

Téc. Magali Parzanese

En la ficha anterior se hizo referencia a la necesidad de conservar alimentos mediante métodos que además de prolongar la vida útil de los productos, preserven sus cualidades organolépticas. Para esto se desarrollan diferentes técnicas y otras ya existentes continúan evolucionando a fin de aumentar el rendimiento, bajar costos, lograr mejoras en determinados parámetros de calidad de los alimentos (textura, sabor, color), entre otras cosas.

Tal es el caso de la liofilización, que se basa en el desecado de determinados materiales por medio de la sublimación del agua contenida en éstos. Se realiza congelando el producto y se remueve el hielo aplicando calor en condiciones de vacío, de esta forma el hielo sublima evitando el paso por la fase líquida.

Dicha técnica constituye un efectivo sistema de preservación de elementos biológicos como células, enzimas, vacunas, virus, levaduras, sueros, algas, frutas, vegetales y alimentos en general. Todos estos materiales contienen sustancias volátiles o termosensibles que no se ven afectadas por este proceso, ya que se trabaja a temperaturas y presiones reducidas. Lo más importante del método es que no altera la estructura fisicoquímica del producto y admite su conservación sin cadena de frío, ya que su bajo porcentaje de humedad permite obtener un producto con elevada estabilidad microbiológica. Asimismo, el hecho de no requerir refrigeración facilita su distribución y almacenamiento.

El proceso de liofilización tiene sus orígenes en el Imperio Inca, en el altiplano andino a 4000 metros sobre el nivel del mar. Allí los pobladores realizaban y continúan realizando un producto denominado Chuño, resultado de la deshidratación de la papa. La técnica consiste en dejar las papas cosechadas sobre el suelo, de manera que durante la noche se congelen como consecuencia de las muy bajas temperaturas, y durante el día el sol y el viento seco produzcan el cambio de estado del agua (desde el sólido al vapor sin mediar la fase líquida). Con el paso de los años se desarrolló industrialmente esta técnica de conservación que integra dos métodos confiables: la congelación y la deshidratación.

El desarrollo comercial de este proceso se produjo durante la Segunda Guerra Mundial, donde se utilizó para conservar plasma sanguíneo y en la preparación de los primeros antibióticos de penicilina. Años después, alrededor de 1960, comenzó a utilizarse la misma tecnología sobre una gran variedad de productos, entre ellos los alimentos.

Actualmente se aplica en industrias farmacéuticas, para preservar antibióticos, vacunas (por ejemplo la vacuna del sarampión), plasma, hemoderivados, vitaminas, extractos, leche materna.

En la industria química, la técnica se emplea para el preparado de catalizadores, secado de materiales orgánicos, preservación de animales (taxidermia), conservación de documentos y libros antiguos, entre otros.

Con relación a la industria de los alimentos, se comenzó a utilizar en la fabricación de productos especiales para montañistas, astronautas, bases militares y otros similares. Desde hace un tiempo se comercializan liofilizados tanto como ingredientes industriales como para el consumidor en general, ampliándose así el mercado de estos productos de alto valor agregado.

APLICACIONES EN LA INDUSTRIA DE LOS ALIMENTOS

SECTORES	PRODUCTOS LIOFILIZADOS
Cárnicos	Carne bovina
	Carne aviar: pechuga de pollo, pechuga de pavo, muslo de pollo.
	Carne porcina: jamón, lomo.
Frutas	Frutillas. Fresas, banana, ananá, moras, frambuesa.
Vegetales	Espárrago, choclo, zanahoria, brócoli, coliflor, apio, papa, hongos, aceituna, espinaca, ajíes, arroz, arvejas, cebolla.
Quesos	Queso Prato, Queso Mozzarella, Queso Provolone, Queso Blanco.
Otros	Café, sopas, zumos de frutas, levaduras, caldos, salsas, especias, champignones.

Por medio de la liofilización se puede extraer más del 95% del agua contenida en un alimento, lo que se traduce en un gran beneficio con relación al costo del transporte, ya que permite cargar mayor cantidad de mercadería sin necesidad de cadena de frío (se logra un producto más estable microbiológicamente).

Al finalizar el proceso de liofilización, el alimento se convierte en una estructura rígida que conserva la forma y el volumen pero con peso reducido, preservando sus características nutritivas y organolépticas. Al rehidratarlo se recuperaran la textura, el aroma y el sabor original.

Algunos alimentos liofilizados



Cebolla roja



Pimiento rojo



Orégano



Banana

Los alimentos pueden ser liofilizados en diferentes formatos: cubos, deshilachado, tiras, picado, granulado o polvo, y luego pueden ser utilizados como ingredientes industriales en la fabricación de snacks, sopas instantáneas, salsas, caldos en polvo, caldos en cubos, cup noodles, puré instantáneo, mezclas para risotto, condimentos para "Lamen", entre otros.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Valorización y potenciación de las producciones primarias. ✓ Ausencia de temperaturas altas, por lo que previene el daño térmico. ✓ Conservación, fácil transporte y almacenamiento de los productos. ✓ Inhibición del crecimiento de microorganismos, estabilidad microbiológica. ✓ Recuperación de las propiedades del alimento al rehidratarlo. ✓ Ausencia de aditivos y/o conservantes. ✓ Mantenimiento del valor nutricional del alimento. ✓ Empleo de vacío, estabilidad química. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Largo tiempo de procesamiento. ✓ Alto consumo de energía, en algunos casos. ✓ Costo de inversión inicial alto.

LIOFILIZACIÓN - CONCEPTO

Una sustancia pura puede existir como sólido, líquido o gas y puede cambiar de estado por medio de un proceso en el cual libera o absorbe calor a temperatura constante (calor latente), de esto depende hacia donde se direcciona dicho cambio.

El cambio de fase de sólido a gas o sublimación, debe realizarse en condiciones de presión y temperatura menores a las del punto triple (punto en el que conviven los tres estados de la materia), ya que por debajo de éste no existe la fase líquida. En el caso del agua el punto triple se encuentra a 4,58 Torr y 0,008 °C. Por ejemplo si se tiene agua congelada, al calentarla a una presión menor a la de dicho punto el hielo sublima.

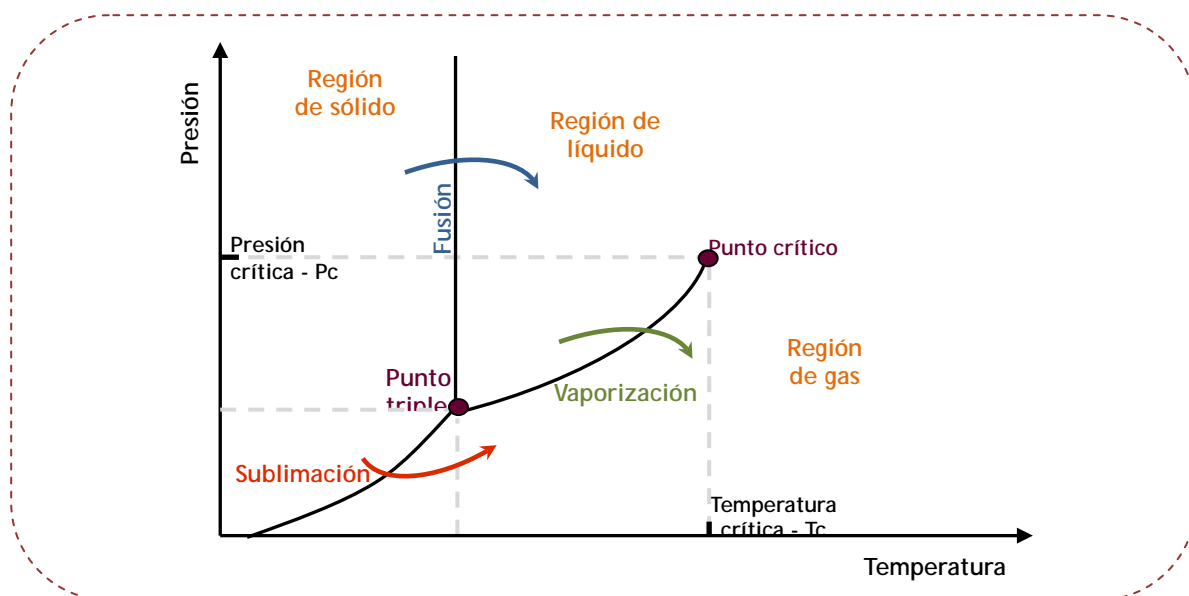


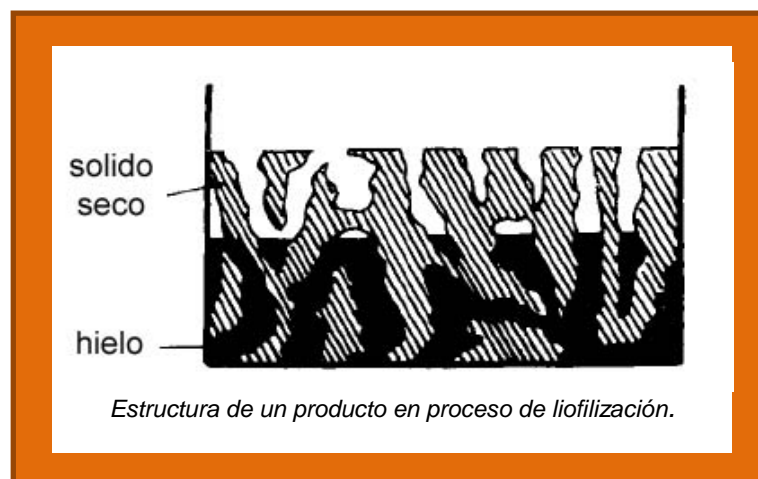
Diagrama de cambios de fase

Las sustancias moleculares disueltas en el agua disminuyen su punto de fusión (descenso crioscópico), por esto es conveniente describir el enfriamiento y posterior congelación de una solución de este tipo en varias etapas. Al bajar la temperatura de una solución, inicialmente se produce un subenfriamiento que origina los núcleos de cristalización, luego la temperatura aumenta hasta la de equilibrio. A partir de ese momento comienzan a desprenderse los cristales de hielo puro, por lo que la solución se concentra hasta alcanzar la menor temperatura a la cual puede existir solución en equilibrio con hielo, denominada temperatura eutéctica. Por debajo de esta temperatura debería existir, idealmente, equilibrio entre hielo y soluto.

Sin embargo las soluciones que contienen polímeros naturales como azúcares no cristalizan en este punto, sino que aumentan su viscosidad a medida que disminuye la temperatura y el agua se congela. Esta etapa finaliza cuando el sistema alcanza su temperatura de transición vítrea, donde su viscosidad aumenta significativamente en un pequeño rango de temperatura dando lugar a un sólido amorfo y frágil. Con relación a la conservación de alimentos, es importante destacar que el flujo viscoso dentro de este sólido es prácticamente nulo, casi no existe flujo de materia, lo que evita que ocurran reacciones químicas.

Cabe aclarar que no toda el agua que compone un alimento está disponible para que los microorganismos puedan llevar a cabo sus actividades metabólicas, solo el agua libre cumple dicho propósito. El contenido de agua libre en un alimento se define como a_w – actividad de agua. Al deshidratar un producto su disponibilidad de agua (libre) disminuye drásticamente.

Para eliminar entonces la mayor parte del agua libre contenida en el sólido obtenido, se le debe entregar calor a fin de lograr la sublimación total del hielo, cuidando que la temperatura del producto se mantenga siempre por debajo de su temperatura de transición vítrea. Al final de este cambio de fase se obtiene un producto que conserva el volumen y tamaño original, presentado la forma de un vidrio altamente poroso.



Estructura de un producto en proceso de liofilización.

Fuente: FLESIA, Miguel Ángel. Universidad Técnica Nacional. Facultad Regional Santa Fé. Ingeniería Industrial. Procesos Industriales – La conservación de sustancias perecederas por medio de la liofilización.

La ventaja de esta estructura es que permite una rápida rehidratación, no obstante es frágil por lo que requiere de una protección que prevenga los posibles daños ocasionados por una inadecuada manipulación. Asimismo, debido a la porosidad de dicha estructura es necesario realizar el empaque del producto de forma tal que se evite la penetración de oxígeno, a fin de impedir procesos oxidativos sobre los lípidos.

PROCESO DE LIOFILIZACIÓN

La liofilización involucra cuatro etapas principales:

1. PREPARACIÓN
2. CONGELACIÓN
3. DESECACIÓN PRIMARIA
4. DESECACIÓN SECUNDARIA

Antes de comenzar el proceso, es fundamental el acondicionamiento de la materia prima, ya que los productos liofilizados no pueden ser manipulados una vez completado el proceso. Lo que suele hacerse con alimentos como guisantes o arándanos es agujerear la piel con el objetivo de aumentar su permeabilidad. Los líquidos, por otro lado, se concentran previamente con el fin de bajar el contenido de agua, lo que acelera el proceso de liofilización.

La segunda etapa se lleva a cabo en congeladores independientes (separados del equipo liofilizador) o en el mismo equipo. El objetivo es congelar el agua libre del producto. Para ello se trabaja a temperaturas entre -20 y -40°C.

Para la optimización de este proceso es fundamental conocer y controlar:

- La temperatura en la que ocurre la máxima solidificación.
- La velocidad óptima de enfriamiento.
- La temperatura mínima de fusión incipiente.

Con esto se busca que el producto congelado tenga una estructura sólida, sin que halla líquido concentrado, de manera que el secado ocurra únicamente por sublimación.

En los alimentos se pueden obtener mezclas de estructuras luego de la congelación, que incluyen cristales de hielo eutécticos, mezclas de eutécticos y zonas vítreas amorfas. Estas últimas se forman por la presencia de azúcares, alcoholes, cetonas, aldehídos y ácidos, así mismo como por las altas concentraciones de sólidos en el producto inicial.

Respecto de la velocidad de congelación se debe tener en cuenta lo siguiente:

VELOCIDAD DE CONGELACIÓN	
CONGELACIÓN RÁPIDA	CONGELACIÓN LENTA
<ul style="list-style-type: none"> ✓ La temperatura de los alimentos desciende aproximadamente unos 20°C en 30 minutos. ✓ Cristales pequeños. ✓ Al rehidratarse conservan textura y sabor original. ✓ Apariencia clara del producto seco. ✓ Se aplica en alimentos sólidos, ya que evita la ruptura de la membrana o pared celular y estructuras internas. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ La temperatura deseada se alcanza en 3 a 72 horas (aparatos domésticos de congelación). ✓ Cristales grandes. En su formación causan ruptura de la membrana o pared celular y estructuras internas. ✓ Al hidratarse presentan textura y sabor diferente al original. ✓ Apariencia oscura del producto seco. ✓ Se aplica en líquidos, ya que la formación de cristales grandes favorece la presencia de canales para el movimiento del vapor de agua.

La tercera etapa del proceso consiste en la desecación primaria del producto, por sublimación del solvente congelado (agua en la mayoría de los casos).

Para este cambio de fase es necesario reducir la presión en el interior de la cámara, mediante una bomba de vacío, y aplicar calor al producto (calor de sublimación, alrededor de 550 Kcal/Kg en el caso del agua), sin subir la temperatura. Esto último se puede hacer mediante conducción, radiación o fuente de microondas. Los dos primeros se utilizan comercialmente combinándose su efecto al colocarse el producto en bandejas sobre placas calefactoras separadas una distancia bien definida. De esta manera se consigue calentar por conducción, en contacto directo desde el fondo y por radiación, desde la parte superior. Por otro lado la calefacción por medio de microondas presenta dificultad porque puede provocar fusión parcial del producto, debido a la potencial formación de puntos calientes en su interior; por lo cual actualmente no se aplica comercialmente. Los niveles de vacío y de calentamiento varían según el producto a tratar.

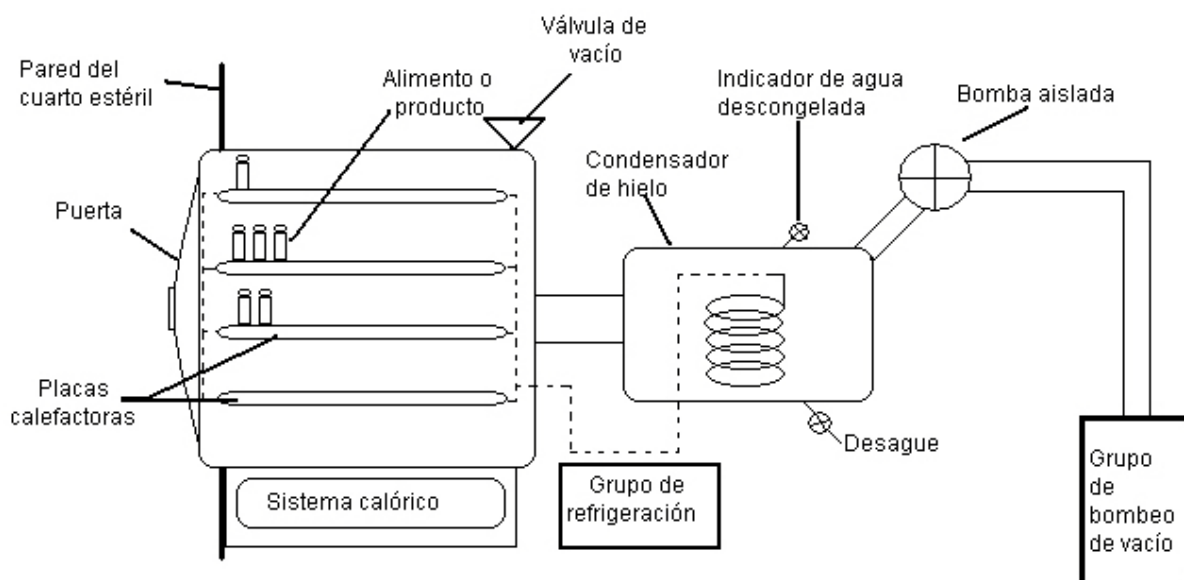
Al inicio de esta tercera etapa, el hielo sublima desde la superficie del producto y a medida que avanza el proceso, el nivel de sublimación retrocede dentro de él, teniendo entonces que pasar el vapor por capas ya secas para salir del producto. Este vapor, se recoge en la superficie del condensador, el cual debe tener suficiente capacidad de enfriamiento para condensarlo todo, a una temperatura inferior a la del producto.

Para mejorar el rendimiento de esta operación, es primordial efectuar controles sobre la velocidad de secado y sobre la velocidad de calentamiento de las bandejas. El primero se debe a que si el secado es demasiado rápido, el producto seco fluirá hacia el condensador junto con el producto seco. Produciéndose así una pérdida por arrastre de producto. El segundo de los controles, debe realizarse siempre ya que si se calienta el producto velozmente, el mismo fundirá y como consecuencia el producto perderá calidad. Para evitarlo la temperatura de los productos debe estar siempre por debajo de la temperatura de las placas calefactoras mientras dure el cambio de fase. No obstante, al finalizar la desecación primaria, la temperatura del alimento subirá asintóticamente hacia la temperatura de las placas.

Para tener una liofilización buena y rápida es necesario poder controlar exactamente esta temperatura y tener la posibilidad de regular la presión total y parcial del sistema.

La cuarta y última etapa del proceso de liofilización, se trata de la desecación secundaria del producto por medio de desorción. Esta consiste en evaporar el agua no congelable, o agua ligada, que se encuentra en los alimentos; logrando que el porcentaje de humedad final sea menor al 2%. Como en este punto no existe agua libre, la temperatura de las bandejas puede subir sin riesgo de que se produzca fusión. Sin embargo, en esta etapa la presión disminuye al mínimo, por lo que se realiza a la máxima capacidad de vacío que pueda alcanzar el equipo. Es importante, finalmente, controlar el contenido final de humedad del producto, de manera que se corresponda con el exigido para garantizar su estabilidad.

Equipos de liofilización



Esquema general de un equipo de liofilización.

DESCRIPCIÓN GENERAL	
EQUIPOS	FUNCIONES
CAMARA DE SECADO	<ul style="list-style-type: none"> • Provee al proceso de un ambiente limpio y estéril. • Da las condiciones de presión y temperaturas exigidas para la congelación y posterior secado del producto.
CONDENSADOR	<ul style="list-style-type: none"> • Recoge el vapor de agua producto de la sublimación, y lo desublima.
SISTEMA DE VACIO	<ul style="list-style-type: none"> • Está conectado a la cámara del condensador. • Proporciona las condiciones de presión indicadas para las etapas de desecado primarias y secundarias.
INSTRUMENTACIÓN (medidor de temperatura de producto-estante, controlador de calefacción de estante, medidor de vacío cámara-condensador)	<ul style="list-style-type: none"> • Son de vital importancia para el control del proceso, de manera que el resultado del mismo siempre sea el mejor posible.

Como se mencionó antes, la gran desventaja de este proceso, es el elevado costo de los equipos. En el esquema presentado se pueden observar tres elementos que son los responsables de estos costos:

- Condensador (desublimador) y sistema de refrigeración.
- Energía requerida para completar las etapas de sublimación del agua en la cámara de secado, y desublimación y fundición en el condensador.

- Mantenimiento de las bombas mecánicas del equipo de vacío.

Tipos de equipos

El sistema de liofilización descrito, se corresponde con los equipos convencionales de Liofilización; los cuales son fabricados por muchas empresas proveedoras de esta tecnología, tanto en Argentina como en el resto del mundo. Los mismos se consiguen en escalas tipo laboratorio, piloto o industrial. En la siguiente tabla se especifican las características de cada uno:

	LABORATORIO	PILOTO	INDUSTRIAL
Bomba de vacío	6 m ³ /h	18 – 35 m ³ /h	
Capacidad del condensador	6 – 10 kg	15 - 30 kg	30 - 300kg
Temperatura del condensador	- 50°C	- 50 a - 80°C	- 75°C
Superficie * (por cantidad de estantes)	0,33 m ² * (3)	0,48 – 1,8 m ² * (3 a 5)	2 - 12m ² * (5 a 8)

RAMIREZ NAVAS, Juan Sebastián. 2006. Liofilización, Estado del Arte. Universidad del Valle Programa Doctoral en Ingeniería. Ingeniería de Alimentos. Cali – Colombia

Sin embargo, hace ya algunos años, que la empresa argentina INVAP SE, provee de plantas liofilizadoras llave en mano; las cuales cuentan con un innovador método para obtener vacío. En un liofilizador tipo, como los descritos arriba, el vacío se logra mediante la combinación de bombas extractoras de aire y "trampas frías" que operan a -40 o -50 °C; en estas plantas, en cambio, el vacío se realiza por medio de eyectores de vapor. Los eyectores son equipos pasivos, de operación sencilla y escaso mantenimiento que son activados por vapor. Debido a que el vacío se mantiene mediante una columna líquida de altura apropiada, la estructura alcanza una altitud considerable.

Pueden mencionarse dos plantas de este tipo, diseñadas y construidas por INVAP, ya instaladas que se encuentran produciendo liofilizados, una en nuestro país, ubicada en Gaiman, Chubut, puesta en funcionamiento en 1999; y la instalada en Querétaro, México, y puesta en operaciones en 2004.



Planta de liofilización diseñada y construida por INVAP en la provincia de Chubut.

DIFERENCIAS ENTRE SECADO CONVENCIONAL Y LIOFILIZACIÓN

SECADO CONVENCIONAL	LIOFILIZACIÓN
Recomendado para tener alimentos secos (verduras y granos).	Recomendado para la mayoría de los alimentos, pero se ha limitado a aquellos que son difíciles de secar a través de otros métodos.
Es poco satisfactorio para carne.	Recomendado para carnes crudas y cocidas.
Rango de temperatura 37 – 93°C	Temperaturas debajo del punto de congelación.
Presiones atmosféricas	Presiones reducidas (27-133 Pa)
Se evapora el agua de la superficie del alimento.	Se sublima el agua del frente de congelación.
Movimiento de solutos, lo que causa algunas veces endurecimiento.	Movimiento mínimo de solutos.
Las tensiones en alimentos sólidos causan daño estructural y encogimiento.	Cambios estructurales o encogimientos mínimos.
Rehidratación incompleta o retardada.	Rehidratación completa y rápida.
Olor y sabor frecuentemente anormal.	Olor y sabor normalmente intensificado.
Color frecuentemente más oscuro.	Color normal.
Valor nutritivo reducido.	Nutrientes retenidos en gran porcentaje.
Costos generalmente bajos.	Costos generalmente altos, aproximadamente cuatro veces más que el secado convencional.

Fuente: P. Felows (2000)

COSTOS DEL PROCESO DE LIOFILIZACIÓN

Para definir los costos de cualquier proceso es importante conocer determinados parámetros como la escala de los equipos a utilizar, que varían según las necesidades y el volumen de producción. En el mercado actual existen varias empresas que fabrican equipos a distintas escalas (laboratorio, piloto o industrial), como así también plantas liofilizadoras llave en mano. Como ejemplo se puede citar a la empresa argentina Rificor, que fabrica y reacondiciona a nuevo equipos aptos para procesar alimentos, entre los cuales mencionamos los siguientes modelos con sus respectivos costos y detalles:

ESCALA LABORATORIOS			
Modelo	Costo estimado	Componentes	Detalle
L-A-B4	US\$ 16.300	Cámara de secado	Construida en acrílico cristal transparente, de forma cilíndrica, de eje vertical, tiene un diámetro de 340 mm y 400 mm de altura.

		Bandejas	Consta de cuatro (4) bandejas de 300 mm de diámetro y 20 mm de altura para contener producto líquido, a granel, en frascos o cualquier otro recipiente. El producto debe ser precongelado en un freezer.
		Condensador	Construido en acero inoxidable AISI 316, dispuesto en forma vertical y ubicado debajo de la cámara de secado. Sistema refrigerante libre de CFC. Temperatura de condensación hasta – 40 °C.
		Sistema de vacío	Mediante una bomba de doble etapa de 140 L./min de caudal y un vacío final del orden de 20 micrones Hg.
		Medidor de temperatura de producto y de condensador.	Lectura digital, con indicación continua durante todo el proceso.
		Medidor de vacío de cámara-condensador.	Lectura digital, con indicación continua durante todo el proceso.
L-A-B4-C	US\$ 18.800	Cámara de secado	Construida en acrílico cristal transparente, de forma cilíndrica, de eje vertical tiene un diámetro de 340 mm y 400 mm de altura.
		Bandejas	Consta de cuatro (4) bandejas de 300 mm de diámetro y 20 mm de altura para contener producto líquido, a granel, en frascos o cualquier otro recipiente. Poseen sistema de calefacción eléctrica en baja tensión que permite alcanzar temperaturas de secado de + 40°C. El producto debe ser precongelado en un freezer.
		Condensador	Construido en acero inoxidable AISI 316, dispuesto en forma vertical y ubicado debajo de la cámara de secado. Sistema refrigerante libre de CFC. Temperatura de condensación hasta – 40 °C.
		Sistema de vacío	Mediante una bomba de doble etapa de 140 L./min de caudal y un vacío final del orden de 20 micrones Hg.
		Medidor de temperatura de producto y de condensador.	Lectura digital, con indicación continua durante todo el proceso.
		Controlador de calefacción	Lectura digital, con corte automático según temperatura máxima programada.
		Medidor de vacío de cámara-condensador.	Lectura digital, con indicación continua durante todo el proceso.

ESCALA INDUSTRIAL			
Modelo	Costo estimado	Componentes	Detalle
L-20	US\$ 70.000	Cámara de secado	Medidas internas: Ancho 720 mm Alto 700 mm Profundidad850 mm Frente apto para colocar en zona estéril, aislada con poliuretano expandido. Puerta de acrílico cristal transparente.
		Estantes	Consta de cuatro (4) estantes útiles contruidos en aluminio, con circuitos independientes para calefacción y enfriamiento. Dimensiones Útiles: -Frente: 640 mm -Profundidad: 710 mm -Superficie útil total: 1,81 m2 -Espacio entre estantes: 126 mm Capacidad aproximada de frascos de 23,5 mm de diámetro : 3600 El equipo se provee con un juego de ocho (8) marcos porta frascos y una (1) bandeja de AISI 316 de carga.
		Condensador	Condensador de los vapores de sublimación, independiente de la cámara. Dispuesto en forma vertical. Incluye en su interior una serpentina de cobre tratado, condensadora de los vapores, cuyo enfriamiento se obtiene por expansión directa del gas refrigerante, con obtención de temperatura del orden -45°C.
		Sistema frigorífico	Permite el enfriamiento de los estantes ubicados en la cámara de secado. Compuesto por un (1) motocompresor de doble etapa (nuevo). La instalación se completa además con condensador de agua, separador de aceite, control de presión de alta y baja.
		Panel de comando e instrumentación	El equipo es de accionamiento manual, el panel de comando, posee un control eléctrico individual para cada operación del proceso, con llave, protección térmica y señalización luminosa. Posee el siguiente instrumental: medición de temperatura, termorregulador, medición de vacío.

FUENTES CONSULTADAS

- CASTRO, Jorge. Recuperación de la Economía Mundial y Oportunidades de la Argentina en el Mercado Mundial de los Alimentos. Instituto de Planeamiento Estratégico. Septiembre de 2009.
- CUPER, Oscar. 1965. Deshidratación Artificial – Liofilización Alimentaria. Tomo 1: Bases Generales – Tecnología Industrial. Buenos Aires, Consejo Nacional de Desarrollo, Grupo de Proyectos Especiales.
- RAMIREZ NAVAS, Juan Sebastián. 2006. Liofilización, Estado del Arte. Universidad del Valle Programa Doctoral en Ingeniería. Ingeniería de Alimentos. Cali – Colombia. [Www.ingenieriaquimica.net](http://www.ingenieriaquimica.net)
- SCENI, P. 2007. Transiciones de Fase. Universidad Nacional de Quilmes. Area de Química de los Alimentos.
- PERERA HORACIO, YANOVSKY J. Proyecto LIAL – Liofilización Alimentaria. Buenos Aires. 1996
- <http://www.invap.com.ar/es/area-industrial/productos-y-servicios/liofilizacion-de-alimentos.html>
- FLESIA, Miguel Ángel. Universidad Técnica Nacional. Facultad Regional Santa Fé. Ingeniería Industrial. Procesos Industriales – La conservación de sustancias percederas por medio de la liofilización.