAILLAMENT, SALCADOR ESCODA S.A, Cap. 2 Aislamiento térmico.

[5] Catálogo general de compresores herméticos y grupos de condensación TECUMSEH europe, 2001.

[6] BUENAÑO L. Y ESPARZA M. Diseño y construcción de un sistema de refrigeración de conservación para laboratorio. Tesis Ing. Mec. Riobamba. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2010.

[7]<http://www.fullgauge.com/es/PDF/MT-512Riplus.pdf>, MT-512Ri plus, español, 2006