



Seca-aireación de granos

OFICINA REGIONAL DE LA FAO PARA AMERICA LATINA Y EL CARIBE
Santiago, Chile
1985

Serie: Tecnología Postcosecha 5

por

Carlos Alberto de Dios

Estación Experimental Agropecuaria Pergamino
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA

Derechos de autor

Por este medio se autoriza la reproducción digital o impresa parcial o total de este trabajo, para su utilización personal o en las aulas, sin costo y sin solicitud formal de reproducción, siempre que no se elaboren copias con fines de lucro ni comerciales, y que todas las copias lleven este aviso completo en la primera página. Los derechos de autor de los trabajos que no sean propiedad de la FAO deben respetarse. Para hacer reproducciones con otros fines, publicar, enviar a través de los servidores o redistribuir en las listas, se requiere autorización específica previa y el pago de una cuota cuando sea pertinente.

Los permisos de publicación se solicitan a:

Editor en Jefe

FAO, Viale delle Terme di Caracalla

00100 Roma, Italia

correo electrónico: copyright@fao.org

© FAO

Contenido (50 p.)

Prólogo

1. Introducción

2. Generalidades sobre seca-aireación

Creación y difusión

Descripción

Teoría

Soluciones que aporta

3. Diseño y funcionamiento

Modificaciones necesarias

Modificaciones en la secadora

Secadoras en tandas

Modificaciones en las norias y otros equipos

Silo de enfriamiento (silo de seca-aireación)

Distribuidores de granos

Tamaño del silo

[Cantidad de silos de enfriamiento](#)

[Caudales de aire](#)

[Temperatura y humedad de los granos](#)

[Medición de la humedad y temperatura](#)

[Reposo](#)

[Enfriamiento](#)

[Influencia del aire exterior](#)

[Equipo refrigeradores de aire](#)

[Condensación de humedad](#)

[¿Insuflar o aspirar el aire?](#)

[Termometría](#)

[Cálculos para el diseño de silos de seca-aireación](#)

[Enfriadores](#)

[4.Ventajas e inconvenientes](#)

[Consumo de energía](#)

[Problemas de calidad](#)

[Otras ventajas de seca-aireación](#)

[Algunos inconvenientes](#)

5. Algunas variantes

Enfriado en dos etapas

Secado combinado (combination drying)

Secado por retorno

Secado de trigo

Secado de arroz

Secado de semillas

6. Referencias bibliográficas seleccionadas

Tabla de equivalencias

[Home](#)":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/"">

Prólogo

[Indice](#) - [Siguiente](#) ➤

El presente folleto forma parte de la serie: "Tecnología Postcosecha", publicación de la

Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, que trata diversos temas relacionados con las tecnologías y procedimientos utilizados en la cosecha, beneficio y almacenamiento de los granos utilizados en la alimentación humana, así como de las plagas que los atacan, los métodos para su control y los factores de calidad que intervienen en su manejo y comercialización.

Su contenido está escrito en un lenguaje sencillo, pero apoyado en los conocimientos y experiencias de técnicos e instituciones que han encaminado sus esfuerzos para especializarse en alguna de las muchas disciplinas científicas y técnicas que intervienen en el manejo de los granos, desde su madurez fisiológica en la planta, hasta que es utilizado como alimento.

Con su publicación se busca proporcionar información de utilidad para todas aquellas personas que tienen bajo su responsabilidad el manejo de los granos, en algunas de sus múltiples etapas, especialmente agricultores y personal técnico encargado de centros de acopio y almacenamiento; así como también a los extensionistas encargados de programas de capacitación en esta área. No dudamos que la información también será de utilidad para profesionales, personal de docencia y estudiantes que tengan interés en este campo.

La FAO espera que la información ayude a mejorar las técnicas y procedimientos

actualmente utilizadas en el manejo y almacenamiento de granos en Latinoamérica y con ello, contribuir a disminuir las cuantiosas pérdidas postcosecha de los alimentos que son tan necesarios para una población cada día más numerosa y hambrienta.

[Indice](#) - [Siguiente](#) >

[Home](#)":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/">

1. Introducción

[Indice](#) - < [Precedente](#) - [Siguiente](#) >

Si bien existen algunas publicaciones sobre el sistema de seca-aireación de granos en Estados Unidos y otros países, en ellas no se encuentra una detallada descripción de sus características y de las ventajas y problemas que su aplicación puede presentar.

Los trabajos conocidos son en muchos casos resultados de investigaciones científicas o técnicas, o simplemente referencias o informaciones no siempre completas sobre este método de secado.

Los cerealistas, acopladores, productores agrícolas, industriales y otras personas relacionadas con el manejo postcosecha de los granos, se hallan en general carentes de información sobre este tema, teniendo en cuenta que secaireación es un procedimiento muy adecuado para los grandes depósitos y centros de almacenamiento que deben manejar considerables volúmenes de granos húmedos, y particularmente de una información que sea útil y comprensible a esos niveles.

Por todo ello se ha creído necesario elaborar este trabajo, que abarca inicialmente algunos aspectos teóricos, para concentrarse en especial en el funcionamiento práctico del sistema.

Dibujos: Ernesto Scodelari, EEA Permanino INTA. Los números entre paréntesis se refieren a la bibliografía.

[Indice](#) - [◀ Precedente](#) - [Siguiete ▶](#)

[Home](#)":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/">

2. Generalidades sobre seca-aireaci◊n

[Indice](#) - [◀Precedente](#) - [Siguiente▶](#)

[Creacion y difusion](#)

[Descripcion](#)

[Teoria](#)

[Soluciones que aporta](#)

Creacion y difusion

El método de seca-aireación de granos fue creado en Estados Unidos en la década del 60. Se lo denominó en inglés "Dryeration" como una combinación de las palabras "dry" (secar) y "aeration" (aireación). Su creador fue George Foster, profesor del Departamento de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Purdue, en Lafayette, Indiana.

Las investigaciones que llevaron al desarrollo de este método, nacieron de la necesidad de reducir el deterioro que sufría el grano de maíz en Estados Unidos, debido a que se había difundido el uso de cosechadoras automotrices que permitían la recolección del grano con elevados contenidos de humedad, procedimientos que

hacia necesario el empleo del secado artificial.

El daño que experimentaba el grano ocasionaba quejas por parte de los industriales y exportadores, que manifestaban su preocupación por la gran fragilidad del maíz y su mediocre calidad para las industrias del almóden, alimentos humanos y otros usos.

Al poner a punto el procedimiento, Foster, junto a otros investigadores como B.A. McKenzie y R.A. Thompson, descubrió que permitía un aumento importante de la capacidad de los equipos de secado y reducía los gastos de energía. Todos esos factores han contribuido a la difusión que ha alcanzado este método de secado.

La difusión en el país de origen ha sido amplia y ha tenido aceptación particularmente entre muchos productores, que han adoptado algunas variantes, como el llamado secado combinado, que se explica más adelante. Foster menciona que el método fue aceptado también ampliamente por empresas exportadoras de granos, porque la mercadería debía ser movida continuamente, lo que producía elevados porcentajes de rotura y evidente deterioro de la calidad.

Francia es otro país en donde ha alcanzado gran divulgación, debido a que el maíz es cosechado con altos porcentajes de humedad (35 a 40%/0), lo que ocasiona

grandes costos para su secado con el método clásico o convencional, pudiéndose deteriorar seriamente la calidad del producto. Suscitó mucho interés a partir del año 1973, cuando apareció la crisis del petróleo. Según Lasseran(7) en Francia, entre el 20 y el 25% de la cosecha de maíz se seca con este procedimiento, al cual lo llaman "refroidissement lent différé" (enfriamiento lento diferido).

En Argentina los primeros ensayos se conocieron hacia 1967, pero por falta de experiencia en su manejo se presentaron diversos problemas que motivaron el abandono de la técnica. Posteriormente alrededor de 1973 se comenzaron a instalar nuevas plantas con seca-aireación y en la actualidad existe un renovado interés por parte de los acopladores y centros de almacenamiento. En 1984, se calcula que una treintena de plantas de acopio lo estaban aplicando y que existían muchas más, interesadas en adoptarlo.

Descripcion

Seca-aireación de granos es un método de secado que consiste en detener el proceso en la secadora cuando el grano ha bajado su humedad a 16-18% y pasarlo entonces caliente a silos especiales donde se le deja reposar unas horas; en esos mismos silos se concluye el secado y enfriamiento, mediante el pasaje de aire a temperatura ambiente utilizando equipos de aireación.

La figura 1 proporciona una idea mas clara del proceso. Como se indica, el grano h^umedo de ma^z se recibe en la secadora desde los silos respectivos y se calienta a las temperaturas corrientemente usadas hasta obtener el porcentaje de humedad indicado (16-18%). Como la secadora no tiene que enfriar el grano, se puede utilizar totalmente su volumen en esta operaci^on y de esa manera, aumentar su capacidad en buena proporci^on.

El grano caliente es extra^ído de la secadora y sin enfriarlo, transferido a un silo de enfriamiento provisto de equipo de aireaci^on. En ^este permanece el ma^z unas pocas horas (entre 4 y 6) en reposo; luego se pone en funcionamiento el equipo de aireaci^on para que se enfríe y pierda d^e 1% a 3% m^os de humedad antes de ser llevado seco y fr^{ío}, a los silos de almacenaje definitivo.

En el silo de enfriamiento, los lotes de grano que han sido secados y que est^án calientes se acumulan durante el d^ía y se mantienen unas horas para su templado. La aireaci^on se demora hasta que el silo est^á lleno o casi lleno y se realiza generalmente durante un periodo de 8 a 12 horas. La temperatura que tiene el grano (alrededor de 60[°] C) calienta el aire que ingresa, disminuyendo su humedad relativa, con lo que adquiere una buena capacidad de secado. En esta forma el grano termina de reducir su humedad a 13-15%. Esta tambi^én es una de las razones por las cuales se aumenta el rendimiento del proceso, que puede llegar a ser en total, un 100% mayor

que el del secado convencional.

Figura 1. Proceso esquemático de la seca-aireación.

Una descripción más completa del proceso se encuentra en el trabajo preparado por Mc Kenzie, Foster, Noyes y Thompson (9), que se aconseja consultar. Si se quisiera profundizar los aspectos teóricos y fisico-matemáticos del tema, se recomienda el trabajo de Neves, Fortes, Moreira y Pinheiro Filho (11).

Teoría

a) Eficiencia

En la figura 2 se expresa la relación entre la humedad del grano de maíz y el tiempo de secado. Se observa que en una partida de grano con una humedad inicial del 24%, las tres cuartas partes del secado ocurren durante la primera mitad del tiempo de su permanencia dentro de la secadora, hasta llegar a un contenido de humedad del 16,5% aproximadamente y que el resto, hasta un 14%, es extraído en la otra mitad. Significa que por ejemplo, en la primera hora de secado el grano pierde casi ocho puntos de humedad y en la otra hora sólo 2,5 puntos. Esto es debido a que la eliminación de la humedad es más difícil en los últimos tramos, porque está

retenida con mayor fuerza por la masa del grano.

Si se pudiera evitar esta última parte del secado, ya sea no haciéndolo o efectuándolo por medio de algún otro procedimiento que requiera poca energía, se podría reducir muy significativamente el tiempo que el grano necesita permanecer en la secadora, con el consiguiente aumento del rendimiento de esta última y una reducción del consumo de combustible. Esto es realmente lo que se hace con el sistema de seca-aireación.

La ventaja energética de detener el secado a 16-17% de humedad se nota mejor en la figura 3 (gráfica de Marsans) (8), en donde puede observarse como la eficiencia del secado, medida en la cantidad de kilocalorías necesarias para evaporar 1 kg de agua, es mucho más alta al principio del proceso de secado que al final del mismo.

En efecto, la gráfica indica que para granos con un 30% de humedad, sólo se requieren unas 500 a 600 kcal por kg de agua, mientras que cuando esa humedad ha llegado al 15% las necesidades energéticas aumentan y pueden acercarse a 700 kcal por kg de agua. Es decir, al principio del secado el consumo de combustible, que es el encargado de suministrar las kcal necesarias, es menor proporcionalmente que hacia el final del proceso.

Esto entonces ratifica el ahorro de energía que presenta el método de secaireación en relación al sistema convencional o clásico de secado de los granos.

Figura 2. Régimen y tiempo de secado.

Figura 3. Eficiencia de secado.

b) Mayor capacidad de secado

El aumento de la capacidad de secado en seca-aireación proviene de una combinación de factores que son: 1) eliminación del enfriamiento en la secadora, lo que aumenta la cámara de calentamiento, ganándose entonces un 30-35% de capacidad; 2) menos humedad removida en la secadora; 3) empleo de mayores temperaturas del aire de secado (10 a 20°C más); 4) una mayor eficiencia durante el enfriamiento pues se aprovecha el propio calor de los granos para que el aire natural se caliente y extraiga humedad y calor de los mismos.

El aire que ha atravesado los granos en el silo, está saturado de humedad y a una temperatura igual a la del grano caliente. Para conseguir una condición similar del aire en un sistema de secado en un silo con tal espesor del grano frío, el aire debería entrar al grano a casi 260°C. Esto significa, dice Foster(9): "que la capacidad de

acumular humedad del aire es aumentada en la misma forma que si fuera calentada a 260 °C".

Con seca-aireación no es difícil conseguir un aumento de la capacidad de secado del 60%, existiendo muchos casos en que pueda llegar al 100%.

c) Mantenimiento de la calidad del grano

Es conocido el hecho que muchos cuerpos que son calentados a altas temperaturas y luego enfriados bruscamente, están expuestos a elevadas tensiones internas que producen roturas o fisuras en su masa. Esta situación es la que sucede con los granos en la secadora convencional; están sometidos a altas temperaturas en la torre o sección de calentamiento y luego sufren las bajas temperaturas del aire en la sección de enfriamiento; por consiguiente, se fisuran y luego se rompen en buena proporción.

En el sistema de seca-aireación, el enfriamiento no se realiza en la misma secadora sino en un silo separado y luego que el grano ha sufrido un periodo de reposo. Entonces las tensiones se reducen considerablemente, la calidad del grano se altera muy poco y el porcentaje de quebrados posterior, es reducido. Por ende la producción de polvo tan común en el secado convencional, disminuye en buena medida, de manera que las mermas son menores.

Por otra parte debe mencionarse que cuando hay una evaporación intensa de humedad, como sucede en seca-aireación, la temperatura a que llega el grano no suele superar los 60°C, porque la evaporación del agua absorbe el calor. Esta temperatura no altera prácticamente la calidad de los granos.

Por el contrario en el secado convencional, cuando el grano se encuentra ya al final del proceso en la secadora, la temperatura que adquiere el grano puede ser mucho mayor, cercana a los 100°C, hecho que produce un deterioro importante. Este daño se manifiesta luego en la decoloración y reducción del brillo en el caso del maíz (aparte del fisurado mencionado antes), una reducción considerable en el rendimiento industrial (almidón, aceite, azúcares, etc.) y una pérdida de valor nutritivo(1).

Con respecto al trigo, tales temperaturas en el secado convencional ocasionan graves problemas a la industria molinera y panadera(2).

En el caso de la sola, si bien las altas temperaturas no afectan mayormente el rendimiento industrial, causan un sobre secado que origina importantes pérdidas de peso y daño mecánico (figuras 4 y 5).

Soluciones que aporta

En el secado convencional, la mejor forma de evitar la alteración de la calidad del grano, consiste en reducir la temperatura del aire de secado, de manera tal que el grano no alcance a superar los 60°C al final del proceso. Esta practica trae aparejada la necesidad de hacer varias pasadas del grano por la secadora, lo que produce una reducción importante de la capacidad de secado de la maquina.

Surge entonces la evidencia que calidad de grano y rendimiento de la secadora son dos factores contrapuestos en el secado. Si se quiere reducir el deterioro al grano, hay que reducir la temperatura, lo que da lugar a la disminución de la capacidad de secado. Viceversa, si se pretende un mayor rendimiento, se debe aumentar la temperatura, situación que afecta la calidad del grano.

En los períodos de mayor actividad de la cosecha, en las plantas de acopio se acumulan los camiones y acoplados transportando grano húmedo del campo y esas partidas no pueden esperar mucho tiempo para ser secadas. Ante tal urgencia una solución no recomendada, pero practicada, consiste en aumentar las temperaturas de secado para acelerar los procesos; por consiguiente, los granos se deterioran.

Por otro lado, cada año son mayores las proporciones de granos que se secan. En Argentina, datos publicados por la Junta Nacional de Granos en 1982, indicaban que en promedio el 60% de la producción total de granos era sometido al secado artificial.

En esta lista se incluye a el maíz, sorgo, trigo, soja y girasol (maravilla).

Todo esto acumula presiones en las plantas de acopio de granos que los obliga a aumentar de cualquier forma la capacidad de sus equipos de secado.

Seca-aireación tiene la ventaja que permite aumentar esa capacidad sin reducir la calidad y superar entonces esa antinomia entre los dos factores. Estas razones son las que impulsan a favorecer su difusión entre los usuarios.

No debe olvidarse tampoco que para los países exportadores de granos como la Argentina la calidad de éstos es un factor fundamental para mantener y ganar mercados internacionales. Los países consumidores cada vez se hacen mas exigentes en la calidad de los productos alimenticios que importan.

[Indice](#) - [◀ Precedente](#) - [Siguiete ▶](#)

[Home](#)":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/"">

3. Diseño y funcionamiento

[Indice](#) - [◀Precedente](#) - [Siguiente▶](#)

[Modificaciones necesarias](#)

[Modificaciones en la secadora](#)

[Secadoras en tandas](#)

[Modificaciones en las norias y otros equipos](#)

[Silo de enfriamiento \(silo de seca-aireación\)](#)

[Distribuidores de granos](#)

[Tamaño del silo](#)

[Cantidad de silos de enfriamiento](#)

[Caudales de aire](#)

[Temperatura y humedad de los granos](#)

[Medición de la humedad y temperatura](#)

[Reposo](#)

[Enfriamiento](#)

[Influencia del aire exterior](#)

[Equipo refrigeradores de aire](#)

[Condensación de humedad](#)

[¿Insuflar o aspirar el aire?](#)

[Termometría](#)

[Cálculos para el diseño de silos de seca-aireación](#)

Enfriadores

Modificaciones necesarias

La aplicación de seca-aireación puede hacerse de dos modos. El primero se refiere a plantas de acopio que se van a construir, las cuales ya se proyectan e instalan con la infraestructura propia del sistema. La otra alude a plantas de acopio ya existentes, con secado convencional, que es el caso más frecuente. Esta última alternativa exige diversas modificaciones e inversiones en los equipos que se tienen, que se pasan a describir (figura 6).

Figura 6. Modificaciones o aspectos a ser tenidas en cuenta.

- 1 Separación entre la parte caliente y la fría.
2. Agregado de un quemador auxiliar.
3. Modificaciones en el quemador.
4. Descarga de la secadora.
5. Capacidad de los elementos de transporte.

Modificaciones en la secadora

En las secadoras de flujo continuo tipo torre se debe suprimir la parte de enfriamiento pues como se dijo, el enfriamiento se realiza en un silo aparte. Para ello, en la mayoría de las secadoras basta eliminar la separación entre las partes calientes y frías. En la figura 7 se ilustra una secadora convencional tipo torre de flujo continuo. En la sección A y B se encuentra la separación de la parte caliente superior (alrededor de 2/3 del volumen total) de la parte fría inferior (alrededor de 1/3). Dicha separación se elimina, de manera que todo el volumen de la secadora trabaje ahora con aire caliente, con lo cual se gana un 30% de capacidad de secado.

Figura 7. Secadora de flujo continuo.

1. Sección aire caliente.
2. Sección aire frío.

En muchas secadoras, al aumentar el volumen de aire caliente, hay que aumentar también la generación de calor para que la temperatura del aire no se reduzca. Además el caudal de aire suministrado por el ventilador de aire caliente aumenta de un 10 a 15%, debido a la disminución de la pérdida de carga originada por un volumen de aire más grande.

El generador de aire caliente debe entonces poseer una reserva de potencia térmica para mantener una temperatura adecuada del aire, pues en caso contrario, esta puede

caer en forma apreciable y entonces pierde eficiencia la maquina. Esa mayor generación de calor puede conseguirse modificando o cambiando los inyectores (picos) del quemador, pero este trabajo puede ser perjudicial para la duración de todo el dispositivo y peligroso por razones de seguridad, por lo que conviene asesorarse adecuadamente con el fabricante de la secadora o del quemador.

La solución más racional es agregar un quemador extra al ventilador de aire frío, que se encargará de calentar a la temperatura correcta el volumen de aire frío. El agregar este quemador extra simplifica además cambiar la secadora de seca-aireación a operación convencional y viceversa, pues no se necesita siempre eliminar la separación entre partes fría y caliente.

Si no se quiere o no se puede agregar un quemador extra, es posible que en ciertos casos, deba clausurarse el ventilador de aire frío, pues si no la temperatura del aire puede caer mucho.

En algunos tipos de secadoras es posible unir los plenums o salidas de aire de ambos ventiladores con alguna conexión de suficiente tamaño, de manera que parte del aire caliente generado pueda ser derivado hacia el ventilador de aire frío. Para ello la secadora deberá contar también con la suficiente reserva de potencia térmica.

Si estas modificaciones significan un aumento de la capacidad de la secadora, hay que tener en cuenta que la capacidad de descarga original de la maquina está en concordancia con dicho aumento, lo que a veces puede no suceder. La mayor velocidad de descarga se necesita para igualar la mayor velocidad del grano en la secadora.

Secadoras en tandas

Estas secadoras se adaptan muy bien para seca-aireación, pues directamente se suprime el tiempo de enfriamiento en la secadora. Para dejar el grano con 16 o 17% de humedad, solo es necesario acortar el tiempo de calentamiento. No se necesita hacer modificaciones en la secadora, En ellas se puede doblar con facilidad su capacidad de secado.

Son apropiadas para pequeños productores porque suelen tener menores capacidades.

Modificaciones en las norias y otros equipos

La noria (elevador de granos de cangilones o capachos) encargada de transportar el grano caliente y húmedo al silo de enfriamiento debe tener una capacidad por hora

alrededor del doble de la capacidad original de la secadora, para mover rápidamente el grano y evitar que se enfríe durante el recorrido. Lo mismo puede decirse de otros tipos de transportadores y demás equipo, que deben adecuarse a esa capacidad extra que se gana con este sistema.

Si se trabajara en forma continua las 24 horas del día y con varios silos por secadora, hay que tener presente que se requieren tres norias: una para alimentar la secadora, otra para llenar los silos de enfriamiento y una tercera para llevar el grano de estos últimos al almacenaje definitivo, o para su despacho.

En el caso de utilizar un silo o varios silos para guardar maíz húmedo hasta que pueda ser secado, es posible que se precise otra noria para llenar aquellos. En algunas circunstancias, en plantas o bodegas de menor envergadura, las norias pueden ser reemplazadas por otros sistemas de transporte (tornillos, cintas transportadoras, roscas, etc.).

En la figura 8 se muestra un esquema de una planta de acoplo con seca-aireación para un proceso continuo de secado durante las 24 horas del día y con cuatro silos de enfriamiento.

[Figura 8. Esquema de planta de acoplo con seca-aireación y proceso continuo las 24](#)

horas.

Este esquema solo incluye las instalaciones imprescindibles para un proceso como el indicado, pero no debe considerarse como un proyecto de diseño.

Si se emplean transportadores de tornillo, hay que tener presente que su capacidad se reduce también cuando se mueve grano húmedo y caliente, en comparación con grano seco y frío. Asimismo debe recordarse que los ángulos de los tubos de bayada deben tener como mínimo 45° para asegurar una corriente rápida. Se recomienda igualmente que se consulte al fabricante de la secadora sobre las modificaciones a realizar. Además de estas modificaciones, existen otras que deben efectuarse en los silos de enfriamiento, que se señalan más adelante.

Otro equipo que puede causar un cuello de botella cuando se aumenta mucho la capacidad de secado es la limpiadora o clasificadora, la que tendrá que ser cambiada o modificada para adaptarla a la nueva situación.

Silo de enfriamiento (silo de seca-aireación)

Junto con la secadora, es un elemento fundamental en seca-aireación. Gran parte del éxito de este método reside en un correcto diseño de este silo, con el fin de que el

proceso dure el tiempo suficiente para tratar adecuadamente al grano y no se demore excesivamente el trabajo de la planta de acopio.

En esta publicación se dan los principios primordiales que deben tenerse en cuenta para el buen funcionamiento de los silos de enfriamiento y algunos detalles importantes de su construcción, pero el diseño final del silo debe estar a cargo de profesionales especializados, ya que el mismo exige una serie de cálculos específicos como toda obra de ingeniería de este tipo.

Como la aireación es el principal componente de este silo, hay que manifestar en primer lugar que su diseño debe ser tal que toda la masa del grano se encuentre ventilada, para que no queden lugares sin ventilar en donde puedan producirse focos de deterioro.

En Estados Unidos se utilizan mucho los silos de fondo plano perforado porque la aireación resulta más pareja, sin embargo tienen el problema de la dificultad de su descarga que es más lenta, o resulta más costosa la inversión porque necesitan descargadores y barredores de tornillo sin fin (figura 9).

Los silos con fondo de tolva cónica son también apropiados, pero se requiere equiparlos con un eficiente sistema de aireación a base de tubos perforados. Estos

silos tienen la ventaja de su gran rapidez de descarga, factor muy importante en seca-
aireación.

Los franceses han proyectado un silo de enfriamiento como el que aparece en la figura 10. Tiene un fondo plano totalmente perforado, pero inclinado, de manera que la descarga pueda hacerse por gravedad hacia un costado. La boca de carga superior del silo está desplazada de tal forma que al caer el grano asuma la forma de su talud natural, para que la superficie del grano quede aproximadamente paralela al fondo del silo. Así las distancias del recorrido del aire serán muy parecidas entre sí, factor fundamental para una buena aireación.

Figura 9. Silo de fondo plano.

Figura 10. Silo de enfriamiento (francés).

Distribuidores de granos

Si bien no son imprescindibles, los distribuidores de granos en la boca de carga del silo resultan muy útiles para distribuir uniformemente el material en todo el silo. Tienen a compensar la acumulación de impurezas (borra) y suciedad en la parte central de los silos durante su llenado, pudiendo formar bloques que pueden endurecerse y que

causan problemas al resto de la masa de granos durante la descarga.

Las impurezas (borra) del maíz caliente y húmedo es pegajosa y propensa a acumularse y compactarse en mayor escala que cuando el grano está seco y frío.

Tamaño del silo

El tamaño o capacidad del silo debe estar adecuado a la capacidad de la secadora. Se recomienda que tenga una capacidad igual a ocho o diez horas de funcionamiento de la secadora. Por ejemplo, si la secadora tiene una capacidad de 40 toneladas por hora (debido a la seca-aireación), el silo deberá tener entre 320 y 400 toneladas.

Se pueden emplear silos algo más grandes, pero con la condición que la altura del grano no supere los 8 o 9 m., pues a mayores alturas se requieren potencias muy elevadas, debido al caudal necesario en seca-aireación.

Un silo de 8 m de diámetro, lleno hasta una altura de 8 m., tiene una capacidad de unas 300 toneladas, tamaño conveniente, digamos, para unas 10 horas de trabajo de una secadora rindiendo 30 toneladas por hora.

Para facilitar la aireación la proporción adecuada es una altura de grano igual o

similar al diámetro del silo. También puede ser una relación 5/3 (diámetro/altura) pues esta reduce la resistencia al paso del aire.

Cantidad de silos de enfriamiento

Se ha mencionado que el silo de enfriamiento debiera tener una capacidad para satisfacer unas 8 a 10 horas de trabajo en la secadora. Pero en operaciones continuas donde la secadora trabaja más horas o las 24 horas del día, será necesario contar con dos o más silos por cada secadora.

Este concepto es substancial porque si faltan silos de enfriamiento, son estos los que van a limitar la capacidad de secado y no la propia secadora.

Un ciclo completo de seca-aireación puede demandar 20-24 horas continuas, dividido de la siguiente forma:

Secado y llenado del silo de enfriamiento	8 horas
Reposo (simultáneo)	8 horas
Aireación	12 horas

Descarga	4 horas
	Total 20-24 horas

El reposo puede iniciarse cuatro horas después de empezar el llenado y tardar otras cuatro horas luego de prendida la aireación, de manera que es simultáneo con ambos periodos.

Ejemplos: Sea una secadora de 40 ton/hora (capacidad de fábrica) que rinde 25 ton/hora en secado convencional. Convertida a seca-aireación, aumente su rendimiento un 60%, es decir, que llega a una capacidad real de 40 ton/hora.

CASO 1. SECADORA TRABAJANDO 24 HORAS POR DIA (960 TON)

A) con dos silos de enfriamiento de 500 tan cada uno.

	Silo 1	Silo 2
Secado y llenado	8 a 20 hrs.	20 a 8 hrs.
Reposo	8 en adelante	20 en adelante
Aireación	13 a 2 hrs.	1 a 14 hrs.

Descarga	2 a 8 hrs.	14 a 20 hrs.
----------	------------	--------------

B) con tres silos de 350 tan cada uno.

	Silo 1	Silo 2	Silo 3
Secado y llenado	8 a 16 hrs.	16 a 24 hrs.	24 a 8 hrs.
Reposo	8 en adelante	16 en adelante	24 en adelante
Aireación	12 a 2 hrs.	20 a 10 hrs.	4 a 8 hrs.
Descarga	2 a 8 hrs.	10 a 16 hrs.	18 a 24 hrs.

C) con cuatro silos de 250 tan cada uno.

	Silo 1	Silo 2	Silo 3	Silo 4
Secado y llenado	8 a 14 hrs.	14 a 20 hrs.	20 a 2 hrs.	2 a 8 hrs.
Reposo	8 en adelante	14 en adelante	20 en adelante	2 en adelante
Aireación	14 a 4 hrs.	20 a 10 hrs.	2 a 16 hrs.	8 a 22 hrs.

Descarga 4 a 8 hrs. 10 a 14 hrs. 16 a 20 hrs. 22 a 2 hrs.

CASO 2. SECADORA TRABAJANDO 12 HORAS POR DIA (480 TON), CON DOS SILOS DE 250 ONELADAS CADA UNO:

	Silo 1	Silo 2
Secado y llenado	8 a 14 hrs.	14 a 20 hrs.
Reposo	8 en adelante	14 en adelante
Aireación	16 a 14 hrs.	22 a 10 hrs.
Descarga	4 a 8 hrs.	10 a 14 hrs.

La diferencia en el tamaño de los silos se manifiesta en la potencia de los ventiladores; mientras que un silo de 400 toneladas puede necesitar más de 30 CV en sus ventiladores, uno de 250 toneladas para el mismo caudal unitario, solo necesitará 15 CV.

Es importante en todos los casos que la capacidad de descarga del silo y de la noria este en concordancia con los tiempos fijados en estos cronogramas.

Caudales de aire

Los caudales de aire pueden ser expresados en m³ por hora y los caudales unitarios en m³ por hora y por m³ de grano, o en m³ por minuto y por tonelada de grano (cuadro 1).

De acuerdo a Lasseran, en seca-aireación se requieren unos 800 m³ de aire por cada tonelada de grano. Para un periodo de enfriamiento de unas 12 horas, corresponde un caudal unitario de unos 67 m³ por hora y por tonelada, o sea 1,1 m³ por minuto y por tonelada.

Caudales unitarios de 0,5 a 1,2 m³/min/ton son los más empleados en secaaireación. Estos valores son de 2 a 3 veces mayores que los caudales normalmente empleados en la aireación común. En seca-aireación no pueden usarse caudales menores a los indicados, porque se demora el proceso de secado y enfriamiento en el silo, lo que puede ocasionar problemas de deterioro del grano. Tampoco convienen caudales mayores, pues pueden producir un alto porcentaje de fisuras en los granos. Además caudales mayores que los recomendados, forzarán al aire a salir antes que tenga tiempo de recoger suficiente humedad, lo que significa un desperdicio de energía.

Se ha comprobado que capas con poco espesor de grano producen enfriamientos dispares y tiempos más prolongados. Esta situación sugiere el empleo de los caudales más altos cuando se usan capas delgadas (menos de 4 m) y, por el contrario, elegir un caudal menor cuando se trata de capas profundas.

Cuadro 1: Caudales de aire para aireación de granos.

EQUIVALENCIAS			
m ³ /mia/ton	m ³ /min/m ³	m ³ /hora/m ³	cfm/bu
0,1	0,076	4,6	0,094
0,2	0,1 5	9,0	0,1 9
0,3	0,23	13,8	0,28
0,4	0,30	18,0	0,38
0,5	0,38	22,8	0,47
0,6	0,46	27,6	0,57
0,7	0,53	31,8	0,66
0,8	0,61	36,6	0,75

0,9	0,68	40,8	0,85
1,0	0,76	45,6	0,94
1,2	0,91	54,6	1,1 3
1,4	1,06	63,6	1,32
1,5	1,1 4	68,4	1,41
2,0	1,52	91,2	1,89

1 cim/bu (pie cubico por minuto por bushel) - 1,06 m3/mint/ton.

1 m3 1.000 litros.

Debe advertirse que la potencia del ventilador se acreciente casi cinco veces cuando el caudal unitario es doblado (ver cuadro 2).

Dentro de la amplitud recomendada (0,5 a 1,2 m3/min/ton), los caudales mayores producirán una mayor velocidad del frente de enfriamiento, pero la velocidad de secado no aumenta tanto.

Una forma de aumentar el caudal de aire es aumentar las revoluciones por minuto (rpm) del ventilador, pero la potencia necesaria aumenta en proporción al cubo de la

velocidad. Ello no se consigue cambiando la polea de mando por una de mayor tamaño, pues quizás no exista potencia suficiente; la solución es un motor más potente.

Por estas razones las potencias de los motores en los silos de enfriamiento son mayores que las comúnmente utilizadas en aireación.

Temperatura y humedad de los granos

Una clave para el buen funcionamiento del sistema, consiste en la salida del grano de la secadora con destino al silo de enfriamiento, a la temperatura y humedad correctas.

Con respecto a la temperatura, se considera que la salida del grano a 60°C constituye un valor satisfactorio para este proceso. Cuanto mayor sea la temperatura del grano a la salida, más corto será el periodo de enfriamiento y secado, pero no se debe exceder ese valor de 60°C pues se le considera el límite para no afectar la calidad del grano. Desde este punto de vista es muy importante considerar el uso posterior que van a tener los granos.

Reducciones de las temperaturas del grano afectan principalmente la cantidad de humedad que se le puede extraer. Según Foster (9), más a 53°C puede perder de

1,5 a 1,9 puntos de humedad durante el enfriamiento; más a 61 C puede perder de 1,7 a 2,3 puntos y más a 67 C puede perder de 2,0 a 3, 1 puntos.

En resumen, es necesario preocuparse porque la temperatura de salida del grano se mantenga alrededor de 60 C, por medio de alguna de las modificaciones propuestas en la secadora. La temperatura del aire de secado tendrá algunas variaciones de acuerdo a los distintos tipos de secadoras, pues depende del diseño de la máquina. Como ya se dijo, puede ser unos 10 a 15 C superior a la del secado convencional.

El grano debe ser transportado al silo de enfriamiento en la forma más rápida posible, a fin de que no pierda calor. En seca-aireación no se aconseja efectuar una limpieza del grano a la salida de la secadora, pues puede perder calor y reducir así la eficiencia del proceso.

En algunas instalaciones de seca-aireación no se consigue que el grano salga a 60 C o cercano a ella, sino a menor temperatura (40 a 50 C) y entonces su periodo de enfriamiento se alarga.

Las causas de ello se originan en la caída de la temperatura del aire de secado, ya sea por falta de control, ya sea porque no lo permite el quemador original, o porque no se coloca un quemador extra en la secadora.

La razón de la conveniencia de una buena temperatura del grano está dada porque el aire exterior que ingresa al silo se calienta hasta la temperatura del grano, lo cual lo convierte en un buen aire secante, ya que baja considerablemente su humedad relativa y al mismo tiempo produce un efecto refrescante muy intenso.

La humedad del grano que sale de la secadora también es factor importante del rendimiento del sistema. Cuando mayor sea la humedad de salida, más alto será el rendimiento de la secadora.

Siempre hay que recordar que cuanto más húmedo y caliente se encuentre un grano, mayor será el peligro de su descomposición o deterioro, situación que puede presentarse si el periodo de enfriamiento es demasiado prolongado. Además hay que tener presente que se produce una gran cantidad de vapor húmedo que ocasiona problemas cuando se condensa en el mismo silo, situación que se discute más adelante.

En Estados Unidos y Francia el grano suele entrar con 17 a 18% de humedad al silo de enfriamiento, mientras que en Argentina entra con alrededor del 16%. En esos países las humedades de comercialización son altas, del 15,5%, lo que permite aquellos mayores niveles. Para las condiciones de la zona maicera argentina, las humedades y temperaturas recomendadas del grano a la salida de la secadora son 16-16,5% y 55-

60°C, respectivamente.

Medición de la humedad y temperatura

Como es lógico suponer, la medición de humedad y temperatura a la salida de la secadora es una práctica recomendada para controlar la eficiencia del proceso.

Medir la humedad de un grano que se encuentra a 60°C es muy inseguro con los humidímetros corrientes empleados en los centros de acopio. Es necesario enfriar la muestra. Para ello se aconseja colocar la muestra en una corriente de aire de un ventilador coman doméstico por unos dos o tres minutos. La muestra se enfria sin peligro de que pierda humedad, por el poco tiempo de exposición y entonces se hace la medición. Si la muestra se agita, se enfriará más rápido.

Se pueden construir dispositivos simples para enfriar rápidamente las muestras, como el que se describe en la figura 11.

Una lectura correcta de humedad se obtiene colocando la muestra en un frasco hermético de vidrio, y midiéndola 24 horas más tarde. Si se comparan estas lecturas con las efectuadas después de un enfriamiento rápido, se podrá obtener un factor de corrección.

Para medir la temperatura, hay que contar con un recipiente térmico, para evitar que se enfríe durante la medición. Se coloca primero una muestra en el recipiente de la medición para calentarlo durante un minuto; luego se la saca y se coloca otra muestra junto a un termómetro y se hace la lectura a los 2-3 minutos.

Es importante que las muestras que se obtengan de la secadora sean representativas; por lo menos debieran sacarse tres muestras suficientemente espaciadas durante la descarga.

[Figura 11. Dispositivo para enfriar muestras.](#)

Reposo

El periodo de reposo se inicia cuando el grano caliente y húmedo proveniente de la secadora va llenando el silo de enfriamiento. El grano en esas condiciones debe permanecer en reposo, sin ser aireado, por un periodo de tiempo no menor de cuatro horas. Tiene por objeto permitir que se igualen las humedades del grano, entre el exterior y el interior del mismo.

Al uniformar las humedades en toda la masa del grano, este reposo evita la aparición del llamado "revenido", que consiste en el aparente aumento de la humedad del

grano por su transferencia del interior al exterior de su masa.

Cuando un grano es sometido al secado artificial, la acción del aire seca más las capas superficiales que el interior del mismo. Por ello, cuando se mide la humedad del grano con los humidímetros comunes de resistencia eléctrica o capacitancia, se está registrando la humedad exterior y no la interior, que puede ser uno o dos grados mayor (figura 12).

Figura 12. "Revenido" del grano.

Cuando el grano queda en reposo, la humedad interior tiende a desplazarse hacia el exterior, de manera que después de varias horas, la humedad medida nuevamente con el mismo aparato puede ser mayor en aproximadamente un punto o grado.

Por esta razón, el grano de maíz en el secado convencional suele retirarse con 13% de humedad, para que después no sobrepase mucho el 14%.

La mejor manera de medir la humedad del grano es emplear los métodos de referencia que existen para cada grano. Uno de los más empleados es el de la estufa al vacío o con corriente de aire, en el cual por calentamiento se evapora la humedad de los granos, midiendo la variación de peso. Otro método que también puede

emplearse es el de Brown Duvel en el que la humedad se mide por destilación del agua. Ambos procedimientos tienen el inconveniente de su duración o la necesidad de equipos especializados, por lo que no siempre son prácticos en los centros de acopio o para los productores.

Eliminar el reposo hace perder eficiencia al sistema pues demora más el enfriamiento, puede aparecer el revenido y es posible que aumente la proporción de granos cuarteados, según Sabbah, M.A.; Foster, G.H.; Haugh, C.G. y Peart, R.M. (13).

Cuando se carga un silo cuyo llenado total va a consumir 8 a 10 horas, la aireación puede ser prendida cuando hayan transcurrido unas 4 a 5 horas de iniciada la carga. Esto permite ir llenando el silo con camadas de grano caliente de forma tal que la camada superior tiene suficiente tiempo de reposo antes que le llegue el frente frío (si la aireación se practica insuflando aire de abajo hacia arriba).

[Indice](#) - [◀Precedente](#) - [Siguiente▶](#)

[Home](#)":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/"">

Enfriamiento

[Indice](#) - [◀Precedente](#) - [Siguiente▶](#)

La aireación para enfriar el grano se inicia terminado el periodo de reposo en el silo.

En los silos donde el aire se insufla (de abajo hacia arriba) el enfriamiento (y el secado) del grano se realiza por medio de un frente de enfriamiento y secado que va avanzando hacia arriba (figura 13). Se considera que el periodo ha terminado cuando la humedad y la temperatura del grano en la parte superior están en equilibrio con el aire exterior, lo que significa que todo el frente de enfriamiento y secado llegó arriba. En ese momento puede pararse la aireación .

En otras palabras, el periodo ha finalizado cuando la temperatura del grano en la parte superior es similar a la que tenía el aire cuando comenzó la aireación. Continuar aireando en ese momento sólo significará un desgaste de energía, excepto que las temperaturas del aire sigan descendiendo. Si, por el contrario, la temperatura asciende, existe el peligro de rehumedecer las capas inferiores.

[Figura 13. Frente de secado y enfriamiento.](#)

Si la aireación se suspende antes que dicho frente haya llegado a la parte superior, es muy probable que el grano de las capas superiores se mantenga todavía húmedo y

caliente quedando expuesto a un calentamiento excesivo que ocasionará su deterioro.

En realidad, se producen dos frentes que van avanzando hacia arriba, uno de enfriamiento y otro de secado. Corrientemente, el frente de enfriamiento llega más rápido a la parte superior, porque con la aireación es más fácil enfriar que secar el grano, pero en seca-aireación, a las temperaturas y humedades ya recomendadas y con los caudales aconsejados, ambos frentes avanzan en forma pareja o con poca diferencia.

La duración del enfriamiento y secado en el silo depende de varios factores, como la temperatura del grano y la del aire, pero especialmente del caudal unitario producido por el ventilador. Cuanto mayor sea este caudal, menor será el tiempo.

Con anterioridad ya se indicó que se requieren unos 800 m³ por tonelada de grano para completar el enfriamiento y secado en seca-aireación. Si se utiliza un caudal unitario de 1,2 m³/min/ton, el tiempo (T) estará dado por la siguiente fórmula:

$$T = (800 \text{ m}^3/\text{ton}) / (1,2 \text{ m}^3/\text{min}/\text{ton}) = 667 \text{ minutos} = 11 \text{ horas}$$

Si el caudal unitario fuera menor, por ejemplo, 0,9 m³/min/ton, el tiempo será:

$$T = (800 \text{ m}^3/\text{ton}) / (0,9 \text{ m}^3/\text{min}/\text{ton}) = 889 \text{ minutos} = 14,8 \text{ horas}$$

Se recomienda que este tiempo se encuentre entre 10 y 15 horas, de manera que todo el proceso (llenado del silo, reposo, enfriamiento y descarga) se realice dentro de las 24 horas.

Influencia del aire exterior

Cuanto más frío se encuentre el aire exterior, mejor será el rendimiento de la aireación; o sea cuanto mayor sea la diferencia entre la temperatura del grano y la del aire, mayor será la pérdida de humedad del grano.

Por esta razón se aconseja en todo lo posible realizar el periodo de enfriamiento durante las horas de la noche, en que la temperatura es más baja. Por supuesto, ésto no será realizable cuando se seque las 24 horas del día.

La humedad relativa del aire exterior no tiene casi ninguna influencia en seca-aireación, por lo que no hay ningún peligro de airear con aire aun con el 100% de humedad relativa.

Equipo refrigeradores de aire

Existen desde hace varios años en el comercio y su uso ya se está generalizando en algunos países de Europa, como Alemania, Francia y España, equipos de refrigeración que permiten enfriar el aire y al mismo tiempo secarlo si fuera necesario, los cuales se utilizan en lugar de la aireación (figura 14).

En la Argentina ha comenzado a difundirse, sobre todo en las compañías productoras de semillas, ya que en esta actividad es fundamental conservar una buena calidad y un alto poder germinativo. El elevado valor de la semilla, justifica las mayores inversiones requeridas por estos equipos.

Combinado con el sistema de seca-aireación, el empleo de equipos refrigeradores de aire en el silo de enfriamiento, permite reducir la temperatura del aire a unos 7 a 10◊ C.

El hecho de poder enfriar el aire da la posibilidad de recibir grano proveniente de la secadora, con un poco más de humedad, hasta 18-19%, con lo cual aumenta todavía más el rendimiento de la secadora, siempre que el equipo de refrigeración esté adaptado al tamaño del silo y proporcione los caudales necesarios de aire.

Tiene la ventaja extra de que el grano ya sale para los silos de almacenaje definitivo a temperaturas entre 10 y 12◊ C; condiciones que facilitan una prolongada y segura

conservación posterior.

Condensación de humedad

La condensación de humedad es la principal complicación que se presenta con el sistema de seca-aireación y puede causar serias dificultades si no se toman las medidas pertinentes.

Cuando ingresa al silo una masa de grano húmedo y caliente y se prende la aireación, se origina una cantidad muy grande de vapor de agua, sobre todo durante las primeras horas. Resulta imprescindible eliminar rápidamente esta humedad, pues puede condensarse con facilidad al entrar en contacto con las partes frías del techo, paredes y otras partes del silo.

Si el vapor de agua se condensa, el agua producida humedece las capas superficiales del silo y las que están en contacto con las paredes, quedando el grano expuesto a un deterioro mas o menos rápido.

Por todo lo mencionado, es muy importante contar con equipos que permitan eliminar ese aire tan húmedo. Lo más práctico son extractores ubicados en el techo del silo, accionados por motores electrices. Los extractores de aire tienen una ventaja

adicional: mientras funcionan al ser llenado el silo, eliminan la mayoría del polvo que se genera al mover el grano (figura 15).

Figura 15. A: Extractores de aire.

También se pueden colocar respiradores apropiados y aberturas por donde pueda escapar el aire húmedo. Asimismo puede ser necesario colocar válvulas o trampas en las bocas de descarga (figura 16) para evitar que los vapores húmedos se metan a los tubos y conexiones, lleguen a la cabeza de las norias y a otros silos, ocasionando humedecimientos que pueden provocar deterioros de los granos por apelmazamiento de las impurezas, atascamientos en tubos y perforaciones.

Figura 16. Válvulas para eliminar humedad.

Aún tomando precauciones, es probable que se produzca una leve condensación de humedad en las paredes de la mayoría de los silos de secaaieración que no suele superar una capa de granos de 2 a 5 cm de espesor. Cuando se descarga el silo, este material se mezcla con el resto de la masa de granos sin ocasionar problemas. Estos silos deben ser sometidos a un proceso de limpieza, después de ser utilizados en secaaieración, si van a ser empleados como silos de almacenaje prolongado.

Las norias encargadas de llenar los silos de enfriamiento experimentan un desgaste mayor, por el hecho de transportar grano húmedo y caliente. Se nota igualmente una menor duración de las correas de las norias por lo que su mantenimiento debe ser mas frecuente.

El aire que atraviesa los granos sale caliente y húmedo y en esas condiciones es muy sofocante. Por lo tanto, si no se toman las debidas precauciones, es peligroso entrar en un silo que está siendo aireado.

❖ Insuflar o aspirar el aire?

Es objeto de discusión entre los que usan la seca-aireación y aireación común, sobre las ventajas de insuflar el aire en los silos hacia arriba, o de aspirarlo hacia abajo, considerando que el ventilador está en la parte inferior.

De un conjunto de plantas de acoplo que empleaba seca-aireacin en Argentina y que fueron encuestadas, De Dios, C.A. y Puig, R.C. (5) encontraron que mas de la mitad aspiraban el aire hacia abajo. Las razones manifestadas para ello se basaban en que de esa forma la condensación de humedad se restringe en gran proporción. Esto es verdad, pues el aire caliente y húmedo es forzado a salir por el ventilador y tiene menos tiempo para condensarse. Pero igualmente origina un poco de condensación en

el fondo del silo que, por supuesto, no es visible.

Sin embargo y a pesar de ello, la buena técnica aconseja que es preferible insuflar que aspirar el aire. Insuflar el aire hacia arriba permite que primero se enfríe y seque el grano que está en el fondo y luego las capas que están arriba. Esto permite ir llenando el silo con grano caliente y el enfriamiento puede ser iniciado unas 4 a 6 horas después de haber efectuado la primera carga del silo.

En caso contrario si se aspira el aire, hay que esperar que todo el silo esté lleno, e iniciar la aireación una vez que el grano que se encuentra en las capas superiores ha estado en reposo por lo menos cuatro horas. Si se comenzara antes, el grano de la parte superior quedaria expuesto al fisurado (cuarteado, estrellado), al sobresecado y al revenido ulterior.

Por otro lado cuando se aspira, el aire caliente y húmedo de las capas superiores atraviesa la masa de grano para salir por la parte inferior, lo que puede en tal caso demorar mas el enfriamiento y secado. Cuando se aspira aire, debe tenerse cuidado de no interrumpir la aireación y de no agregar nuevas capas de grano caliente. Si se detiene el ventilador, los granos calientes de la parte inferior funcionan como chimenea, arrastrando el aire caliente hacia arriba y calentando los granos que ya estaban fríos.

Por los motivos explicados, la aspiración del aire alarga la duración del enfriamiento.

Otra dificultad que puede causar la aspiración, es una mayor compactación del grano, lo que aumenta la presión estática, lo que influye sobre la duración o eficiencia del proceso. Esto no ha sido demostrado experimentalmente y hay muchos usuarios que manifiestan que no existen diferencias entre insuflar o aspirar el aire.

Si la masa de grano tiene mucho material fino (quebrados, impurezas, suciedad, polvo), al aspirar el aire hacia abajo, se corre el riesgo de tapar las perforaciones de los tubos de aireación.

Termometría

El uso de cables con termocuplas en los silos de enfriamiento es una practica totalmente recomendada en seca-aireación. Es la mejor forma de ir controlando en el silo el avance del frente de enfriamiento y secado y conocer el momento oportuno de parar la aireación. Con ello se evita utilizar la aireación en demasía, lo que es costoso, o detenerla antes de tiempo, lo que es peligroso.

Es posible también controlar el proceso sin contar con estos dispositivos para lo cual se requiere el empleo de termómetros sondas, los cuales se introducen en la parte

superior de la masa de granos, si el aire se insufla. En él caso que el aire se aspire, el control solo podrá efectuarse en el aire que sote por el ventilador y antes que pase por éste, aunque este procedimiento no resulta completamente confiable.

Calculos para el diseño de silos de seca-aireacion

El cuadro 2 muestra los datos mas importantes para la elección y diseño de los silos de seca-aireación tomando como base el maíz. Se establecen los distintos tamaños de silos, sus capacidades y las alturas respectivas de grano. Para tres diferentes caudales unitarios de aire, se fijan los valores de caudales totales, presiones estáticas, potencias requeridas, y superficies necesarias de conductos para el aire.

Cuadro 2

El maíz caliente y húmedo ofrece una mayor resistencia al paso del aire que el maíz seco, lo que se ha tenido en cuenta al confeccionar el cuadro.

El áres perforada de los conductos (cductos) se calcula sobre la base que la velocidad del aire que entra a los granos se mantiene en 9 m por minuto, o menos. El área o superficie de los conductos (ductos) se calcula dividiendo el caudal total en m³/min. por 9. En conductos (ductos) circulares, solamente se considera el 80% de dicha área,

cuando los tubos apoyan sobre el suelo o una pared.

Ejemplo: Para un silo de seca-aireación de 377 tan de capacidad de 8 m de diámetro y lleno hasta 10 m de altura, con un caudal unitario de 1,1 m³/min/ton, se necesitan (ver cuadro 2).

$$377 \text{ tan} \times 1,1 \text{ m}^3/\text{min}/\text{ton} = 415 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\text{Superficie de los conductos (ducíos): } (415 \text{ m}^3/\text{min}) / (9 \text{ m}/\text{min}) = 46 \text{ m}^2$$

Para un tubo de 0,50 m de diámetro (1,57 m de circunferencia) corresponderá una longitud de:

$$l = (46 \text{ m}^2) / (1,57 \text{ m}) = 29,3 \text{ m}$$

Calculando el 80% de superficie aprovechada, se necesitaran 36,6 m de tubo perforado.

Si fuera un piso perforado, ocuparía el 91% de la superficie del fondo del silo.

Las velocidades del aire en los conductos (ducíos) y tubos no deberán exceder los 450 m por minuto. Si se divide el caudal total de aire por 450, se obtiene la sección de

conductos (ducíos) más apropiada. Los cambios de dirección y las aberturas no debieran restringir el caudal de aire.

Enfriadores

Desde hace un par de años se ha desarrollado en Francia (país que está empleando mucho el sistema de seca-aireación, como ya se ha dicho) un tipo de silo especial que reemplaza a los silos de enfriamiento mencionados hasta ahora.

Estos silos, llamados "enfriadores continuos", como se ilustra en la figura 17, están formados por una cámara superior que recibe el grano proveniente de la secadora y donde éste va descendiendo al tiempo que sufre el periodo de reposo. Luego llega a la zona de enfriamiento que tiene caballetes similares a los de una secadora, por los que desciende el grano y recibe la corriente de aire en forma de contracorriente (de abajo hacia arriba).

Los vapores de condensación (vahos) son eliminados a troves de una chimenea lateral por medio de ventiladores de potencia adecuada.

Los granos ya fríos y secos, son descargados en la parte inferior por un sistema de extracción del tipo secadora, u otro similar. La capacidad de este enfriador en

toneladas/hora, debe ser por supuesto igual a la capacidad de la secadora.

De acuerdo a sus fabricantes, estos equipos aceleran el proceso de secaaireación, reducen los gastos de inversión y permiten automatizar casi totalmente el sistema.

[Figura 17. Enfriado continuo con efecto de seca-aireación. Para secadora de 3.600 kg H₂O/h con capacidad de 21 ton/h; 30-18,5% de humedad.](#)

[Indice](#) - [◀Precedente](#) - [Siguiente▶](#)

[Home](#)":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/"">

4. Ventajas e inconvenientes

[Indice](#) - [◀Precedente](#) - [Siguiente▶](#)

[Consumo de energia](#)

[Problemas de calidad](#)

[Otras ventajas de seca-aireacion](#)

[Algunos inconvenientes](#)

Consumo de energía

Las experiencias realizadas en Estados Unidos y Europa demuestran que el sistema de seca-aireación ocasiona una sensible economía en los consumos de energía, entendiendo como talas aquellos referidos a combustibles y electricidad.

Si nos referimos al consumo de combustible, es posible que en algunos casos aumente el gasto por hora, porque se han agrandado los quemadores o se ha agregado un quemador extra. Pero debido al aumento de la capacidad de secado, el consumo por tonelada o quintal, se reduce mucho en comparación con el secado convencional.

En Francia, el consumo de combustible por tonelada ha disminuido con secaaíreación entre el 15% y el 37%/0 y esta es una de las principales razones por las cuales el sistema de seca-aireación se ha divulgado tanto en ese país. La escasez de petróleo está obligando a muchas naciones a modificar su política energética y a favorecer procedimientos que permitan economizar tales combustibles.

La combinación de seca-aireación con recirculación del aire en la secadora, para aprovechar la temperatura que lleva al pasar por los granos, permite reducir a

más el consumo de energía.

En Argentina, hasta hace unos años el costo del combustible para el secado igualaba aproximadamente el costo de la electricidad. Pero en estos momentos el costo de los primeros casi ha triplicado al de la electricidad y la incidencia del costo total de secado sobre los gastos de comercialización de un productor de maíz ha aumentado ahora a un 10%, condición que obliga a buscar soluciones para reducir tales perjuicios económicos. La economía que proporciona en este sentido la seca-aireación resulta significativa.

Problemas de calidad

En otras partes de este trabajo ya se ha referido que con seca-aireación se consigue una mejor calidad de grano. En la bibliografía se encuentran muchos trabajos en los que figuran datos comparativos con otros sistemas de secado.

En Canadá, en la Universidad de Guelph, Brown, R.B.; Fulford, G.N.; Daynard, T.B.; Meiring, A.G. y Otten, L. (3) demostraron que el maíz secado con seca-aireación, analizado con un índice de remojo empleado en molinera hmeda, mostró valores superiores a 200, mejores que muestras provenientes del secado convencional.

Ensayos de Gustafson y Morey (6) indicaron que la seca-aireación produjo un aumento de 1,2 kg en el peso hectolétrico del maíz en comparación con el secado convencional y una susceptibilidad a la rotura del grano sensiblemente menor (9,82% contra 18,30%), con temperaturas de aire de secado de 135°C.

Experiencias realizadas en la Estación Experimental Pergamino del INTA, por De Dios, C. y Puig, R.C. (4) en la campaña 1979-1980 permitieron comparar secaaieación con el secado convencional en relación a la calidad de grano de maíz. Los resultados promedios obtenidos se observan en el cuadro 3.

Cuadro 3. Calidad del maíz en comparación con el sistema de secado.

SISTEMA	Granos cuarteados%	Peso hectolitrico kg/hl	Poder germinativo%
Secado convencional	61,89	74,86	28,75
Seca-aieación	13,03	76,11	49,11

Como se puede observar la seca-aieación redujo considerablemente el porcentaje de

granos cuarteados (61,89 a 13,03%). Se estima que las partidas de grano tratadas con este sistema llegarán al final del proceso con un porcentaje de rotura mucho menor y por consiguiente, con pérdidas y mermas mas restringidas.

En el estudio se consideraron granos cuarteados aquellos que se mantienen enteros, pero que presentan en su interior planos o líneas de fisura debidas a diferencias de temperatura y que son características de los granos secados artificialmente, aunque también pueden producirse por acciones climáticas naturales, o por impactos de la trilla, aunque por estas causas rara vez sobrepasan el 5% del total.

El cuarteado se produce principalmente por las elevadas temperaturas de secado y el enfriamiento inmediato, lo que causa algunas tensiones en el endospermo del grano que se traducen en planos de fisura perfectamente visibles. Una característica notable es que el grano está fraccionado en su interior (endospermo), pero se mantiene protegido por el pericarpio que impide su división.

Los granos cuarteados están mas expuestos a la rotura y quebrado cuando se llevan a cabo distintos movimientos como carga, descarga, transilaje, limpieza, transporte, etc. En promedio se encontró que los granos provenientes de las plantas de acopio de la región maicera, estaban cuarteados en más del 70%

Como el porcentaje de granos cuarteados está en relación directa a la severidad de secado, es posible encontrar partidas de maíz, especialmente aquellas cosechadas con alto porcentaje de humedad, donde casi el 100% de los granos presentan esta característica, cuando se emplearon temperaturas elevadas seguidas de un enfriamiento muy rápido.

Siendo el grano cuarteado un factor fácil de determinar y estando tan directamente vinculado al secado artificial, puede emplearse como un parámetro capaz de evaluar la severidad del secado que ha sufrido un determinado lote de maíz.

La otra observación importante fue la ganancia en el peso hectométrico que fue de 1,25 kg/hl. En una planta de acopio que procesa volúmenes considerables de maíz, esta diferencia representa un menor volumen acumulado, o sea un mejor aprovechamiento del espacio. Una planta que maneje 30.000 tan anuales con seca-aireación ocupara 685 m³ menos de espacio, o sea unos 12 camiones menos de flete anual. Por otra parte un mayor peso hectométrico siempre es un indicio de mejor calidad de grano, desde el punto de vista industrial y comercial.

En cuanto al poder germinativo, también fue mayor en los granos provenientes de seca-aireación. Si bien esta diferencia no fue muy grande, es otro índice de la calidad superior de los granos.

Lamentablemente en las normas de comercialización de los granos (en particular del maíz en Argentina), no se tienen en cuenta algunas de estas características de manera de premiar o beneficiar a quienes entregan granos de mejor calidad. Ante tal circunstancia los procedimientos de secado que propenden a conservar la calidad no presentan suficientes alicientes para los acopiadores y cerealistas de la actividad comercial. Solo las industrias que procesan los granos, como la molienda hmeda del maíz, la molinería y panificación del trigo y otras similares, se encuentran muy preocupadas por estos aspectos, ya que tienen serias dificultades para el tratamiento de los granos secados por los métodos convencionales. Los productos obtenidos son de baja calidad y el rendimiento industrial se resiente.

En Francia por ejemplo, seca-aireación produjo para la industria del almidón, índices de recuperación del producto superiores comparativamente con el secado clásico, y una pureza de almidón sensiblemente equivalente (12).

Otras ventajas de seca-aireacion

El hecho de producir un grano mas sano (con menos fisuras por consiguiente poco expuesto a la rotura) significa que se tendrá una menor proporción de grano quebrado y de polvo de grano, con lo cual las mermas o pérdidas de mercadería quedan reducidas. Además la menor proporción de polvo representa menor

contaminación del aire exterior y por lo tanto se reduce el peligro de explosiones.

Con seca-aireación también hay un menor riesgo de incendio en las secadoras, pues el método obliga a tener mayor control de la temperatura de salida de los granos y no se alcanzan las altas temperaturas de grano del método convencional.

Otra ventaja lo constituye la posibilidad de terminar el proceso de secado cuando el maíz contiene de 14 a 14,5% de humedad, mientras que en los métodos convencionales el secado suele terminarse con 13-13,5%. Esta mayor humedad puede permitirse porque al estar el grano más sano, su seguridad en el almacenaje resulta superior. En el secado clásico debe secarse a 13-13,5% para compensar el revenido, que no existe prácticamente en seca-aireación.

Este punto de diferencia puede influir económicamente cuando se manejan grandes volúmenes de grano; ya que representa algo más del 1% de pérdida de peso. Por ejemplo, secar a 13% en vez de 14% representa una merma de peso de 1,15%.

Cuando se deba secar un maíz muy húmedo, por ejemplo con un contenido de humedad de alrededor del 30%, la buena práctica aconseja en el secado convencional, hacer por lo menos dos pasadas consecutivas por la secadora, para evitar el deterioro del grano.

Con seca-aireación, es posible efectuar el secado a esas mismas humedades, con solo una sola pasada por la secadora, lo que representa entonces una significativa ganancia de tiempo. Solamente se necesitaran dos pasadas cuando el grano tenga humedades de 35% o más.

Del mismo modo resulta ventajoso cuando deben secarse maíces con diferentes porcentajes de humedad. En este caso, cuando se emplea el secado convencional, se producirá un sobresecado en los maíces que ingresaron con menor humedad. Usando seca-aireación el sobresecado será muy moderado, pues los granos son retirados con aproximadamente 16% de humedad, lo que evita una importante pérdida de peso.

Algunos inconvenientes

Son pocos los inconvenientes o desventajas que pueda presentar la secaaieación. Uno de los que más se manifiestan se refiere a la necesidad de disponer de varios silos por secadora, equipados con sistemas reforzados de aireación. Se argumenta que no siempre se dispone de los mismos y su construcción requiere inversiones elevadas.

Estas razones pueden rebatirse pues el aumento de la capacidad de secado y el ahorro

de energía compensan en poco tiempo los gastos ocasionados.

Otra objeción que suele presentarse es que al no pagarse bonificación por calidad, no se justifica el método por este aspecto. Esto es una realidad, ya mencionada anteriormente. Pero esta situación puede cambiarse en forma substancial si las autoridades modifican las normas y estatutos de comercialización actualmente vigentes. De todas formas, la buena calidad es primordial para la conservación de los granos y para muchas industrias que ya están pagando sobrepagos por un mejor producto.

También se dice que seca-aireación no es adecuado cuando se trata de partidas relativamente pequeñas que deben ser secadas y despachadas a la brevedad. La duración del proceso de seca-aireación, desde que el grano entra a la secadora, hasta que sale del silo de enfriamiento, listo para el despacho, puede ser de unas 24 horas. Si una partida ingresa húmeda a la planta de acoplo y debe ser despachada en pocas horas, es evidente que solo puede emplearse el secado convencional. En estos casos, cuando este tipo de operaciones es frecuente, es recomendable que la planta posea una secadora convencional extra. En ciertas secadoras es posible convertirlas con alguna rapidez de seca-aireación al método convencional y viceversa, lo que permite hacer frente a situaciones como la mencionada.

Algunos usuarios manifiestan que aplicar seca-aireación requiere un manejo más complicado de la planta, que se debe contar con personal más competente para llevar un buen control de temperaturas y humedades, distribuir correctamente los silos y vigilar constantemente la operación del proceso. Es cierto que se impone una mayor atención en el manejo de una planta equipada con seca-aireación pero el aprendizaje del personal no resulta difícil. No hay que olvidar que la operación de un centro de almacenamiento moderno se facilita mucho cuando se cuenta con un buen sistema de termografía y se lleva un adecuado registro de temperaturas y humedades del aire.

También se expresa que en plantas equipadas con seca-aireación se produce más desgaste en algunas partes o piezas, como las correas de las norias que llevan material caliente, debido al exceso de humedad y calor a que están sometidas, por lo que su duración es menor.

[Indice](#) - [◀ Precedente](#) - [Siguiente ▶](#)

[Home](#)":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/"">

5. Algunas variantes

[Indice](#) - [◀Precedente](#) - [Siguiente▶](#)

[Enfriado en dos etapas](#)

[Secado combinado \(combination drying\)](#)

[Secado por retorno](#)

[Secado de trigo](#)

[Secado de arroz](#)

[Secado de semillas](#)

Enfriado en dos etapas

Es factible en algunas instalaciones, por razones de orden práctico, limitar el tiempo de aireación a 8-10 horas ya que se sabe que la mayor parte del enfriamiento se produce durante las primeras cinco o seis horas de funcionamiento y que sólo las capas superiores del silo quedan todavía algo calientes después de unas 8 horas. Entonces se puede transferir el grano en ese momento a los silos comunes de almacenaje provistos de un sistema de aireación corriente, donde se puede terminar el enfriamiento y secado, aunque demore varios días o a veces semanas. De este modo quedan libres más pronto los silos de seca-aireación.

Esta es una forma de enfriamiento en dos etapas, que ha sido adoptada por ciertas plantas de acopio que poseen las facilidades adecuadas para ello y que les permite agilizar aún más el procedimiento.

Otra manera de acelerar el proceso consiste en transferir parte del grano después de unas 8 horas de aireación, a otro silo de seca-aireación, el cual se está llenando con grano caliente y húmedo proveniente de la secadora. La parte que sale justo a los pocos minutos de iniciada la descarga es aquella de las capas superiores algo más húmedas y calientes que el resto (esto se refiere a silos de fondo cónico de descarga por gravedad).

Estos procedimientos aceleran el proceso pero obligan a tener mayor cantidad de silos e instalaciones apropiadas y a ejercer un mejor control de humedades y temperaturas.

Secado combinado (combination drying)

Es una técnica que aplica los principios de seca-aireación con algunas modificaciones y que es utilizada por numerosos productores de granos en Estados Unidos, según Morey, R.V. and Cloud, H.A. (10).

Consiste en retirar el grano de la secadora con 18-20% de humedad, sin enfriarlo y

Llevarlo a un silo provisto con aireación convencional donde es enfriado y secado por un tiempo prolongado, que puede llegar a uno o dos meses.

Este procedimiento necesita utilizar varios silos, de acuerdo al tonelaje operado. Lo emplean productores que manejan su propia producción y que no tienen mayor urgencia en disponer de silos de enfriamiento. En la mayoría de los casos, el grano queda almacenado en los mismos silos de enfriamiento.

Si bien el secado no es tan parejo, pues puede haber varios puntos de diferencia entre la humedad del fondo del silo y la parte superior, resulta un método económico y presenta un buen ahorro de energía. En secado combinado se recomiendan espesores de granos menores de 6 m.

Foster dice que en este tipo de secado se puede aspirar el aire hacia abajo, pues eliminar buena parte de la condensación de humedad, siempre que la aireación no se interrumpa. Un problema que puede presentarse es el sobresecado de las zonas más expuestas a la aireación.

El secado combinado disminuye también en buena proporción el consumo de energía expresado en kcal por kg de agua evaporada, en comparación con el secado convencional.

Este método se adapta a las zonas frías, donde las temperaturas del aire son más bien bajas y permiten mantener el grano en proceso de secado durante mucho tiempo. Pero sería riesgoso emplearlo en zonas cálidas o subtropicales.

Secado por retorno

Su fundamento es básicamente el mismo que en seca-aireación y consiste en utilizar también la secadora sólo con aire caliente, sacar el grano caliente e igualmente hacerlo reposar en un silo. Luego vuelve a ser recirculado por la secadora, pero en esta segunda etapa, la máquina no acciona su fuente de calor y solamente trabajarán los ventiladores con aire frío.

Secado de trigo

La temperatura máxima del grano de trigo que se admite es de 60°C, ya que en caso contrario se altera el gluten y resulta muy difícil obtener un buen pan. Nunca se debe secar el grano de trigo con temperaturas del aire tan altas como las que se emplean con el maíz (120°C y superiores). En el secado convencional de trigo, no debieran superar los 90°C, a fin de que las del grano no excedan los 60°C.

Empleando seca-aireación, como se ha explicado con anterioridad, las temperaturas

del grano difícilmente superan los 60°C, debido a la gran evaporación que se origina en el proceso, siempre que el grano sea retirado con una humedad del 16-17%.

Sin embargo, no hay todavía experiencias conocidas de seca-aireación con trigo que indiquen la calidad pánicula que se obtiene, de manera que hay que ser prudente con las temperaturas del aire de secado.

Secado de arroz

El arroz debe ser secado con mucho cuidado para evitar las tensiones internas, que pueden originar altos porcentajes de rotura durante su procesamiento en los molinos. Generalmente se pasa 4 o 5 veces por la secadora y durante los intervalos es sometido a un periodo de reposo de varias horas, para eliminar las tensiones.

Utilizando equipos de aireación en los silos de reposo, es posible eliminar en esos intervalos algunos puntos de humedad y mejorar la eficiencia del proceso.

Experiencias realizadas en Texas, Estados Unidos, demostraron que empleando la aireación, era posible reducir el número de pasadas por la secadora, lo que significaba un aumento en la capacidad de secado y un ahorro en los costos.

Secado de semillas

Como el fin primordial de la producción de semillas es mantener su poder germinativo, cuando es necesario secarlas, la temperatura máxima permisible para la mayoría de las especies, es de 40 C.

Por ello, la regulación de la temperatura en la secadora es muy importante recomendándose que en la mayoría de los casos, la temperatura del aire de secado esté por debajo de los 60 C.

El mejor método para secar semillas es el aire natural. Lo recomendable son silos no mayores de 300 tan con piso totalmente perforado, equipados con un sistema de aireación reforzada que suministre un caudal unitario de 3 a 5 m³ por minuto y por tonelada, el cual es tres a cuatro veces mayor que para secaireación.

Es recomendable que la semilla no tenga más del 20% de humedad ya que bajo estas condiciones el secado puede demorar varios días. El secado debe completarse antes del almacenaje definitivo. Se aconseja conectar los ventiladores continuamente una vez que esté cubierto de grano el fondo del silo. Los ventiladores tienen que funcionar día y noche, hasta que esté seca la semilla que se encuentra en la última capa superior.

En estos silos es factible acelerar el proceso de secado si el aire se calienta unos

grados, colocando algún sistema de calentamiento en el ventilador, o por medio de la energía solar.

[Indice](#) - [◀Precedente](#) - [Siguiente▶](#)

[Home](#)":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/"">

6. Referencias bibliograficas seleccionadas

[Indice](#) - [◀Precedente](#) - [Siguiente▶](#)

1 ASOCIACION DE INGENIEROS AGRONOMOS DE LA ZONA NORTE DE LA PROV. DE BUENOS AIRES: Jornadas de Secado y Almacenaje de Granos. Pergamino, Argentina.

1975

2 ASOCIACION DE INGENIEROS AGRONOMOS DE LA ZONA NORTE DE LA PROV. DE BUENOS AIRES: Reunión Técnica sobre Calidad de Trigo. Pergamino, Argentina.

1983

3 BROWN, R.B.; FULFORD, G.N.; DAYNARD, T.B.; MEIERING, A.G. and OTTEN, L.: Effect of drying method on grain coró quality. Cereal Chemistry, Vol. 56, N^o 6: 529.

1979

4 DE DIOS, C.A. y PUIG, R.C.: Comparaci3n de dos sistemas de secado de ma^z: II Congreso Nacional de Ma^z. Pergamino, Argentina.

1980

5 DE DIOS, C.A. y PUIG, R.C.: Estado actual del sistema de seca-aireaci3n de granos de ma^z: III Congreso Nacional del Ma^z. Pergamino, Argentina.

1984

6 GUSTAFSON, R.J. and MOREY, R.V.: Study of factors affecting quality changes during high-temperature drying. Transactions of the ASAE Vol. 22, N^o 4:926.

1979

**7 LASSERAN, Jean Claude: La dryeration ou refroidissement lent dif^{er}.
Perspectivas Agr^ocolas. Juin-Juillet N^o 6: 59.**

1977

**8 MARSANS, Guillermo: Secado y acondicionamiento de granos. Junta Nacional de Granos. Centro de Acopladores de Cereales de Bragado, Argentina.
1984**

9 MC KENZIE, B.A.; FOSTER, G.H.; NOYES, R.T. and THOMPSON, R.A.: Dryeration. Better corn quality with high speed drying. Cooperative Extension Service, Purdue University, Lafayette, Indiana, USA. AE-72.

**10 MOREN, R.V. and CLOUD, H.A. Combination high-speed, natural-air corn drying. Agricultural Extension Service, University of Minnesota, USA. M163.
1980**

**11 NEVES, M.J.B.; FORTES, M; MOREIRA, S.M.C. e PINHEIRO FILHO, J.: Simulação físico-matemática do processo de secagem. Revista Brasileira de Armazenamento, Vol.. 8, N° 1 e 2, Vicosa, Brasil, Jun/Dez.
1983**

**12 PERSPECTIVES AGRICOLES. Conditions de séchage et qualité amidonnière du maïs. Juin-Juillet N° 6: 71.
1977**

13 SABBACH, M.A.; FOSTER, G.H.; HAUGH, G.C. and PEART, R.M.: Effect of tempering after drying on cooling shelled coro. Transactions of the ASAE, Vol. 15, No. 4: 763. 1972

[Indice](#) - [◀Precedente](#) - [Siguiente▶](#)

[Home](#)":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/"">

Tabla de equivalencias

[Indice](#) - [◀Precedente](#)

1 kcal = 4200 joules = 4,2 kJ

1 MJ (megajoule) = 240 kcal

1 Btu = 0,252 kcal

1 kcal = 3,968 Btu

CV = 0,986 HP = 0,736 kW

1 H P = 1,014 CV = 0,746 kW

1 kg/HI = 0,777 lb/bu

1 lb/bu = 1,2872 kg/HI

1 bushel = 35,239 litros

1 litro = 0,0284 bushels

1 tan (tonelada) = 1000 kg = 1,1 tan corta = 0,98 tan larga

1 q (quintal) = 100 kg

1 kg/ha = 0,89 libras/acre

1 libra/acre = 1,12 kg/ha

1 pie/min (fpm) = 0,0183 km/hora = 0,0051 m/seg.

[Indice](#) - [◀Precedente](#)