

MEMORIA DESCRIPTIVA

La presente invención consiste en un secador de fruta para la deshidratación discontinua de diversos productos agrícolas o forestales mediante flujo forzado de aire caliente

DESCRIPCIÓN DE LO CONOCIDO EN LA MATERIA

La invención a la cual el presente documento hace referencia, busca dar solución al problema de secado de productos agrícolas y/o forestales, como parte de los procesos de post-cosecha con foco específico en los frutales de nuez. Si bien hoy existen diversas soluciones para este problema técnico, la expansión e industrialización del cultivo del nogal en Chile ha dejado en evidencia una serie de desventajas de los secadores tradicionales, descripción que se detalla en lo que sigue.

En los procesos de post-cosecha de los frutos de nuez y, en particular de las nueces de nogal de exportación, el secado ocupa sin duda un importante lugar. Esta etapa es aquella que permite el almacenaje y correcta conservación del producto por periodos prolongados de tiempo, mientras que comercialmente este proceso regula de manera importante la calidad final de la fruta, basada en su color y humedad. Al mismo tiempo tiene un fuerte impacto en los consumos energéticos y costos asociados de las plantas de procesamiento industrial.

Contar con un producto mayormente color "extra light" – de acuerdo al estándar definido por Chilean Walnut Commission - permite acceder a mejores segmentos de mercado (mejor precio). Actualmente, el pago a productor de la mayor parte de las exportadoras nacionales bordea los 4 dólares por kg de nuez seca. En el caso de un producto Premium, es posible llegar a los 5 dólares mientras que nueces de baja calidad (ambar) bordean los 3 dólares. Es decir, un buen secado puede permitir un aumento del orden de 25% en el ingreso por concepto de precio de venta. Adicionalmente, permite aumentar el volumen de venta ya que mejora el acceso a diferentes mercados de exportación.

El costo de secado está actualmente asociado principalmente a la energía proveniente de los combustibles fósiles. Sólo existen iniciativas basadas en energías renovables a escala o para pequeña producción. A nivel industrial la utilización de estas alternativas es prácticamente nula. Actualmente, el costo de secado en la zona central de Chile bordea los \$120 por kg de nuez seca. Esto es, un 6% de los ingresos se destinan a costo operacional de secado. En el caso de zonas con climas más adversos el valor puede incrementarse hasta un 50%, llegando con esto a representar casi un 10% del ingreso. Desde una perspectiva global entonces, el secado impacta en los flujos de la empresa en alrededor de un 30% considerando los costos operacionales y premios por calidad.

La plantación de nueces en el sur de Chile comenzó a desarrollarse industrialmente hace sólo algunos años, representando la zona más austral donde se tenga producción de esta fruta actualmente. De esta manera, se han podido detectar recientemente los requerimientos especiales que deben considerarse para el diseño y desarrollo de plantas de secado de frutos de nuez.

Ha quedado en evidencia que las nueces cosechadas en la zona tienen un contenido de humedad muchísimo más alto al iniciar el secado (hasta 50%), lo cual sumado a las bajas temperaturas promedio, alta humedad ambiente y probabilidad de lluvia durante el período de cosecha, hacen que el proceso se dificulte enormemente.

Por otro lado, con los nuevos huertos en producción en zonas australes se ha evidenciado la gran capacidad productiva de los campos, potencial que se ha visto hasta ahora afectado por la dificultad en el procesamiento de post-cosecha, con énfasis en el secado. De esta manera, la invención aquí propuesta entrega una solución al problema del secado de frutos de nuez, con especial foco en nueces de nogal, maximizando la eficiencia energética y entregando un producto procesado de calidad, en un ciclo de tiempo y costos globales óptimos.



En este sentido, mejorar la eficiencia operacional manteniendo un costo de inversión competitivo puede representar una oportunidad de mejora importante respecto de otros competidores internacionales del mercado. Finalmente, esto se traduce en un mayor margen para el productor, mejorando las buenas perspectivas de la industria y preparándola de mejor forma para enfrentar posibles cambios en el actual ciclo positivo del fruto.

Es importante destacar que, todas las soluciones para secado de fruta en instalaciones industriales identificadas como parte de la búsqueda, funcionan en base a un flujo forzado de aire caliente. Los modelos tradicionales de secadores (conocidos en la industria como de cajón americano, rotativo francés, italiano y otros) han mostrado serias deficiencias en cuanto a costos de operación, flexibilidad operacional y calidad final de la fruta. Esto último debido principalmente al daño mecánico por partes móviles, ennegrecimiento por exposición a temperatura elevada o aparición de moho y oscurecimiento por un tiempo de ciclo demasiado extenso. Otra desventaja importante de los modelos tradicionales de secadores, es la desuniformidad de la humedad final en cada lote de fruta.

El invento en tanto es un nuevo modelo de secador discontinuo, de flujo forzado, radial, recirculable y de capacidad flexible, que permite obtener un producto extra light, con humedades de 8%-10%, en un tiempo tal que optimiza el costo global considerando inversión y operación.

Actualmente existen en el país diversos proveedores de secadores para nueces de nogal, ofreciendo soluciones tradicionales, de las cuales prácticamente ninguna es de diseño e ingeniería local. Es decir, existen principalmente importadores de esta maquinaria y maestranzas que confeccionan secadores estándar.

Existe una gran cantidad de plantas, sobretodo en la zona central, que funcionan mediante secadores de cajón o "bin" tipo americano. Se trata de una estructura metálica inclinada, auto-descargante con flujo forzado de aire, donde se ubica una capa de nueces de 1 metro de altura generalmente. Estos secadores están provistos de quemadores de gas licuado como fuente de energía. Existen varios fabricantes, los cuales básicamente construyen la estructura metálica e instalan el quemador de gas. Los equipos de ventilación en estos casos suelen ser ventiladores industriales centrífugos.

Por otra parte existen importadores o representantes de marcas europeas que comercializan en Chile secadores verticales (Facma, Chianchia, Recolt-concept). Este tipo de secador, con un fuerte nivel de ventas en el último tiempo, tiene una capa de fruta de 3 metros aproximadamente, a través de la cual pasa el flujo forzado de aire vertical – en sentido axial al silo que contiene la fruta. El aire es calentado mediante un quemador convencional de gas licuado. La temperatura se regula mediante un sistema de control mientras que la capa de nueces rota debido a la acción mecánica de un rosco motorizado eléctricamente.

Respecto de las fuentes de combustible para secadores industriales de nuez se destaca el trabajo de de la empresa Combustión Integral en instalaciones en base a biomasa generada por cáscaras de nuez. Si bien se trata de una tecnología probada y conocida hace décadas, han realizado algunas plantas piloto con éxito en aplicación específicas de secado.

En general, las soluciones existentes en el mercado nacional no satisfacen de manera óptima los requerimientos de productores y exportadores. En la zona sur del país en particular, donde el cultivo ha crecido enormemente, los malos resultados obtenidos en calidad y costos atentan gravemente contra la competitividad local.

Las alternativas existentes no consideran ni la recirculación modular-por lote- ni la reversibilidad del flujo forzado de aire. El combustible empleado en todas las aplicaciones industriales de gran tamaño es gas licuado y no existe actualmente ninguna patente originada en el país respecto de estos equipos. Actualmente la Fundación para la Innovación Agraria gestiona aportes de

financiamiento público para un proyecto denominado “Secador Verdani”, que de acuerdo a la información pública disponible busca también realizar innovación en este campo, con un nuevo diseño.

Las alternativas de secadores actualmente en uso podrían clasificarse en:

- Secador Estático:

Secador fijo de gran tamaño. Resulta energéticamente eficiente mas su costo de inversión es elevado. La flexibilidad operacional es baja y su efectividad en condiciones extremas de temperatura y humedad puede no ser óptima.

- Secado por Lote o tipo “Pothole”

Secado en base a lotes pequeños e individuales. Resulta útil para pequeños volúmenes a procesar y tiene un alto costo en mano de obra asociado al transporte de las unidades en planta

- Secador de Tolva Acoplada

Secador móvil de gran volumen que consiste en una tolva acoplable a tractor. El costo de inversión es bajo en comparación a otras alternativas. No considera recirculación de aire y debe tener un ventilador y quemador de gas separado por cada 12 toneladas en proceso. Es decir es una solución modular de gran tamaño. La capa de nueces a secar es alta.

- Secador tipo Estadio

Considera una nave de secado de gran tamaño con secadores californianos (bin de cajón) de cama alta dispuestos dentro de ella en forma de gradas. Se trata de una instalación de gran capacidad y bajo costo de mano de obra. La inversión inicial es relativamente alta y la flexibilidad operacional baja.

- Secador de Grano

Secador de grano tradicional en silo. Es útil para grandes lotes y no considera recirculación de aire.

Cabe destacar que estas soluciones están orientadas al productor, procesador y exportador norteamericano, cuyo producto final se caracteriza por tener una calidad baja respecto a la nuez chilena (enfoque en volumen).

De las alternativas de secadores anteriores, no existe ninguna que tenga un desempeño óptimo en términos del color y humedad de la fruta para el sur de Chile, manteniendo una eficiencia en costos globales.

El mercado europeo ha desarrollado una alternativa con las siguientes características básicas

- Secador “Europeo” (recolt-concept, Chianchia, Facma entre otros fabricantes)

Secador modular de pequeña escala (3 ton) con flujo vertical/axial de aire y movimiento de la fruta mediante acción mecánica de rosco metálico. Control de flujo de aire y temperatura mediante sensores. El costo de inversión en Chile resulta elevado y su efectividad operacional es media.

Estos tipos de secador consideran esencialmente gas como combustible.



En particular, la invención busca tener un flujo radial y recirculable de aire caliente, en una disposición geométrica que garantice homogeneidad del producto final y un secado rápido y costo-eficiente. Se trata además de una geometría de cama baja, donde la presión estática del flujo de aire requerida es menor al mismo tiempo que se ven mejoradas las características del producto final.

Además, la invención considera una capacidad de lote variable por cada módulo, de manera de entregar flexibilidad operacional y ajustarse así de manera rápida a los flujos de fruta a secar, determinados por los flujos de cosecha.

El hecho de que el flujo de aire sea externo y radial permite tener un mayor flujo de aire en la capa más húmeda de la fruta, lo cual tiene un impacto relevante en homogeneidad y tiempos de ciclo. Se minimizan las pérdidas de energía mediante recirculación local del flujo de aire. Además, el invento permite la generación de calor mediante diferentes fuentes de energía, incluyendo renovables (biomasa, solar), de manera sencilla por no requerir de ductos de ventilación.

La solución a patentar ha demostrado además ser competitiva en costo de inversión respecto de los secadores modulares tradicionales que actualmente se comercializan en el país y el resto del mundo, asegurando así generar un valor agregado a la industria y a una competitividad efectiva.

Finalmente, como parte de la búsqueda del estado del arte, no se han encontrado patentes específicas que se acerquen a la invención aquí propuesta.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS (FIGURAS)

Figura 1. Vista principal del secador y sus componentes

Figura 2. Vista isométrica del secador y sus componentes

Figura 3. Vista principal del secador y etapas del flujo de aire de secado

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La invención corresponde esencialmente a un dispositivo secador de fruta para la deshidratación discontinua de diversos productos agrícolas o forestales mediante flujo forzado, radial y recirculable de aire caliente. El secador se caracteriza porque considera un proceso de transferencia de calor y masa mediante intercambio directo con la materia a secar, dispuesta en una cámara de deshidratación de sección anular(4), rodeada de una cámara de aspiración exterior (5), la que a su vez es rodeada por una cámara de recirculación (6), todas dispuestas de manera concéntrica y vertical al suelo.

Además, una cuarta cámara, denominada cámara de aspiración interior (7), de geometría cilíndrica se ubica en el centro de la sección anular de la cámara de deshidratación (4), sirviendo como sistema de aspiración, a través del cual un ventilador (3) aspira aire que fluye en forma radial a la cámara de deshidratación (4) que contiene la materia o producto a secar.

La estructura de las paredes de la cámara de deshidratación (4) y de la cámara de aspiración interior (7) son permeables al flujo de aire, de manera de permitir el paso de este en forma radial a ambos cilindros concéntricos. Dependiendo de las características de lo que se desea secar, se definen las características estructurales específicas. Por ejemplo, para secado de nueces de nogal, se podrá utilizar una malla de metal desplegado cuya apertura sea inferior a 26mm (calibre mínimo de la nuez). La materia a secar es cargada en la cámara de deshidratación (4) a través del domo de recirculación (2), el cual mediante un sistema de escotillas común permite el flujo gravitacional del producto hacia el interior. Una vez terminado el ciclo de secado, el equipo es auto-descargado también de manera gravitacional, abriendo las compuertas de descarga (10) ubicadas en el fondo de la cámara de deshidratación (4). La estructura completa es soportada mediante los pilares de soporte (11).



El aire de secado, una vez aspirado por el ventilador (3), es impulsado hacia un domo de recirculación (2), el cual en su parte más alta posee un templador regulador de caudal (1) que permite controlar el flujo de aire de secado que es expulsado directamente hacia el exterior del equipo, regulando así el proceso de recirculación de aire en busca de una máxima eficiencia energética en el proceso.

La porción de aire que es recirculado, es nuevamente aspirada por el ventilador (3) hacia la parte inferior de la cámara de deshidratación (4), donde se mezcla con el aire de secado nuevo y se distribuye verticalmente sobre la pared exterior de la cámara de deshidratación (4) para luego fluir de forma radial a la materia dispuesta para secado. Este proceso de recirculación, el cual resulta relevante para maximizar la eficiencia del proceso global, es posible gracias a que la cámara de deshidratación (4) consta de una cámara de aspiración exterior (5), la cual mediante un manto cilíndrico separa el flujo ascendente de aire de secado de aquel descendente proveniente del domo de recirculación (2). Además, un segundo manto cilíndrico conforma la cámara de recirculación (6) y permite que el aire recirculado descienda para re-iniciar el ciclo y mezclarse con aire de secado nuevo, proveniente de la admisión de aire caliente (8).

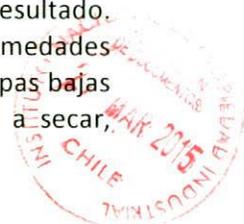
El equipo puede utilizar diversas fuentes de energía (9) para calentar el aire de secado: quemador de gas natural o gas licuado, caldera de biomasa o cualquier otro proceso que, mediante sistemas tradicionales de intercambio térmico, pueda proporcionar la potencia requerida para el proceso. Esta fuente de energía (9), calienta el aire atmosférico que es aspirado por el ventilador (3).

La configuración básica del equipo está conformada por el ventilador (3), la cámara de deshidratación (4), la fuente de energía (9), las compuertas de descarga (10) y los pilares de soporte (11). Mediante la sola disposición de estos componentes bajo la configuración descrita, es posible secar con el flujo radial del aire caliente. De esta forma, el domo de recirculación (2), la cámara de aspiración exterior (5) y la cámara de recirculación (6), corresponden a un sistema adicional incorporado en el equipo con la finalidad de recircular controladamente el flujo de aire. Desde la perspectiva comercial por ejemplo, la invención podrá comercializarse ofreciendo los componentes de recirculación como un "kit" adicional. Con o sin él, la invención ya presenta ventajas significativas respecto de alternativas tradicionales disponibles.

Para comprender de manera simple el ciclo termodinámico que la invención considera, se ha incluido la figura 3. Aquí, es posible observar que en la etapa 12, el aire atmosférico es aspirado a través de la admisión de aire caliente (8), donde fluye a través de un sistema intercambiador de calor, el cual entrega la potencia necesaria para elevar la temperatura hasta el punto deseado en la etapa 13. Luego, el flujo continúa hacia la cámara de aspiración exterior (5), donde el volumen de aire de secado nuevo entra en contacto con la fracción recirculada – etapa 14. Gracias a la acción del ventilador (3), el aire en 14 fluye radialmente a través de las paredes permeables de la cámara de deshidratación (4). Es aquí donde ocurre la transferencia de masa desde la materia a secar y el flujo de aire – etapa 15.

El aire en 16 estará entonces más húmedo y frío, para pasar a la etapa 17, donde el templador regulador de caudal (1) en el domo de recirculación (2) regulará cuánto aire será recirculado y cuánto será expulsado nuevamente a la atmósfera, pasando a la etapa 18.

Según la anterior descripción del equipo y del ciclo termodinámico involucrado, se desprenden diversas ventajas directas respecto de los modelos convencionales de secadores. En primer lugar, el flujo radial hace que el aire de secado aumente su velocidad a medida que avance a través de la materia a secar, a la vez que éste gana humedad y pierde temperatura. Esto se traduce en un aumento en la homogeneidad del proceso, lo que permite secar en capas de mayor espesor, obteniendo un producto con una humedad homogénea como resultado. Secadores tradicionales hacen que las primeras capas de producto a secar tengan humedades mucho menores que aquellas más profundas, teniendo que limitar las geometrías a capas bajas o bien debiendo implementar sistemas mecánicos que permitan mover la materia a secar,



mientras que secadores de lecho fluidizado resultan poco eficientes energéticamente y con un costo global elevado. En este caso la aceleración del aire debida al flujo radial, resuelve de manera innovadora ese problema.

Por otra parte, el equipo considera un secador de "batch" (lote) o discontinuo que a la vez permite una recirculación individual controlada. Es decir, es posible controlar que porción del aire de secado es posible recircular, de manera de maximizar la eficiencia global, manteniendo los parámetros termodinámicos requeridos por el producto o materia a secar. Esto, mientras que los diseños convencionales únicamente hacen posible la recirculación a nivel global, de acuerdo a la disposición establecida por varios equipos en línea dentro de una misma planta, lo cual aumenta las pérdidas térmicas y la imprecisión en el control del proceso de flujo de aire.

La operación del equipo puede ser controlada de manera electrónica e incluso remota mediante un sistema de programador lógico lineal (PLC). Este sistema monitorea las variables de temperatura y humedad relativa en diferentes puntos del proceso, además del peso contenido de la cámara de deshidratación (4). De acuerdo a los valores de estas variables se controlará la apertura o cierre del templador regulador de caudal (1) y el encendido o apagado de la fuente de energía (9). El proceso tendrá así un nivel de automatización casi completo, requiriendo de mínima supervisión operacional.

Por último, la geometría, de fácil construcción y de control individual permite desarrollar plantas de secado con óptimos costos globales y gran flexibilidad operacional, pudiendo adaptar su capacidad de manera rápida y eficiente.

EJEMPLO DE APLICACIÓN

La invención en cuestión ha sido probada para el secado de nueces de nogal en la zona sur de Chile, donde las condiciones climáticas y de humedad inicial del fruto al momento de la cosecha resultan muy desfavorables para tecnologías tradicionales.

De esta manera, se han desarrollado pruebas que muestran la efectividad de la invención en el sentido de minimizar los tiempos de ciclo de secado y consumos energéticos a un costo de inversión competitivo. Esto último, principalmente gracias que las partes y piezas de la invención son de fácil manufactura y montaje, permitiendo además un diseño escalable para cualquier tamaño de planta.

Para el secado de nueces, los frutos con una humedad inicial en torno al 40% son cargados por la parte superior de la cámara de deshidratación (4), a través de compuertas abatibles ubicadas en el domo de recirculación (2). Por acción de la gravedad, la fruta que es elevada tradicionalmente mediante sistema de correas transportadoras, cae hacia el interior de la cámara de deshidratación (2) distribuyéndose de manera homogénea hasta el llenado total.

Luego, un sistema de control automático conectado a la fuente de energía (9) inicia el ciclo del proceso, dando arranque al ventilador (3) y encendiendo la fuente. Al final del proceso, las nueces deben tener un contenido de humedad promedio de 8%, lo que garantiza su correcta conservación por periodos prolongados de tiempo.

El ciclo tendrá una duración aproximada de 24 horas, dependiendo de los parámetros de operación del secador, las condiciones de humedad relativa y temperatura ambiente y la humedad inicial de la fruta. El sistema de control posee sensores en las paredes de la cámara de deshidratación (4), que permiten monitorear la temperatura y humedad relativa del flujo de aire, de esta forma es posible automatizar la detención del proceso en el momento oportuno. Adicionalmente, es posible extraer muestras de fruta en la cámara de deshidratación (4) para ir



monitoreando periódicamente y comparar además con el peso neto que es monitoreado por el sistema de control.

Una vez que la fruta está seca, las compuertas de descarga (10) se abren para descargar sobre correas transportadoras, cajas, sacos u otro sistema de recepción de producto seco.

El flujo radial de aire permitirá que las capas internas y externas de nueces en la cámara de deshidratación (4) tengan humedades muy similares, debido a la aceleración del flujo de aire. La homogeneidad del secado permite aumentar el espesor de la capa de nueces a dimensiones de 1 metro o más, posibilitando geometrías específicas versátiles. Además, el efecto del flujo radial mediante la homogeneidad de la humedad en la capa de secado, evita el sobre secado. Es decir, para un secador tradicional el promedio de humedad deberá ser 8%, lo cual implica que las nueces de las primeras capas del secador tengan humedades inferiores (del orden de 6%), para que la media con aquellas superiores (con humedades en torno a 10%) sea la requerida.

El secador ha sido probado en base a diversas áreas de mejora respecto de soluciones tradicionales, de las cuales se destacan: eficacia, medido como la capacidad de obtener un producto de calidad "Premium", eficiencia energética, medido como el consumo de energía por kilogramo de nuez seca, eficiencia en costos, medido como el costo global por capacidad de secado y la operatividad, medido como los tiempos de carga y descarga del equipo. En relación a la eficacia, es importante considerar que las nueces de nogal definen su calidad, en base al estándar de Chilean Walnut Commission, de acuerdo al color de la pulpa. Mientras más clara sea esta, mejor será la calidad del fruto y su acceso a mercados de países desarrollados. Este color se define como "extra light", y la proporción de este tono respecto del total está fuertemente influenciado por el proceso de secado. Mientras antes se coseche y seque la fruta una vez madura, más claro será el color final de la pulpa.

La tabla 1 a continuación sintetiza las variables medidas en la invención y los resultados generales obtenidos

Tabla 1.- Variables medidas en la invención y resultados obtenidos

	VARIABLE	DEFINICIÓN	SECADORES TRADICIONALES	INVENCION	
1	Eficacia	Q	$Q [\%] = \left[\frac{\text{Kg de nuez partida color extra light}}{\text{Kg de nuez totales}} \right] \cdot 100$	65%	90%
2	Eficiencia Energética	η_e	$\eta_e = \left[\frac{\text{energía térmica} + \text{energía eléctrica}}{\text{Kg de nuez seca}} \right] \left[\frac{\text{kWh}}{\text{kg}} \right]$	0,8 [kWh/Kg]	0,6 [kWh/Kg]
3	Eficiencia Costos	η_c	$\eta_c = \left[\frac{\text{Costo Inversión Anualizado} + \text{Costo Operacional}}{\text{Capacidad de Secado}} \right] \left[\frac{\$}{\text{kg/día}} \right]$	2.153 [\$/kg/día]	1.000 [\$/kg/día]
4	Operatividad	OP	$OP = (\text{Tiempo de carga} + \text{Tiempo descarga} + \text{Tiempo Operación}) \cdot \text{cantidad operadores [min]}$	100 [min]	20 [min]



PLIEGO DE REIVINDICACIONES

1. Secador de fruta para la deshidratación discontinua de diversos productos agrícolas o forestales mediante flujo forzado de aire caliente, CARACTERIZADO porque comprende cuatro cámaras cilíndricas concéntricas que se configuran en una cámara de aspiración interior (7), rodeada por una cámara de deshidratación (4) de sección anular, rodeada por una cámara de aspiración exterior (5), rodeada por una cámara de recirculación (6), donde la cámara de aspiración exterior está conectada con un ducto de admisión de aire caliente (8) y con la cámara de recirculación en (6) su parte inferior.
2. Secador de fruta para la deshidratación discontinua de diversos productos agrícolas o forestales mediante flujo forzado de aire caliente, de acuerdo a la reivindicación N° 1 CARACTERIZADO porque en la parte superior de la cámara de aspiración interior (7) se dispone un ventilador (3), el cual succiona el flujo de aire desde la cámara de aspiración exterior (5), haciendo que este fluya radialmente y con dirección al centro con respecto a la cámara de deshidratación (4).
3. Secador de fruta para la deshidratación discontinua de diversos productos agrícolas o forestales mediante flujo forzado de aire caliente, de acuerdo a la reivindicación N° 1 CARACTERIZADO porque en la parte superior de la cámara de recirculación (6) se dispone un domo de recirculación (2), que permite controlar qué fracción del aire de secado será recirculado mediante un templador regulador de caudal (1).



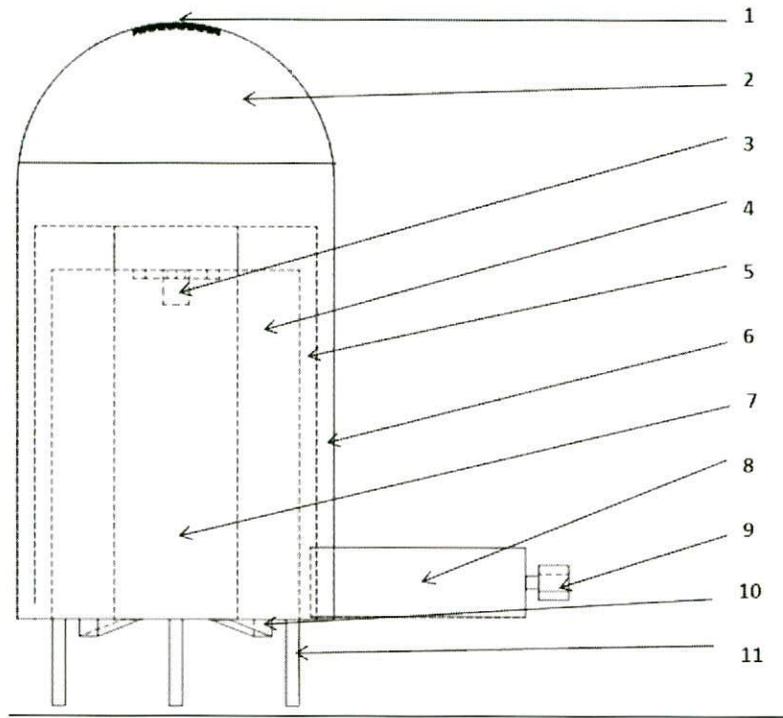


Figura 1

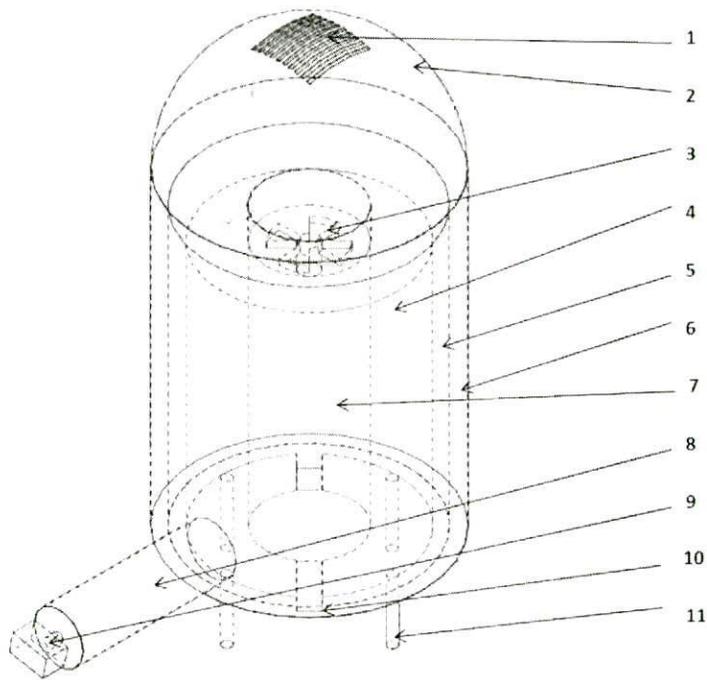


Figura 2



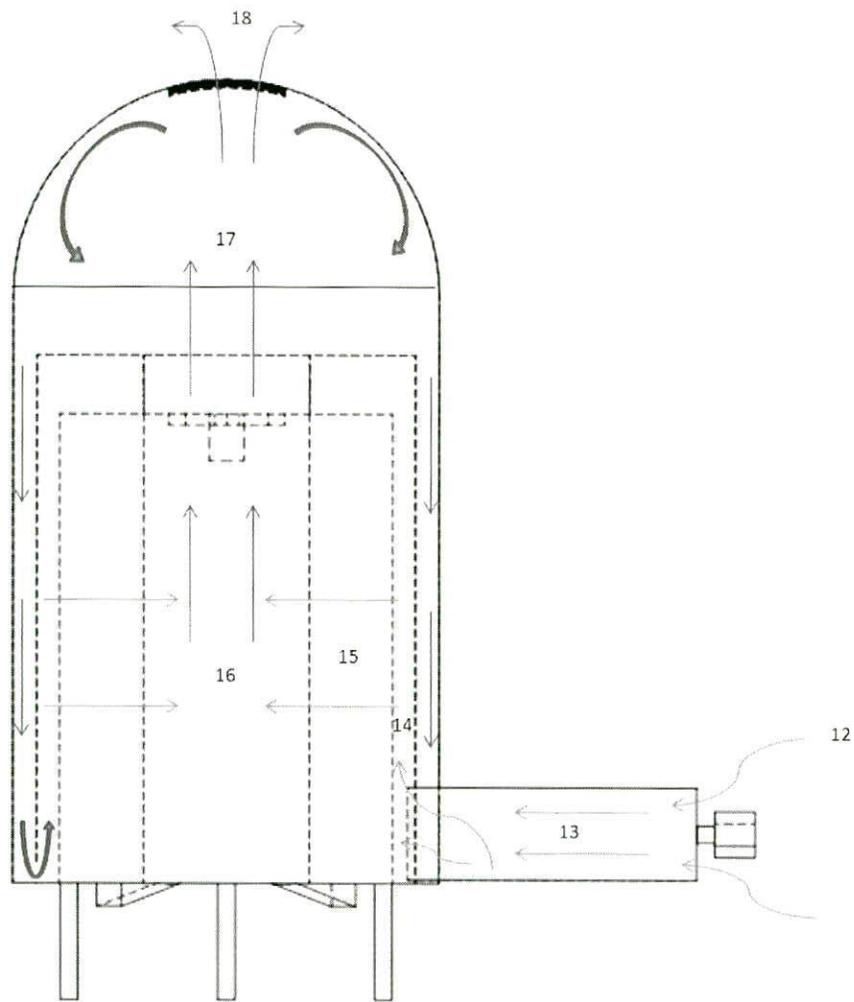


Figura 3

