



## 1.- PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

### 1.1.- Principio general del secado solar

El secado solar consiste en poner en contacto, bajo un invernadero, un aire regularmente renovado y un fango distribuido sobre una losa de hormigón y

removido mecánicamente. Entre la entrada y la salida del invernadero, el aire se carga de vapor de agua, a costa del fango que se seca. Un sistema de

ventilación asegura la renovación del aire con el fin de evacuar el vapor de agua procedente del fango.

La cantidad de agua evaporada depende a la vez de las características del aire (temperatura, humedad), y de las del fango (temperatura, humedad, propiedades mecánicas).

### 1.2.- El Procedimiento HELIOBOLT®

El procedimiento HELIOBOLT® funciona con un ciclo anual : está dimensionado para recibir, almacenar y secar todo el fango producido a lo largo de un año.

El secado solar combina las funciones de almacenamiento y de secado : se considera esquemáticamente que el almacenamiento dura siete meses, y que el secado no es efectivo más que cinco meses al año (de mayo a septiembre), ya que es en esta época cuando el aire es más caliente y seco.

### 1.3.- Descripción del funcionamiento

La alimentación de fangos deshidratados al sistema, se efectúa mediante bomba de tornillo helicoidal. Los fangos son distribuidos en uno de los extremos del invernadero, en el pasillo de almacenamiento que ocupa la mayor parte de la instalación. El pasillo de almacenamiento está delimitado por dos muretes de 80 cm de alto, paralelos a las paredes del invernadero, dejando libre un pasillo de acceso.

El volteo y la mezcla del fango están asegurados por una volteadora, equipada de un rotor especialmente concebido a tal efecto. El fango es volteado como

media una vez al día, a fin de homogeneizarlo, de quebrar la capa seca formada en superficie y de facilitar el intercambio con el aire.

La volteadora también tiene como función la de desplazar el fango hacia la salida del invernadero unos centímetros, a cada pasada.

A lo largo del proceso, la humedad contenida en el fango es captada por el aire del invernadero, siendo evacuada después al exterior por ventilación. Una central específica controla los ventiladores.

La descarga del invernadero y, en consecuencia, la evacuación de los fangos se efectúa una vez al año después del periodo estival para aprovechar al máximo la energía solar. Para ello, se utiliza un cargador de dimensiones compatibles con las zonas de maniobra bajo el invernadero, que permite la carga de los fangos.

## 2.- VENTAJAS DEL SECADO SOLAR Y DEL PROCEDIMIENTO HELIOBOLT ®

Las principales ventajas del secado solar son las siguientes :

- Reducción del volumen de los fangos : ahorro de transporte y de coste de eliminación de los mismos
- Sistema automático: explotación sencilla y económica
- Eliminación del acondicionamiento con cal
- Producto final de calidad, fácil de manipular : sequedad elevada, producto granulado y no polvoriento, ausencia de molestias por olores
- Una solución sostenible : de múltiples posibilidades (incineración, vertedero, agricultura...)
- Costes de explotación bajos

Además, HELIOBOLT ® presenta algunos puntos fuertes que le diferencian de otros procedimientos de secado solar :

- Utilización de una volteadora desarrollada específicamente para esta aplicación, robusta, eficaz, y segura a largo plazo en explotación
- Atmósfera del invernadero controlada y optimizada
- Accesos laterales que facilitan las intervenciones sin contacto con los fangos.

## 3.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

### 3.1.- El Invernadero

El invernadero cumple las siguientes funciones:

- Protección contra el agua de lluvia,
- Transmisión de la radiación incidente,

- Acumulación del calor bajo el invernadero.

El dimensionamiento tiene en cuenta los tamaños estándar y el material es variable según la implantación y las necesidades locales. El invernadero está equipado de puerta de acceso que permite la entrada de un cargador para la evacuación anual de los fangos. Estos invernaderos altos y fijos son invernaderos hortícolas estándar : su coste de inversión es reducido y su resistencia probada.

### 3.2.- Volteo de los fangos

El volteo de los fangos cumple diversas funciones :

#### Textura

Las "cuchillas" del rotor "desmenuzan" el fango y le dan una estructura granular. Estos últimos tienen una gran superficie de intercambio con el aire, lo que favorece por una parte la evaporación, y por otra, evita que el fango pase a condiciones anaeróbicas.

#### Homogeneización

La volteadora quiebra la costra seca que se forma en la superficie y homogeneiza el lecho mezclando finamente el fango. La migración de la humedad en la parte baja del pasillo de almacenamiento es pues contrarrestada: se facilita la evaporación del agua.

#### Desplazamiento

La volteadora desplaza el lecho de fango hacia la salida del invernadero después de cada pasada. El frente de fango avanza así regularmente en el pasillo de almacenamiento. Alcanza el extremo del invernadero (el opuesto al de alimentación de fangos) al final del ciclo anual.

La frecuencia de volteo es como media anual, de una vez al día laborable. Se voltea:

- en invierno una vez al día como máximo (condiciones de secado mediocres, el volteo de los fangos es indispensable para evitar la anaerobiosis y en consecuencia los olores).
- en verano unas dos veces al día (condiciones de secado óptimas: es indispensable quebrar la costra seca y mezclar los fangos).

La volteadora desarrollada para el HELIOBOLT® está basada en la tecnología agrícola, y dispone de características determinantes para la facilidad de explotación del sistema :

- rotor elevable
- acceso permanente y fácil al lecho de fango y al motor
- sistema guía fiable
- un deflector móvil evita cualquier proyección de fango

### 4.- CONTROL Y COMANDO DE LA ATMÓSFERA INTERIOR

El secado es tanto más intenso, cuanto más caliente y seco es el aire del invernadero. El sistema de control perfeccionado para HELIOBOLT® se basa en la regulación de la renovación del aire del invernadero, en función de la medida en continuo de las diferencias de temperatura y de humedad absoluta entre el interior y el exterior del sistema.

Esquemáticamente, desde que el autómata detecta que la capacidad de evaporación del aire en el exterior del invernadero es superior a la que se da en el interior, la renovación de la atmósfera se pone en marcha.

Así, la intensidad del secado se optimiza a lo largo de todo el año.

La renovación del aire está asegurada por motoventiladores centrífugos. Los motoventiladores también se accionan:

- en caso de riesgo de condensación
- en presencia de personal en el invernadero, por razones de seguridad (al cabo de cómo máximo 6 minutos de funcionamiento, el aire del invernadero está completamente renovado). Como media a lo largo del año, el tiempo de funcionamiento de los motoventiladores es de 11 h al día.

Por otra parte, es indispensable una ventilación que elimine los problemas de estratificación. Su función es la de oponerse a la subida natural del aire caliente y seco hacia la parte alta del invernadero, lo que perjudica la evaporación. Fijados bajo el techo del invernadero, los ventiladores de “desestratificar” remueven así el aire de arriba hacia abajo.

## 5.- DIMENSIONAMIENTO

El dimensionamiento del procedimiento HELIOBOLT® está realizado por un programa desarrollado específicamente, cuya concepción se basa en la realización de modelos a partir de los fenómenos físicos que intervienen a lo largo del secado solar de los fangos. Los fenómenos considerados por el modelo se detallan a continuación.

### Transferencias Térmicas

- Calentamiento del fango por el flujo solar transmitido a través del invernadero
- Intercambio convectivo entre el fango y el aire
- Intercambio por evaporación entre el fango y el aire
- Intercambio radiactivo entre el fango y el invernadero
- Intercambio convectivo entre el invernadero y el aire
- Intercambio conductivo entre el fango y el sol
- Evaporación del agua en la superficie o en el interior del fango.
- Transferencia de vapor de agua en el aire a la superficie del fango.
- La escritura de los balances de calor y de vapor de agua conduce a un sistema de ecuaciones diferenciales cuya la resolución permite acceder a los parámetros que caracterizan el procedimiento : temperaturas, humedad del aire y del fango, flujo de agua evaporada, tiempo de secado, etc...
- Los datos meteorológicos del lugar y las características de la cubierta del invernadero (transmisiones luminosa y térmica) permiten establecer el valor de los coeficientes que aparecen en las ecuaciones diferenciales.