



# Secado de granos y secadoras

---

## [Indice](#)

Carlos Alberto de Dios

ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA  
AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION

OFICINA REGIONAL PARA AMERICA LATINA Y EL CARIBE

Santiago, Chile 1996

La información, las denominaciones los puntos de vista que aparecen en este libro son de la exclusiva responsabilidad de su autor y no constituyen la expresión de ningún tipo de opinión de parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación con respecto a la situación legal de cualquier país, territorio, ciudad

o áres o de sus autoridades, o en lo concernientes la delimitación de sus fronteras o límites.

El conocimiento es un patrimonio de la humanidad y, como tal, debe ser amplia y rápidamente difundido para que beneficie a todas las personas para las cuales ha sido generado.

Por esta razón, la Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe autoriza y estimula la reproducción total o parcial del contenido de esta publicación.

Se agradece mencionar la fuente del documento y enviar a ésta Oficina un ejemplar del material reproducido.

---

## **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](mailto:copyright@fao.org)

---

## Índice

[Prólogo](#)

[Presentación](#)

[Introducción](#)

[Un poco de historia](#)

[Algunas estadísticas](#)

## Bibliografía

### Capítulo I - El problema de la humedad

1. Humedad de los granos y del aire
2. Humedad en base húmeda y en base seca
3. Medición de la humedad de los granos
4. Medición de la humedad a la salida de la secadora
5. Mermas de secado
6. Tablas de mermas de secado o de humedad
7. Descuentos a los productores
8. Merma de volumen
9. Pérdidas de secado. Sobresecado
10. Contenido de humedad de equilibrio
11. Humedad relativa del aire
12. Psicrometría

## Bibliografía

### Capítulo II - Tipos de secadoras

1. Tipos de secadores de granos

[2. Secadores de flujo continuo](#)

[3. Secadores de flujo contracorriente](#)

[4. Secadores flujo concurrente](#)

[5. Secadores en cascadas](#)

[6. Secadores horizontales](#)

[7. Secadores en tandas y silos secadores](#)

[Bibliografía](#)

## [Capítulo III - Energía y combustión](#)

[1. El problema de la energía](#)

[2. Consumo específico de energía](#)

[3. Eficiencia una secadora](#)

[4. Pérdidas de energía](#)

[5. Saturación del aire usado](#)

[6. Medición de la saturación del aire usado](#)

[7. Medición de la temperatura del aire usado](#)

[8. Cálculo caudal de aire de la secadora](#)

[9. Consumo de combustible](#)

[10. Medición del consumo de combustible](#)

[11. Consumo de electricidad](#)

[12. Potencia consumida](#)

[13. Combustibles líquidos para el secado](#)

[14. Combustibles gaseosos](#)

[15. Ventajas del gas](#)

[16. Leña](#)

[17. Marlos de maíz](#)

[18. Empleo de la electricidad](#)

[19. Combustión y quemadores](#)

[20. Combustión](#)

[21 . Regulaciones del quemador](#)

[22. Cámara de combustión](#)

[23. Pérdidas de calor](#)

[24. Cuidados con el combustible](#)

[25. Intercambiadores de calor](#)

[26. Ubicación del quemador y cámara de combustión](#)

[27. Secadores sin quemador](#)

[Bibliografía](#)

## [Capítulo IV - Capacidad de secado y enfriamiento](#)

[1. Capacidad de secado](#)

- [2. Capacidad nominal](#)
  - [3. Tiempo de permanencia o de residencia](#)
  - [4. Velocidad de secado](#)
  - [5. Cámara de secado](#)
  - [6. La temperatura del grano y el enfriamiento](#)
  - [7. Enfriamiento](#)
  - [8. Enfriamiento por contracorriente](#)
  - [9. Cámara de enfriamiento](#)
  - [10. Temperaturas máximas del grano](#)
  - [11. Medición de la temperatura de los granos](#)
  - [12. La descarga de granos](#)
- [Bibliografía](#)

## [Capítulo V - Optimización de secadoras](#)

- [1. Introducción](#)
- [2. Temperatura y caudal del aire de secado](#)
- [3. Regulación del caudal de aire](#)
- [4. Optimización de secadores existentes](#)
- [5. Recuperación de calor](#)
- [6. Temperaturas diferenciales](#)

[7. Uniformidad y estabilidad de las temperaturas](#)

[8. Calor latente del vapor de agua](#)

[9. Precalentamiento](#)

[10. Aislación de paredes](#)

[11. Caudal de aire en presión o en depresión](#)

[12. Módulos de secado](#)

[13. Mejoras en secadoras de columnas](#)

[14. Mejoras en secadoras de caballetes](#)

[15. Períodos de templado](#)

[16. Control automático de secadoras](#)

[17. Uniformidad del secado](#)

[18. Secador de velocidades diferenciales](#)

[Bibliografía](#)

## [Capítulo VI - Sistemas de secado](#)

[1. Secado en tandas](#)

[2. Secadores en tandas con recirculación](#)

[3. Secado en dos pasadas](#)

[4. Secado por retorno](#)

[5. Secado con dos secadores](#)



[6. Secado combinado](#)

[7. Secado y enfriado en silo](#)

[8. Secado solar](#)

[9. Secado por microondas](#)

[10. Secado natural](#)

[11. Secado en trojes](#)

[12. Secado a baja temperatura](#)

[13. Secadores de galpón](#)

[14. Silos secadores](#)

[Bibliografía](#)

## [Capítulo VII - Seca-aireación](#)

[1. Introducción](#)

[2. Generalidades sobre seca-aireación](#)

[2.1. Creación y difusión](#)

[2.2 Descripción](#)

[2.3 Teoría](#)

[2.4 Soluciones que aporta](#)

### **3. Diseño y funcionamiento**

**3.1 Modificaciones necesarias**

**3.2 Modificaciones en la secadora**

**3.3 Secadores en tandas**

**3.4 Modificaciones en las norias y otros equipos**

**3.5 Silo de enfriamiento (silo de seca-aireación)**

**3.6 Distribuidores de granos**

**3.7 Tamaño del silo**

**3.8 Cantidad de silos de enfriamiento**

**3.9 Caudales de aire**

**3.10 Temperatura del aire de secado**

**3.11 Temperatura y humedad de los granos**

**3.12 Medición de la humedad y temperatura**

**3.13 Reposo**

**3.14 Enfriamiento**

**3.15 Influencia del aire exterior**

**3.16 Equipos refrigeradores de aire**

**3.17 Condensación de humedad**

**3.18 Insuflar o aspirar el aire?**

**3.19 Termometría**

**3.20 Cálculos para el diseño de silos de seca-aireación**

**3.21 Enfriadores**

**4. Ventajas e inconvenientes**

**4.1 Consumo de energía**

**4.2 Problemas de calidad**

**4.3 Otras ventajas de la seca-aireación**

**4.4 Algunos inconvenientes**

**Bibliografía**

**Capítulo VIII - Manejo y funcionamiento**

**1. Elección de la secadora**

**2. Secadores de columnas o secadores de caballetes?**

**3. Cálculo de la capacidad necesaria de secado**

**4. Manejo de plantas de grano**

**5. El ejemplo de Francia**

**6. Ubicación y cobertura de los secadores**

**7. Prealmacenamiento de maíz húmedo**

**8. Algunos problemas**

**9. Atmósfera controlada**

**10. Acidos orgánicos**

**11. Prelimpieza**

**12. Equipos para el transporte y movimiento de granos**

**13. Preparación de la secadora y su limpieza**

**14. Puesta en marcha de la secadora**

**15. Controles de seguridad**

**16. Los incendios**

**17. Causas que favorecen los siniestros**

**18. Medidas para evitar los incendios**

**19. Acciones a encarar en caso de incendio**

**20. Problemas y soluciones**

**Bibliografía**

## **Capítulo IX - Secado de diversos granos**

**1. Trigo**

**2. Soja**

**3. Sorgo**

**4. Cebada cervecera**

[5. Girasol](#)

[6. Colza](#)

[7. Arroz](#)

[8. Secado de semillas](#)

[9. Comparación entre maíz, trigo y arroz](#)

[Bibliografía](#)

## [Capítulo X - Calidad de granos](#)

[1. El concepto de calidad](#)

[2. El peso hectolítrico y otras mediciones](#)

[3. Daños del secado](#)

[4. Cuarteado o fisurado](#)

[5. Daños económicos](#)

[6. Daños industriales](#)

[7. Efecto sobre los alimentos balanceados](#)

[8. Pérdida de lisina](#)

[9. Peso hectolítrico](#)

[10. Contaminación de los granos](#)

[11. Temperaturas máximas](#)

[Bibliografía](#)

## Capítulo XI - Costos de secado

1. Rubros

2. Gastos fijos

3. Datos necesarios

4. Gastos variables

5. Ejemplo de cálculo (mayo 1992)

Bibliografía

## Capítulo XII - Evaluación de secadores

1. Introducción

2. Ensayo de secadoras

3. Otras determinaciones

4. Investigación en secado de granos

5. Evaluación del funcionamiento y manejo

6. Otros cálculos y observaciones

Bibliografía

## Anexo 1 - Símbolos

[Anexo 2 - Abreviaturas](#)

[Anexo 3 - Fórmulas](#)

[Anexo 4 - Nómina de fabricantes de secadores](#)

[Anexo 5 - Equivalencias de unidades](#)

[Anexo 6 - Vocabulario](#)

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

---

## Prologo

[Indice](#) - [Siguiete](#)➤

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 los 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 esta escrito en un lenguaje sencillo, pero apoyado en los conocimientos y experiencias de técnicas e instituciones que bao 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  rea. 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 los procedimientos actualmente en uso en el manejo y almacenamiento de granos en Latinoamérica y, con ello, contribuir a disminuir las cuantiosas pérdidas post-cosecha de los alimentos que son tan necesarios para una población cada día más numerosa que debe satisfacer sus necesidades alimentarias básicas.

Severino de Melo Araujo



Subdirector General  
Representante Regional para  
América Latina y el Caribe

---

## Presentación

La finalidad principal de esta obra es ofrecer a todas las personas relacionadas con el secado de granos información de utilidad para hacer más eficiente dicho proceso, rebajar los costos, reducir los consumos, disminuir las pérdidas de granos y las mermas, mantener una buena calidad de las mercaderías, facilitar el trabajo de los encargados y operarios de las secadoras y exponer algunos aspectos que permitan mejorar el diseño de secadoras.

Esta obra es un trabajo dedicado fundamentalmente al desempeño y mejoramiento de secadoras de granos y a las diferencias entre los distintos métodos de secado.

No se incluyen en ella la mayoría de los temas referidos a la teoría científica del secado, ni aspectos de análisis psicrométricos muy específicos, ni tampoco sobre

◊culos estructurales de dise◊o y construc◊i◊n de secadoras y de otros equipos. Sobre estas materias existen muy buenas obras que pueden ser consultadas por los interesados y que figuran en la bibliograf◊a. Solamente se hacen referencias a aquellos temas cuando sea necesario para la mejor comprensi◊n de los aspectos y problemas encarados en este libro. Pero creemos que existe un cierto vacio informativo y did◊ctico justamente en muchas nociones que se emplean com◊nmente con criterio emp◊rico que demasiadas veces no coinciden con la t◊cnica racional del secado.

No debe olvidarse que para un pa◊s como Argentina, que exporta m◊s del 60% de su producci◊n granaria, mantener bajos costos de producci◊n y conservar una buena calidad de sus granos constituyen pilares fundamentales de su econom◊a nacional.

El autor est◊ consciente de que buena parte del contenido de esta obra se refiere a condiciones argentinas, que pueden o no coincidir con las condiciones de otros pa◊ses o regiones. Los climas, los suelos, las caracter◊sticas de los cultivos, las pr◊cticas de los agricultores y del comercio no son concordantes en todas partes, lo que puede ocasionar diferencias en ciertas interpretaciones de los procesos de secado y otras operaciones de la poscosecha. Tambi◊n existe amplio material en este libro que es aplicable en muchas partes del mundo, lo que es de grao satisfacci◊n para el autor.

## Introduccion

Como es sabido, el secado artificial de los granos es una practica ampliamente difundida, que al mismo tiempo origina una serie de diversos problemas que afectan los costos y la calidad de los granos.

El secado constituye un "cuello de botella" para la mayorí de las plantas de acopio, sobre todo aquellas ubicadas en las regiones en donde la recepción del grano se lleva a cabo en un período muy corto. Las dificultades que acarrea se deben a una serie de factores, tales como:

- El costo del secado es alto, por la inversión que representa la secadora y los equipos auxiliares, y por los elevados valores de los consumos de combustible y energía eléctrica para su funcionamiento.
- La gran acumulación de granos húmedos que se acopian en los momentos de mayor cosecha, exige un manejo muy cuidadoso de dichas partidas, y obliga a realizar en muchas oportunidades secados rápidos o violentos, que

pueden causar deterioro de la calidad y aumentar las pérdidas y mermas.

- Las técnicas de secado requieren el conocimiento de personal especializado competente, para reducir al mínimo aquellos inconvenientes.

La experiencia demuestra que una de las fallas más importantes observadas en las empresas de acopio es la carencia de una adecuada capacitación de dichos operarios, en la mayoría de los casos (CTPG, 1985).

- Si bien se ha avanzado mucho en el país en el desarrollo de secadoras mejoradas, todavía se observan problemas de diseño y de carencia de algunos perfeccionamientos ya difundidos en países desarrollados. Las crisis económicas que no alcanzamos a superar desde hace muchos años son la causa principal que detiene la difusión de avances tecnológicos en estas actividades, pero que debemos vencer si queremos mantenernos en un mundo competitivo como el actual.

## Un poco de historia

Hasta avanzada la década del 50, todos los granos de nuestro país se cosechaban casi secos. En el caso del maíz, como la recolección era en su mayoría en mazorcas

deschaladas, es decir, sin sus cubiertas externas (cosecha manual o por juntadoras), estas se acumulaban en trojes cilíndricos, de alambre, o de otros materiales, y allí se terminaban de secar por acción del aire ambiente. Los vientos predominantes en nuestras pampas se llevaban la humedad excesiva, en uno dos meses. Posteriormente se realizaba la "desgranada".

La desgranadora entregaba el grano en bolsas (sacos), las cuales se amontonaban en estibas, construidas de tal manera que hubiera una ventilación natural para favorecer la buena conservación de la mercadería.

Ante el trabajo de mano de obra que representaba el manejo de los granos envasados y los respectivos costos crecientes, hacia el principio de la década del 60 comenzó a generalizarse el manejo a granel de la producción de granos, eliminándose poco a poco el empleo de sacos.

Ello significó un cambio fundamental en el manejo de los granos, pues se divulgaron los silos y los equipos de movimiento. A fines de dicha década ya se manejaba a granel la mayoría de la producción.

Desde ya hacía varios años se habían popularizado las cosechadoras automotrices, siendo, justamente, nuestro país uno de los primeros creadores de estas máquinas

(de Dios, 1984).

Casi simultáneamente, o un poco después, se hicieron las primeras experiencias de cosecha temprana de maíz, por las ventajas que reportaba esta práctica a los productores. Esa cosecha adelantada significaba menos cantidad de plantas caídas (por lo tanto menos pérdidas de granos en el rastrojo), disposición del campo más tempranamente, posibilidad de mejores precios por disponer de mercadería en forma anticipada en los mercados, más seguridad de cosecha, etc.

Pero ello trata aparejado el problema de granos húmedos, razón por la cual surgen, entonces, las secadoras, que se agregan a las instalaciones del acopio.

Al principio se pensó que los mismos agricultores debían poseer sus propios silos de almacenamiento. Tan es así que el gobierno concedía créditos para instalación de hasta tres silos por productor, con la finalidad de tener dos llenos y el tercero para transitar. En definitiva, en la realidad se llenaron los tres, y empezaron a aparecer entonces los problemas de granos que se echaban a perder por acción de insectos y hongos. Estos inconvenientes surgieron principalmente en las áreas maiceras. En las zonas trigueras del sur no fueron importantes pues el trigo se cosechaba seco y ya había una experiencia más antigua en la conservación de granos en silos metálicos.

Algo parecido sucedi con las primeras experiencias de secado artificial. Se fabricaron secadoras en tandas de pequea capacidad para que fueran usadas por los agricultores, o por los contratistas de cosecha, en los momentos que se efectuaba la recolecci n. Pero su reducida capacidad horaria provocaba la detenci n de las cosechadoras, lo que causaba perjuicios de todo tipo.

Todas estas razones impulsaron el desarrollo de los acopladores privados y de las cooperativas agr colas, provistos de adecuada capacidad de almacenamiento y de secadoras de mayor tama o.

Hoy en d a es posible suponer que alrededor del 85 - 90% de los granos producidos en Argentina se acondicionan en acopladores privados, en cooperativas agr colas y, en menor proporci n, en dep sitos de industrias.

Estad sticas publicadas en 1985 por la Junta Nacional de Granos (JNG), se alan que la capacidad de almacenaje privado o cooperativo es del 72% de la capacidad total del pa s.

Esta situaci n es, en general, opuesta a lo que sucede en otros pa ses productores de granos, como Estados Unidos, Canad y otras naciones. En stas, la mayor proporci n granaria se almacena en la propia finca del productor. De esta forma, el

agricultor no depende de las condiciones que le impone el acopio externo, puede regular la velocidad de su cosecha a sus necesidades, y puede disponer de la mercadería para su venta en el momento que le parezca oportuno.

La pregunta que surge es cuál posición es la más conveniente para los productores y para la economía del país.

El autor piensa que el sistema empleado en Argentina es eficiente porque, en general, abarata los costos. El costo de acopio de una planta de granos que maneja anualmente 30.000 t tiene que ser necesariamente menor (hablando de un costo por quintal o por tonelada) que el de un productor que solo procesa 2.000 t. Por otra parte, la experiencia demuestra que, en un promedio general, la calidad de la mercadería de una planta de acopio comercial es superior a la que entregan productores con silos. Debe recordarse que muchos agricultores argentinos no habitan en la propia finca, y esto hace que sea problemático un buen control de los granos en los depósitos.

Las inversiones para instalar silos, norias, secadoras y otros equipos son elevadas, y escapan, entonces, a las posibilidades financieras de gran parte de los agricultores, habida cuenta de la situación económica del país. Solo las empresas privadas o las cooperativas podrán afrontar tales gastos en la actualidad.



## Algunas estadísticas

No se conocen en el país datos o estadísticas actualizadas que informen sobre el parque existente de secadoras, su capacidad promedio, su antigüedad, sus consumos, etc.

Para obtener esa información, hay que basarse en datos dispersos de algunas publicaciones, en algunos capítulos poco precisos y en la experiencia personal.

En una encuesta de Dubois, M.E.D. et al (1985) se reportan unas 3 300 secadoras en todo el país, de las cuales existen 1 350 en la provincia de Buenos Aires, 700 en Santa Fe, 580 en Córdoba, 240 en Entre Ríos, 190 en La Pampa, 75 en el Chaco, y el resto en otras provincias.

Datos de la JNG indican que en 1967 había 274 secadoras inscritas, en 1969 eran 713 y en 1971 llegaron a 1 034. Se deduce que la cantidad de secadoras se triplicó en el período 1971-1985.

El promedio de capacidad se encontraba en unas 24 t/hora, pero en Pergamino llegaba

a 30 t/hora, también en 1985.

Se estimaba un promedio de 1,2 secadoras por firma, de donde se puede inferir que existían unas 2 750 plantas de acopio con equipos de secado.

De acuerdo a Marsans et al (1985), desde la campaña 1980-1981 a 1983-1984 se secaron un promedio anual de 20 300 000 t de granos en el país, que representa un 66,7% de la producción total granaria. Desglosado por granos, la proporción secada es la siguiente:

<b>Trigo</b>	31,4%
<b>Maíz</b>	79,4%
<b>Sorgo</b>	72,0%
<b>Soja</b>	74,0%
<b>Girasol</b>	33,6%

**Es posible que en la actualidad (1991) la proporción de granos secados se haya reducido, debido a los altos costos.**

**Según Quaglia (1989) las pérdidas que se producen por mal acondicionamiento y**

**manipuleo de los granos en Argentina suman unos US\$ 34 000 000 anuales.**

**Este autor expresa que el promedio de potencia de motores en las secadoras es de casi 80 CV, que significan un consumo de electricidad de 59 KWhora. Esto representa un consumo específico de 0,25 KWh/quintal.**

**Quaglia también indica un consumo promedio de 150 l de gas-oil por hora para las secadoras actuales. Para una capacidad promedio de 24 t/h, resulta un consumo específico de 6,25 l/t, o sea, 0,625 l/q. Estos valores dan un consumo total anual del país de 125 000 000 de litros de gas-oil.**

**Un trabajo de Rodríguez, J.C. (1989) demuestra que para secar el maíz por hectárea en un cultivo que rinda 37 q/ha se requiere tanto combustible (gas-oil) como el consumido para realizar todas las operaciones de campo tales como siembra, trabajos culturales, cosecha y transporte necesarios para las tareas de dicha hectárea, como se indica en el Cuadro 1.**

OPERACION	CONSUMO DE GAS-OIL (litros)	ENERGIA (kcal)
Arar	13,0	

Rastra de dientes	1,5	
Rastra de discos	5,0	
Rastra de discos con dientes	5,0	
Sembrar	5,0	
Rastra de pro-emergencia	1,5	
Aplicación de herbicidas	1,5	
Escardillar	5,0	
Aporcar	5,0	
Cosechar	9,0	
Transporte	2,0	
SUB-TOTAL	53,5	427 388
Secado (reducción de 5,5% de humedad, de 20 a 14,5) para un rendimiento de 3 700 kg/ha y una eficiencia de secado de 1 552 kcal/kg de agua extraída.		

SUB-TOTAL	405 175
TOTAL	832 563

## Cuadro 1. Consumo energético por hectárea de maíz

### Bibliografía

CTPG. 1985. Campaña de concientización sobre el manejo de los granos. Coordinación: INTA-DINAPE, septiembre. 5 p.

DE DIOS, C.A. 1984. Historia de las Cosechadoras de Granos. Inédito. 10 Capítulos.

DUBOIS, M.E.D., MOLINA, E.G. y MARSANS, G.J. 1985. Encuesta sobre técnicas de secado. JNG, agosto. Publicación inédita.

JUNTA NACIONAL DE GRANOS. 1985. Capacidad de Almacenaje, 30 Millones. Gerencia de Fiscalización, diciembre. s/n de páginas.

MARSANS, G.J., YANUCCI, D. y PASCUAL M. 1. 1985. Curso de Manejo y Conservación

**de Granos. Fac. de Agronomía de Buenos Aires, octubre. 69 p.**

**PASCUAL M. J. 1984. Análisis de la Higroscopía de los Granos y Termodinámica del Aire. Jornadas de Secado y Aireación de Granos. Bolsa de Cereales de Buenos Aires, diciembre. 38-80 p.**

**QUAGLIA, R.P. y JURE, A.R. 1989. Proyecto Nacional para Protección de Nuestros Granos. Centro Gestión Empresarial, Buenos Aires. 30 p.**

**RODRIGUEZ, J.C. 1989. Secado Artificial de Maíz. Circular Técnica N°5. CTPG, Buenos Aires. 7 p.**

### **Obras generales**

**BROOKER, D.B., BAKKER-ARKEMA, F.W., HALL, C.W. 1974. Drying Cereal Grains. The AVI Publishing Company, Inc.. Westport, Connecticut, USA. 265 p.**

**CHAMP, B.R., HIGHLEY, E. y BANKS, H.J. 1990. Fumigation and Controlled Atmosphere Storage of Grain. Proceedings of an International Conference, Singapore, 14-18 February 1989. ACIAR Proceedings N° 25, Australia. 301 p.**

**MULTON, J.L. (Coordonnateur) 1982. Conservation et Stockage des Grains et Graines et**

**Produits Derivés. Lavoisier, Paris, France. Vol. I y II, 1216 p.**

**TOFTDAHL-OLESEN, H. 1987. Grain Drying. Innovation Development Engineering, Aasvej 21, 7700 Thisted, Denmark.**

---

## Capitulo I - El problema de la humedad

### 1. Humedad de los granos y del aire

Los granos, como es bien conocido, no pueden conservarse almacenados si no están secos. La cuestión es determinar cuándo un grano se considera "seco". Como término general, para los cereales, una humedad del 15% se considera el límite para estimarlo como "seco". Pero este valor es relativo, pues depende de diversos factores.

En un país de clima frío, un cereal como el trigo puede conservarse a 15% de

humedad, pero en un país de clima cálido, la humedad de conservación debería ser de 12 - 13%.

Los granos oleaginosos, por razones que se explican en otro capítulo, tienen que ser almacenados a humedades aún menores, 10 a 11%, y todavía más bajas, como en el caso de la calza.

## 2. Humedad en base húmeda y en base seca

Sabemos que la medición de la humedad del grano se fija sobre la llamada "base húmeda", es decir, la cantidad de agua que tiene el grano en total, o sea, sobre su peso de materia seca más agua. Es el dato que dan los humidímetros comunes usados en el comercio.

Pero en ciertas operaciones, sobre todo para trabajos científicos, es preferible usar la humedad en "base seca", que es la cantidad de agua que tiene el grano en relación solamente a la cantidad de materia seca. Esta humedad será siempre mayor que la anterior.



## Las relaciones entre ambas expresiones son las siguientes:

$$H_s = \frac{H_h}{100 - H_b} \times 100$$

$$H_b = \frac{H_s}{100 + H_s} \times 100$$

En donde:

Hh: humedad en base húmeda, %

Hs: humedad en base seca, %

Por ejemplo, un maíz con 24% de humedad en base húmeda, tendrá 31,6% de humedad en base seca. (Cuadro 2).

Todas las transacciones comerciales se efectúan sobre base húmeda, pero sin embargo, hay muchas opiniones relativas a que la comercialización de los granos debiera hacerse sobre materia seca. Tomando algunos ejemplos, se podrá deducir la certeza de aquellos juicios. Por cada quintal (100 kg) de grano entregado por diferentes productores sucede lo siguiente:

Hh	Hs	Hh	Hs	Hh	Hs
7	7,5	20	25,0	33	49,3
8	8,7	21	26,6	34	51,5
9	9,9	22	28,2	35	53,8
10	11,1	23	29,9	36	56,2
11	11,4	24	31,6	37	58,7
12	13,6	25	33,3	38	61,3
13	14,9	26	35,1	39	63,9
14	16,3	27	37,0	40	66,7
15	17,6	28	38,9	41	69,5
16	19,0	29	40,8	42	72,4
17	20,5	30	42,9	43	75,4
18	21,9	31	44,9	44	78,6
19	23,5	32	47,1	45	81,8

**Cuadro 2. Equivalencias entre humedad en base húmeda (Hh) y humedad en base**

## **seca (Hs)**

### **EJEMPLOS:**

**Productor A. Entrega grano con 24% de humedad, que tiene:**

**76 kg de materia seca (por quintal)**

**24 kg de agua**

**Productor B. Entrega grano con 16% de humedad, que tiene:**

**84 kg de materia seca**

**16 kg de agua**

**Productor C. Entrega grano con 14% de humedad, que tiene:**

**86 kg de materia seca**

**14 kg de agua**

**El productor C esta entregando más materia seca que los restantes y menos agua. En realidad, debería recibir una bonificación por entregar una mercadería más seca y de mejor conservación, aun cuando sea beneficiado por la escasa merma de humedad**

## **y por los bajos costos de secado artificial.**

### **3. Medición de la humedad de los granos**

**No es necesario mencionar la importancia que tiene la correcta medición de la humedad de los granos, por la gran influencia en la comercialización, en el proceso de secado, en la conservación de los granos, etc.**

**Es por ello que los aparatos medidores de humedad llamados "humedímetros", empleados durante el acopio de granos, deben estar correctamente regulados.**

**Estos humidímetros, que trabajan por capacitancia eléctrica, pueden dar origen a varios errores, como:**

**A) El humidímetro no está adecuadamente calibrado; si el aparato, por ejemplo, señala 14% de humedad a la salida de la secadora, cuando en realidad el grano tiene 13%, significa que se está perdiendo un punto, que representa muchos quintales de menos por un exceso de sobresecado y un desperdicio de energía.**

Como esta es una pérdida bastante común, un ejemplo será suficiente para comprender su importancia. Supongamos que se deben secar 10.000 q. de maíz, en una secadora que tiene un consumo específico de energía de 1.200 kcal/kg de agua.

En el primer caso se seca de 22 a 14,5% y en el segundo se seca de 22 a 13% (sobresecado). El gasoil a utilizar tiene un poder calorífico de 10.000 kcal/kg.

1er. Caso	2º Caso
Merma de secado: 8,77%	Merma de secado: 10,34%
8,77% de 10 000 q = 87 700 kg de agua	10,34% de 10 000 q = 103 400 kg de agua
Energía Consumida:	Energía consumida:
87 700 kg x 1 200 kcal/kg = 105 240 000 kcal	103 400 kg x 1 200 kcal/kg = 124 080 00 kcal
Consumo de gasoil:	Consumo de gasoil:
105 240 000 / 10 000 = 10 524 kg = 13 155 l gasoil	124 080 00 / 10 000 = 12 408 kg = 15 510 l gasoil
Peso de grano seco:	Peso de grano seco:

$$10\ 000\ \text{q} - 877\ \text{q} = 9\ 123\ \text{q}$$

$$10\ 000\ \text{q} - 1\ 034\ \text{q} = 8\ 966\ \text{q}$$

## DIFERENCIA

**Pérdida de peso:  $9\ 123\ \text{q} - 8\ 966\ \text{q} = 157\ \text{q}$  (1,72%)**

**Exceso de combustible:  $15\ 510 - 13\ 155 = 2\ 355$  litros (17,9%)**

Por supuesto, que si el medidor registra una humedad superior a la real, en el momento de la recepción, se estará castigando al productor pues se le hará un descuento mayor por exceso de humedad y se le cobrará una tarifa también mayor por el secado.

Si, por el contrario, el aparato indica una humedad inferior a la real en la recepción, las pérdidas recaerán en el acoplador. Ejemplo: un acoplador recibe 1000 t de maíz a 22% de humedad, pero su medidor registra 20% ¿Cuál es la pérdida?

a. Secar de 20 a 14% significa eliminar 698 q de agua  $10\ 000\ \text{q} - 698\ \text{q} = 9\ 302\ \text{q}$  a liquidar al productor 9 302 q a \$ 11 el q \$102 322

b. Secar de 22 a 14% significa eliminar 930 q de agua  $10\ 000 - 930\ \text{q} = 9\ 070\ \text{q}$  a liquidar 9 070 q a \$ 11 el q \$99 770

**Diferencia: \$102 322 -\$99 770 = \$2 552 que es la pérdida por liquidación al productor.**

**B) No efectuar las correcciones por temperatura de los granos. Si un grano está caliente, y DO se corrige por temperatura, el valor que indica el hmedmetro puede ser hasta un punto mayor que la realidad. Igual que como se explicó antes, esto puede significar una pérdida importante.**

**Por el contrario, si el grano está frío, puede indicar un punto menor que la humedad real del grano.**

**Afortunadamente existen hoy en el mercado nuevos medidores de humedad, más precisos y que hacen automáticamente la corrección por temperatura.**

**C) No tener en cuenta el revenido del grano. Este término "revenido" se aplica a un proceso que se produce en los granos que han sido secados artificialmente, y que es tanto más notable cuanto más severo haya sido dicho secado. Se manifiesta el revenido por un aumento de la humedad del grano después de varias horas de haber pasado por la secadora. Es posible entonces que un grano, al salir de la secadora, y al medir su humedad, se encuentre en un 13,5%, pero al transcurrir unas horas, ésta se incrementa hasta un 14,5% .**

Este fenómeno se debe a que los hmedómetros corrientemente empleados en el acopio de granos miden más la humedad superficial de la semilla que la interna. Cuando se hace un secado rápido, lo que se pierde con mayor velocidad es la humedad de las capas externas, mientras que las internas todavía conservan una humedad mayor (Figura 75).

Con el transcurso del tiempo esa humedad interna migra hacia el exterior, y ello se refleja en la nueva medición del hmedómetro.

Lo ideal sería que la medición de la humedad, al salir de la secadora, se llevara a cabo moliendo una muestra de granos y haciendo la determinación en una estufa de humedad. Por supuesto, esta técnica es más compleja y prolongada, pues puede requerir 24 horas de estufa.

Lo que se aconseja es guardar la muestra en un recipiente hermético (por ejemplo, un frasco de vidrio bien lleno y cerrado) y medir la humedad no menos de 5 horas después, acción que permitir hacer las liquidaciones definitivas con el nuevo valor.

El hmedómetro puede calibrarse en una forma aproximada preparando una tabla con la diferencia entre las dos mediciones (a la salida de la secadora y 10 horas después). Esta tabla será válida sólo cuando los procesos de secado sean similares



entre s, con variaciones menores entre las temperaturas del aire de secado y de humedades iniciales no muy dispares.

El aumento de la humedad de una masa de granos s solo se producir si se fuerza el aire a atravesar el grano, como sucede con la aireaci n, pero solamente si el aire tiene un alto porcentaje de humedad relativa y si est s solo un poco m s caliente que el grano; en este caso no ser a un revenido, sino directamente un rehumedecimiento.

El revenido puede evitarse secando con aire a menor temperatura o haciendo dos pasadas por la secadora con un periodo de descanso o "tempering", o empleando el sistema de seca-aireaci n (dryeration).

En el acopio no es conveniente despachar inmediatamente una partida de grano despu s del secado a causa del revenido, porque puede llegar a destino con una humedad mayor que lo convenido, con los consiguientes rechazos o descuentos.

El revenido se debe a las causas explicadas y no a otras que saetea argumentar algunas personas. Ellas dicen que no se pueden enviar granos en camiones o transporte en das muy h medos o neblinosos, porque acumular n agua. Si el grano est bien secado no existe peligro en transportarlo en esas condiciones. S o

**se humedecer una pequeña capa superficial y el resto no tendrá ningún problema.**

#### **4. Medición de la humedad a la salida de la secadora**

**Es recomendable no tomar directamente la muestra dentro de la secadora, sino en una calda libre alejada de la máquina, para que el grano esté bien mezclado. Si se extrae la muestra dentro de la secadora, es posible que el grano que está en el costado donde pasa el aire caliente, está más seco que el resto. La humedad del grano varía entre la entrada y la salida de la secadora, de manera que se aconseja medir la humedad en el grano que se baya mezclado durante el movimiento de transporte.**

**Si la muestra está muy caliente, debe enfriarse antes de medir, pues en los humidímetros corrientes la corrección por temperatura no es exacta para valores superiores a 30°C. Se puede emplear un ventilador común para enfriarla en un par de minutos, ya que es imperceptible la pérdida de humedad en ese tiempo, o también colocarla cerca de la boca de aspiración del ventilador de la máquina.**

Otra recomendación es no medir la humedad en muestras muy sucias, pues el hmedmetro también mide la humedad de las impurezas, que puede ser bastante diferente a la del grano.

---

[Indice](#) - [Siguiete](#)➤

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

---

## 5. Mermas de secado

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

En primer lugar hay que establecer una diferencia entre "merma. y "pérdida".

Según el diccionario "merma" es una porción que se consume naturalmente o se subtrae de una cosa, o también depreciación por pérdida de materia que se produce en las mercancías de toda clase transportadas o almacenadas; mientras que "pérdida" sería carencia, dono o menoscabo que se recibe en una cosa.

El sentido de "merma" es una pérdida natural o normal que se establece de común

acuerdo, mientras que "pérdida" es una ocasionada por error, mal uso o por acción delictuosa.

Por ejemplo, merma de secado es la reducción de una cantidad de grano en poso por acción de la extracción de humedad, mientras que una pérdida de secado será cuando se seca excesivamente, por debajo de una base admitida, problema que conocemos por "sobresecado", ya sea por defecto de uso de la secadora, o porque se hace "ex profeso".

## 6. Tablas de mermas de secado o de humedad

Con el objeto de evitar el cálculo de las mermas de secado aplicando las fórmulas que se explican en el Capítulo IV, se han preparado tablas especiales, como la que se muestra en el Cuadro 3, donde ya se han realizado los cálculos.

En la línea vertical de la izquierda se encuentran las humedades iniciales del grano y en la línea horizontal superior las humedades finales. En la intersección de los valores respectivos se hallan las mermas de peso expresadas en porcentaje. Tomando un ejemplo anterior (maíz que se seca de 24 a 13,5%), la merma, según el cuadro,

ser de 12,14%.

### Cuadro 3. Mermas de secado

**Importante: no hay que incurrir en el error en que caen algunas personas, que calculan la merma restando simplemente las humedades inicial y final, pues el valor que se obtiene es siempre menor que el real.**

## 7. Descuentos a los productores

**Son entonces las mermas de humedad las que hay que descontar a los productores que entregan granos húmedos. Hay que aclarar que, de acuerdo a las reglamentaciones de la Junta Nacional de Granos, el descuento es algo mayor, pues se acepta que la humedad final para calcular esas mermas es de 1,5 puntos menos para sorgo, un punto para maíz y 0,5 puntos para los restantes granos y oleaginosas (Dubois, 1987) (Cuadro 4).**

### HUMEDAD

<b>Grano</b>	<b>Base o Tolerancia</b>	<b>Diferencia</b>	<b>Humedad final para el cálculo de la merma</b>
Maíz	14,5	1,0	13,5
Sorgo	15,0	1,5	13,5
Avena, cebada, centeno - trigo, trigo-pan, arroz ciscara	14,0	0,5	13,5
Mijo	15,0	0,5	14,5
Cartamo	10,0	0,5	9,5
Lino		0,5	9,5
Colza	8,0	0,5	7,5
Girasol	11,0	0,5	10,5
Maní (descascarado)	9,0	0,5	8,5
Soja	13,0	0,5	12,5

#### **Cuadro 4. Descuentos de cantidad a efectuar por merma de humedad (Doc. JNG)**

**Así, para UD maíz recibido con 18% de humedad, se debe calcular la merma hasta 13,5%. La tabla indica que la merma es de 5,2%. Sin embargo, la base utilizada es de 14,5% , y la tabla indica que la merma es de 4,1 %.**

**La diferencia es de:  $5,2\% - 4,1\% = 1,1\%$**

**Estos mayores descuentos se han autorizado para compensar algunas pérdidas que se originan en los procesos del acopio (manipuleo, conservación, etc.).**

**En Francia, por ejemplo, existen también tablas oficiales de descuentos para maíz sorgo, que ya incluyen factores para tener en cuenta esas pérdidas adicionales por el manejo postcosecha.**

**En Estados Unidos el cálculo de esta merma, en la comercialización a nivel de acoplo, se hace aplicando un coeficiente que varía según la humedad final alcanzada en el secado, a la cual se agrega un pequeño porcentaje suplementario para compensar las pérdidas por manipuleo. Agregando este valor, el coeficiente total varía, entonces, entre 1,2 a 1,3% por punto de reducción de humedad. Generalmente en la práctica comercial, cada cerealista establece un porcentaje fijo e**

**igual por cada punto removido.**

**Debe tenerse presente que cuando se seca un grano solo se pierde agua, no se pierde materia seca, excepto el caso que en la secadora se rompa mucho grano y que parte de el sea eliminado por el aire usado en forma de polvo o granza, pero normalmente, esta no es una circunstancia muy común ni alcanza valores representativos .**

## **8. Merma de volumen**

**Otro aspecto a analizar es la reducción o merma de volumen de una masa de grano; esta puede calcularse, para el secado artificial de maíz, entre 0,3 a 0,796 por cada punto de reducción de humedad, según datos proporcionados por Foster (Foster, 1982).**

**Es así que si se considera un ejemplo de maíz secado de 22 a 14%, tendrá una merma de peso de 9,3%, mientras que la disminución de volumen será de alrededor del 4% (tomando un promedio de 0,5% por cada punto).**



## 9. Pérdidas de secado. Sobresecado

Quando se emplea la secadora se originan algunas pérdidas de grano, como roturas y producción de polvo, que no suelen ser muy altas, y que, en general, se compensan, como se explicó anteriormente.

La pérdida más importante es el sobresecado. Algunos cerealistas realizan un sobresecado, para tener una mayor seguridad de almacenamiento, o para reducir los problemas de "revenido" cuando despachan inmediatamente la mercadería a puerto.

El sobresecado puede tener alguna ventaja cuando se vende grano al exterior, pues los compradores extranjeros obtienen una mercadería más seca, más segura, no están pagando agua y requieren menos volúmenes de transporte para un mismo tonelaje. La diferencia favorable para el vendedor se establecerá si los compradores están dispuestos a pagar un precio extra por ese sobresecado.

Pero el sobresecado tiene otro costo extra: el mayor consumo de energía, que aumenta en mayor proporción cuanto más bajo es el contenido de humedad final.

Experiencias realizadas en Canadá (Wassermann et al. 1984) han demostrado

**también que un sobresecado puede reducir la capacidad de secado entre 10 y 20%.**

**Si alguna vez la comercialización de los granos se fijara por materia seca, todos estos problemas tendrían solución.**

**El sobresecado representa, entonces, muchos dólares que se pierden, no solo para cerealistas, sino para la economía del país.**

**Estadísticas publicadas por la Junta Nacional de Granos (Marsans, 1984) indican, por ejemplo, que en algunos años, la soja exportada como grano salió con 11,5% de humedad, cuando la base aceptada es del 13%. Este 1,5% de humedad (en realidad 1,7%), de merma representa, si la cantidad exportada como grano fuera de 1 000 000 de t, un total de unos 2 500 000 dólares que dejan de ingresar al país, solo por soja.**

**Los mismos datos suministrados por la JNG dan un promedio de pérdidas por sobresecado de 1,4% para trigo, 1,7% para maíz y 1,4% para sorgo, promedio de los granos exportados desde 1979 a 1983, los que sumados a los datos de soja, significan una pérdida anual de unos 38 000 000 de dólares.**

## 10. Contenido de humedad de equilibrio

Quando un grano se encuentra durante un tiempo suficientemente prolongado en un ambiente con determinada humedad relativa y temperatura, adquiere un contenido de humedad en equilibrio con dicho ambiente, es decir, no absorbe ni pierde agua, mientras el ambiente, por supuesto, no varíe su humedad y temperatura.

Un maíz de secado natural (que no pasé por secadora alguna) puede tener UD contenido de humedad de equilibrio de 0,5 a 1 % superior al mismo maíz que fue cosechado húmedo y debió ser secado artificialmente. Así, es muy posible que, colocados en el mismo ambiente, el primero tenga por ejemplo 14,5% de humedad y el segundo, sólo 13,8%. Esto se debe a cambios en la composición del grano, sobre todo cuando éste alcanza una temperatura superior a 60°C.

Los granos que tienen un alto contenido de aceite, como soja y girasol, absorben menos agua que granos en los que predomina UD endosperma harinoso, como maíz y trigo, para un mismo ambiente. Absorben menos agua, pero la tienen más concentrada en UD menor volumen de grano, pues el aceite y el agua no se mezclan. Por este motivo, esos granos oleaginosos deben ser conservados en los almacenamientos a menores contenidos de humedad.

**Se han preparado diversos gráficos donde se han transportado en coordenadas la humedad relativa versus la humedad de equilibrio de diversos granos para diferentes temperaturas (Figuras 1 a 4).**

## **11. Humedad relativa del aire**

**La humedad relativa del aire es el porcentaje de humedad que posee en ese momento, en relación al máximo contenido de humedad que podría tener en esas condiciones. Cuando se dice que el aire tiene 75% de HR, quiere decir que le faltan 25% para llegar al máximo de humedad. Pero la humedad que puede contener como máximo un aire depende de la temperatura a que se encuentre. Cuanto más caliente se encuentre el aire, mayor es la cantidad de humedad que puede recibir.**

**El aire comúnmente utilizado en el secado de granos (entre 90 y 140 °C) tiene una HR muy débil (entre 0,5 y 2%) y es entonces, muy ávido de humedad. Hasta saturarse totalmente, es decir, para llegar al 100% de HR, puede acumular una gran cantidad de humedad, que la va a quitar al grano en poco tiempo.**

**Resulta conveniente conocer la HR y la temperatura del aire exterior en la propia**

**planta de acopio para saber cuáles son, a veces, las causas de diferentes comportamientos de la secadora, pero además son valores fundamentales para la correcta aireación de los granos en los silos de almacenamiento.**

**La HR se mide por medio de higrómetros o de psicrómetros. Los higrómetros son aparatos que miden la HR a través de la dilatación o contracción que algunos elementos experimentan al entrar en contacto con la humedad del ambiente en que se colocan.**

**[Figura 1. Curvas de humedad de equilibrio para maíz \(Doc. JNG\)](#)**

**[Figura 2. Curvas de humedad de equilibrio para colza \(Doc. CNEEMA\)](#)**

**[Figura 3. Curva de humedad de equilibrio para sorgo \(Doc. CENTREINAR\)](#)**

**[Figura 4. Curva de humedad de equilibrio para trigo \(Doc. CENTREINAR\)](#)**

**El higrómetro metálico o de espiral tiene una pequeña espiral sensible de cinta de cobre recubierta en su cara exterior por una película de una sustancia muy higroscópica.**

**El higrómetro de cabellos contiene un haz de cabellos desengrasados, uno de cuyos**

**extremos es fijo y el otro se enrolla en una polea que acciona una aguja indicadora sobre un cuadrante (dial) graduado.**

**El psicrómetro está formado por un armazón que sostiene dos termómetros iguales, uno de bulbo seco y el otro de bulbo húmedo. Este último tiene el bulbo recubierto por una tela que siempre se mantiene húmeda por medio de una tira o cordel que la sostiene unida a un pequeño recipiente con agua (Figura 5).**

**En un ambiente seco, la tela que cubre el bulbo evapora parte de su humedad, lo que produce un enfriamiento del bulbo, lo que se registra en un descenso de la temperatura del termómetro. El bulbo seco registra la temperatura ambiente, la cual siempre es mayor que la del bulbo húmedo.**

**Cuanto menor sea esa diferencia, mayor es la HR del aire, y por el contrario, cuanto mayor sea la diferencia, menor es la HR. El psicrómetro se adapta bien para medir la HR de aire en movimiento.**

**El higrómetro tienen la ventaja que da una lectura, mientras que la lectura del psicrómetro requiere el empleo de diversas tablas.**

**La utilidad del psicrómetro está dada porque también proporciona la temperatura**

**del ambiente en el termómetro del bulbo seco.**

**Conviene colocar estos instrumentos en el exterior, cercanos a la planta de silos, pero protegidos de la intemperie, bajo techo pero no en un ambiente cerrado. Se recomienda colocarlos a una altura de 1,5 a 1,8 m del suelo, pero algo alejados de la influencia de la secadora.**

**La humedad relativa del aire ambiente no es muy importante en el secado con aire caliente, pero sí lo es en el secado con aire natural o a baja temperatura. En el secado con aire caliente, la HR que tiene importancia es la del aire de secado, como se verá en otro capítulo.**

## **12. Psicrometría**

**Las relaciones entre la humedad, la temperatura y otras propiedades del aire se analizan en los cálculos psicrométricos, que tienen una cierta complejidad y cuyo estudio escapa en alguna escala a las finalidades de esta obra.**

**A fin de facilitar su comprensión se han elaborado los diagramas psicrométricos, en**

los cuales también pueden analizarse los procesos en los que intervienen los granos, como el secado, aireación, humedecimiento y otros, en los que participan el aire exterior y el vapor de agua.

Un estudio científico del secado de los granos no podrá completarse sin un conocimiento cabal de estas relaciones, que constituyen el fundamento de la psicrometría y de los fenómenos termodinámicos que afectan a los granos.

Otras propiedades que ejercen influencia en estos procesos son el "mano y el peso de los granos, su área superficial, porosidad, calor de vaporización, conductividad térmica, calor específico, coeficiente de transferencia de calor, coeficiente de difusión de humedad, etc.

A todos aquellos interesados en profundizar en estos temas, se les recomienda la lectura de los siguientes trabajos: Todd (1981); Wilhelm (1976); Lasseran (1977); Bloone and Shove (1971); Agricultural Engineers Yearbook (ASAE).

[Figura 5. Psicrómetro con ventilación](#)



## Bibliografía

**ASAE. Agricultural Engineers Yearbook. Manual técnico editado todos los años por la ASAE, St. Joseph, Michigan, U.S.A.**

**BLOOME, P.D. y SHOVE, G.C. 1971. Near equilibrium simulation of shelled corn drying. Transactions of the ASAE, N°4: 709.**

**DUBOIS, M.E.D. 1987. Mermas de secado. Circular Técnica N° 1 . Comisión Técnica de Postcosecha de Granos. Buenos Aires. 5 p.**

**FOSTER, G.H. 1982. Drying Cereal Grains. Storage of Cereal Grains and Their Products, Chapter 4. American Association of Cereal Chemists, Inc.. St. Paul, Minnesota, U.S.A.**

**LASSERAN, J.C. et al 1977. Spécial Séchage. Perspectives Agricoles. Institute Technique des Céréales et des Fourrages (ITCF), Juin-Juillet, N°6, Paris, France.**

**MARSANS, G. J. 1984. Sistemas o Métodos de Secado no Convencional. Propuestas para una Mejor Tecnología. Jornadas de Secado y Aireación de Granos. Bolsa de Cereales de Buenos Aires, dic. 5-30.**

**TOOD, M.L. 1981. Psychrometrics applied to grain processing. ASAE, St. Joseph, Michigan, U.S.A.**

**WASSERMANN, J.D., STOCK, W.F., FREHLICH, G.E. y LISCHYNSKI, D.E. 1984. Heated air dryer performance. PAMI, Canada. Paper N°84-211, 23p.**

**WILHELM, L.R. 1976. Numerical calculation of psychrometric properties in SI units. Transactions of the ASAE, N°2: 318.**

---

## **Capitulo II - Tipos de secadoras**

### **1. Tipos de secadoras de granos**

**Las máquinas secadoras pueden clasificarse de la siguiente forma:**

#### **A) Secadoras de flujo continuo**

##### **(1) Verticales (tipo torre)**

- de flujo mixto (de caballetes)
- de flujo cruzado (de columnas)
- de persianas
- de flujo contracorriente
- de flujo concurrente

## **(2) De cascadas**

## **(3) Horizontales**

- de flujo cruzado (de columnas hexagonales)
- de flujo mixto
- de lecho plano
  - fijo
  - fluido

## **B) Secadoras en tandas**

### **(1) De flujo cruzado**

- con recirculación

- **estáticas**

## **(2) De flujo mixto**

- **con recirculación**

- **estáticas**

## **C) Silos secadores**

### **(1) De flujo contracorriente**

### **(2) De flujo cruzado**

**Tanto las máquinas verticales (de menor tamaño) como las de cascadas, horizontales y secadoras en tandas, pueden ser fijas o transportables.**

**Esta clasificación comprende solamente a las secadoras comerciales, o sea aquellas que se emplean en las plantas de acopio de granos de una capacidad media a alta.**

**A nivel de pequeño productor existe una amplia gama de diversos equipos de secado, la mayoría de los cuales son de reducida capacidad y de diseños simples, que se utilizan en países donde todavía no ha llegado una tecnología avanzada. Estos equipos no han sido incluidos en esta obra.**

**Para todos aquellos interesados en estos tipos simples de secadoras, recomendamos muy especialmente los trabajos que realiza el CENTREINAR, de Brasil, y que pueden aplicarse a muchos países de zonas tropicales y subtropicales del mundo.**

**Otros ejemplares de secadoras, algo más evolucionados, como secadoras solares, secadoras por convección natural, patios de secado, túneles de secado, etc., tampoco están incluidos en este libro, pero la bibliografía existente es abundante.**

**Con respecto a los túneles de secado, para granos embolsados, que se usan en escala comercial en algunos países, como Colombia, están descritos en trabajos que figuran en la bibliografía (Eslava Sarmiento, 1985).**

## **2. Secadoras de flujo continuo**

**Son aquellas en las que el grano se introduce y descarga en forma continua o intermitente, permaneciendo constantemente llenas las secciones de secado y enfriamiento. Las operaciones de secado y enfriamiento se efectúan en forma simultánea e ininterrumpida.**

**Las secadoras verticales, también llamadas "tipo torre", se caracterizan por el recorrido del grano, desde arriba hacia abajo, y pueden ser clasificadas en varios grupos, de acuerdo al tipo de flujo.**

**Las secadoras de flujo mixto, también llamadas de "caballetes" (Figura 6), tienen como elemento principal, en las zonas de secado y enfriamiento, un conjunto de conductos en forma de V invertida (Figura 7), por donde circula el aire caliente o frío.**

**Las de flujo cruzado, también llamadas "de columnas" (Figura 8) poseen columnas o venas rectas por donde circula por gravedad el grano; las columnas están formadas por paredes de chapas perforadas, las que atraviesa el aire caliente (o frío) en forma cruzada o perpendicular al espesor de la columna. Se conocen también secadoras de columnas de forma circular (Figura 9).**

**Estos dos tipos, por ser los modelos comerciales más empleados en la actualidad, ocupan la mayoría de los capítulos de esta obra.**

**Las secadoras de persianas tienen su cuerpo principal formado por tres tabiques verticales, como lo muestra la Figura 10, siendo los dos exteriores abiertos en las dos caras, y el tabique medio en zig-zag con grandes perforaciones. Este sistema permite que el grano situado en el costado por donde ingresa el aire caliente descienda más**

**rápidamente que el grano situado en el costado opuesto, con el fin de asegurar un secado más homogéneo. El espesor de la columna es de alrededor de 40 cm.**

**Las de flujo contracorriente y de flujos concurrentes se conocen como de flujos paralelos (de aire y de grano). Las de flujo contracorriente son aquellas en las que el aire y el grano marchan en la misma dirección, pero en sentido contrario. Las de flujo concurrente son las que el aire y el grano marchan en la misma dirección y en el mismo sentido.**

### **3. Secadoras de flujo contracorriente**

**En esta secadora el grano fluye hacia abajo y el aire hacia arriba. En forma general este tipo de secadora corresponde al silo secador ilustrado en la Figura 62, de tal manera que se recomienda consultar dicho tema.**

**Este tipo de secado es muy eficiente energéticamente, porque el aire sale a través del grano más húmedo, o sea muy saturado, pues recoge una máxima carga de humedad.**

**El espesor de la capa de grano no suele superar los 3 - 4 m, pero si aumenta el espesor de la masa de granos también hay un incremento en la resistencia al paso del aire,**

**que produce una disminución de la capacidad de secado.**

**El equipo puede funcionar todo en caliente y efectuar el enfriamiento en un silo separado (Figura 11) para hacer el proceso en forma continua, aplicando lo que se conoce como "secado combinado.. (Capítulo VI).**

**[Figura 6. Esquema de una secadora de flujo continuo, de caballetes \(Doc. IRAM\)](#)**

**A.1.3: cámara de combustión; A.15: ventilador para el aire de combustión; A.1.6: conducto de aire para la combustión; A.2: ventilador de aire caliente; A.3: plenum de aire caliente; A.3.2: entrada de aire; A.4.2: cámara de secado (de caballetes); B.1: ventilador de aire frío; B.2: plenum de aire frío; B.3.2: cámara de enfriamiento; C.1: entrada de granos; C.2: depósito de granos; C.6: descarga de granos; F.1: bastidor**

**[Figura 7. Corte de una cámara de secado de caballetes \(Doc. Sirocco - Böhler\) A: cámara de secado; B: caballetes; C: plenum de aire caliente; D: plenum de aire usado; E: dirección del grano; F: ingreso del aire caliente; G: aire caliente mezclándose con el grano; H: salida del aire usado.](#)**

**[Figura 8. Esquema de una secadora de flujo continuo, de columnas \(Doc. IRAM\)](#)**



Los nombres de las distintas partes son iguales que los de la Figura 6, con excepción de A.4.1: cámara de secado (de columnas).

[Figura 9. Secadora de columna de forma circular \(Doc. Zimmerman\)](#)

[Figura 10. Cuerpo principal de secadora de persianas \(Doc. Riviere - Casalis\)](#)

[Figura 11. Silo secador de flujo contracorriente \(secado combinado\) \(Doc. MWPS-13\)](#)

## 4. Secadoras flujo concurrente

En este tipo, el grano y el aire de secado fluyen en la misma dirección y sentido. De esta forma el aire caliente se encuentra con grano frío y húmedo, pero la transferencia de calor y humedad que tiene lugar asegura que la temperatura del grano no alcance la temperatura del aire de entrada y que descienda rápidamente.

Este diseño tiene la ventaja que se pueden emplear muy altas temperaturas del aire, que originan altas velocidades de secado sin sobrecalentar el grano. Este último está sometido a un tiempo de permanencia más corto, por lo cual no es muy afectado.

Se ha comprobado también que el consumo específico de energía se encuentra entre 850 y 900 kcal por kg. de agua evaporada, que significa una buena eficiencia térmica.

En la práctica se ha comprobado que la extracción de humedad por cada tratamiento de flujo concurrente no supera los dos puntos de humedad, de manera que las secadoras comerciales existentes tienen dos o tres etapas, separadas cada una por secciones de reposo. Tales máquinas son muy altas, la potencia consumida es elevada y los tiempos de residencia más prolongados, todo lo cual está limitando, hasta ahora, la difusión de modelos de este tipo, así como su mayor costo inicial.

En la Figura 12 se observa una secadora de este diseño, de tres etapas con temperaturas diferenciales con enfriado en flujo contracorriente.

**[Figura 12. Esquema de secadora de flujos concurrentes, de tres etapas de secado y enfriamiento por flujo contracorriente. \(Doc. FAO\)](#)**

**A: ingreso de aire al quemador; B C-D: aire caliente en tres etapas; E: salida de aire usado; F: recirculación de aire usado; G: ingreso de aire para enfriamiento; H: entrada de grano húmedo.**

## 5. Secadoras cascadas

Estas máquinas están formadas por uno o dos planos inclinados, compuestos por persianas (las que atraviesa el aire) por las cuales el grano va descendiendo en forma de una cascada continua.

Este sistema tiene la ventaja de que no se tapan agujeros (porque no existen) con borra o basura, como en otras secadoras que tienen paredes perforadas. También son aptas para secar semillas muy pequeñas, como calza, tréboles y otras similares, reduciendo el caudal de aire.

La corriente de aire que pasa por las persianas, además de su función principal de secar y enfriar, realiza una buena limpieza del grano. Las impurezas arrastradas tampoco caen en el plenum o cámara de aire caliente, con lo cual el riesgo de incendio es reducido a un mínimo.

Existen dos configuraciones especiales, una con un solo plano inclinado (Figura 13), en el cual la última sección es la zona de enfriado, y otra con dos planos inclinados (Figura 14) donde el plano superior es la zona de secado, y el inferior, la zona de

## **enfriado.**

**Como son equipos de poca inclinación ocupan un área superficial mayor que las secadoras tipo torre. Además la potencia absorbida por toneladas es casi el doble que las secadoras mencionadas.**

**Con el fin de aumentar la capacidad de secado se han fabricado secadoras con este mismo principio de cascadas, pero verticales, formadas por módulos de forma romboidal (Figura 15) que pueden montarse uno arriba del otro, obteniéndose secadoras de hasta 100 t/hora.**

**En general, estas secadoras de lecho en cascadas emplean mayores caudales de aire que las secadoras de flujo mixto, pero trabajan a menores temperaturas del aire de secado. Sus fabricantes dicen que por dichas razones son preferidas estas máquinas por las malterías y los elaboradores de arroz.**

**La instalación de las secadoras de 1 o 2 planos es fácil, pues ya vienen entregadas en un único cuerpo completo, y solo se necesita una grúa para ubicarlas.**

**[Figura 13. Secadora de cascadas, de un solo plano \(Doc. Alvan Blanch\)](#)**

### [Figura 14. Secadora de cascadas, de dos planos \(Doc. Alvan Blanch\)](#)

### [Figura 15. Secadora de cascadas, de módulos romboidales \(Doc. Alvan Blanch\)](#)

**1: transportador de granos; 2: tolva de grano húmedo; 3: secciones de calor; 4: conducto de aire caliente; 5: sección de enfriado; 6: conducto de aire frío; 7: rosca de descarga de grano; 8: ventilador de aire frío; 9: controles de quemador; 10: ventilador y cámara de combustión; 11: cámaras de calor; 12: salida de aire usado.**

## 6. Secadores horizontales

Se ubican en este grupo dos tipos: las secadoras horizontales de columnas hexagonales y las secadoras horizontales planas.

Las primeras son similares en su diseño a las secadoras en tandas descritas en el Capítulo VI, pero se diferencian porque su operación es continua, tienen ciclo de enfriamiento, son más complejas, y suelen ser más largas (Figura 16). En la Figura 17 se observa un esquema interno de una secadora de este tipo, en la cual el grano se desplaza desde arriba por venas que rodean un plenum de aire caliente o frío;

La capacidad de estas máquinas se aumenta haciéndolas de mayor longitud. Algunas marcas están formadas por módulos superpuestos, en los que cada módulo es una secadora individual. Esta última disposición tiene la ventaja de que cada módulo puede tener temperaturas de secado diferentes, mayores en los módulos superiores y menores en los inferiores; al mismo tiempo se detienen o suprimen los ventiladores de aire frío (excepto en el módulo inferior), intercalando de esta forma períodos de reposo que mejoran la calidad y eficiencia del proceso (Figura 44).

Las secadoras horizontales planas se caracterizan por tener la sección de secado y enfriamiento en posición horizontal plana. Pueden ser clasificadas en dos modelos: de lecho fijo y de lecho fluido.

Las de lecho fijo (Figura 18) tienen una cámara de secado plana de un ancho de unos 3 m y una longitud entre 10 y 15 m.

El grano es removido continuamente por un agitador que avanza y retrocede, y es transportado por UD piso móvil hacia el extremo de salida. En la última parte de la máquina se lleva a cabo el enfriado del grano.

El grano avanza en capas de 30 a 48 cm, removidas regularmente, produciéndose así un buen contacto entre grano y aire. Según sus constructores, estas características

**les permiten obtener una alta calidad de grano seco.**

**Muchas de estas secadoras horizontales también pueden ser empleadas para secar forraje, pellets y otros productos y subproductos.**

**Son secadoras de baja capacidad de secado, de alrededor de 5 -7 t/hora.**

**[Figura 16. Secadora horizontal, de columnas hexagonales \(Doc. Beard\)](#)**

**[Figura 17. Sección transversal de secadora horizontal de columnas hexagonales.](#)**

**[Figura 18. Esquema de secadora horizontal de lecho fijo, plano doble \(1\)oc. de Zunche\)](#)**

**1: tolva suplementaria, 2: tolva de carga; 3: equipo generador de calor; 4: agitador; 5: ventilador de aire caliente; 6: plano de secado; 7: plenum de aire caliente; 8: plano de enfriamiento; 9: ventilador de aire frío; 10: lecho móvil de precalentamiento y presecado; 11: chimenea de salida de aire usado; 12: sinfín de descarga. Las dimensiones están expresadas en milímetros.**

**Las secadoras de lecho fluido se diferencian porque emplean elevados caudales de aire caliente, con el fin de agitar y poner en suspensión a la capa de granos, y de esta forma conseguir un secado más rápido y uniforme (Figura 19).**

Existe otro tipo de secadora horizontal de lecho fijo, más simple, también llamada "de capa estacionaria.", pero que trabaja en tandas. La ilustración de la figura muestra una secadora de esas características (Dalpasquale et al. 1991) Figura 20).

[Figura 19. Secadora horizontal de lecho fluido \(Doc. Trimec\)](#)

[Figura 20. Secadora horizontal, de capa estática o estacionaria \(Doc. FAO\)](#)

## 7. Secadoras en tandas y silos secadores

Estos tipos de secadores se describen en forma detallada al tratar los temas de secado en tandas y secado a baja temperatura, en el Capítulo VI.

## Bibliografía

- DALPASQUALE, V.A., MARQUES PEREIRA, D.A., SINICIO, R., OLIVEIRA FILHO, D. 1991.



**Secado de granos a altas temperaturas. Oficina Regional de la FAO, Santiago, Chile.  
Serie Tecnología Postcosecha 10. 75 p.**

**- ESLAVA SARMIENTO, H. 1985. Secamiento estacionario en túneles armados con sacos. Revista Acogranos, Año 1. Número 1: 32-36. Bogotá, Colombia.**

---

## **Capítulo III - Energía y combustión**

### **1. El problema de la energía**

En este capítulo se estudiará cómo se aprovecha la energía de los combustibles, cómo se puede expresar la eficiencia o el rendimiento de una secadora con respecto a otra, como se producen las distintas pérdidas de energía, cuales son las maneras más racionales de reducir el consumo de los diferentes combustibles, así como los tipos de combustibles y la correcta combustión.

En los manuales de los fabricantes de secadoras y en los costos de secado que se llevan a cabo en el acopio se encuentra expresado el consumo de combustible utilizando como unidad el kg, el litro o el m<sup>3</sup> por quintal de grano secado o por hora

## de trabajo.

Esta forma de expresión es útil para esos cálculos, pero no es totalmente exacta porque el consumo varía de un combustible a otro, porque es diferente según la humedad inicial del grano, la temperatura de secado empleada y depende además de otros factores, como se verá en otro capítulo.

Resulta más adecuado indicar el consumo de energía en otra unidad, como es la cantidad de kilocalorías consumidas por cada kg de agua evaporada, que permite hacer comparaciones entre secadoras, y cuya determinación se explica enseguida. Es lo que se denomina "consumo específico de energía".

---

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

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

---

## 2. Consumo específico de energía

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

**Una secadora convencional, tipo torre, correctamente construida, utilizada y mantenida, tiene un consumo energético de poco más de 1 000 kcal por kg de agua evaporada. Esta cantidad se compone de la siguiente manera (aproximadamente):**

- Calor necesario para la evaporación de 1 kg de agua	600 kcal
- Pérdida por el calor sensible que se va en el aire usado	300-320 cal
- Pérdidas de calor por conducción, radiación y convección hacia el exterior	30 kcal
- Pérdida por el calor transportado por el grano	80 kcal
<b>Total</b>	<b>1 010-1 030 kcal</b>

**El valor de 600 kcal/kg de agua no puede ser disminuido de ninguna forma, pues es el calor mínimo que se requiere para evaporar el agua. Las otras pérdidas pueden ser rebajadas en una cierta por medio de mejoramientos en las secadoras o utilizando algunos sistemas de secado más eficientes, como se demuestra en otros capítulos de esta obra.**

**Casi el 50% del calor producido por el combustible se puede perder. Las calorías necesarias para el secado las suministra, entonces, el combustible. Mas adelante se analizarán las causas de las diferentes pérdidas.**

**Para conocer la forma de calcular el consumo específico de energía de una secadora particular, un ejemplo puede servir para ello.**

**Sea una secadora que rinde 40 t/h de grano seco, con maíz de 17% a 13,5%.**

**Es preciso calcular la entrada del grano húmedo que produce 40 t/h de grano seco, por esta fórmula:**

$$[100 - 13.5] / [100 - 17,0] \times 40 \text{ t/h} = 41,7 \text{ t/h}$$

**41,7 t/h - 40 t/h = 1,7 t de agua/h = 1 700 kg de agua/h que es el poder de evaporación.**

**Si el consumo de gasoil medido fuera, por ejemplo, de 260 l/hora, para un gasoil de 0,820 kg por litro, serán 213 kg de gasoil/hora. Si este gasoil tiene un poder calorífico de 10 100 kcal/kg, el consumo energético será de:**

$$10\ 100 \text{ kcal/kg} \times 213 \text{ kg/h} = 2\ 151\ 300 \text{ kcal/hora}$$

**Dividiendo este consumo energético por el poder de evaporación:**

**$2\ 151\ 300\ \text{kcal/h} / 1\ 700\ \text{Kg/h} = 1\ 265\ \text{kcal/kg}$  de agua**

**Un consumo específico de energía de 1 265 kcal/kg de agua evaporada puede considerarse algo elevado, pero todavía aceptable.**

**Este consumo de energía, 1 265 kcal/kg agua, significa un rendimiento energético de un 47,4% es decir que se han utilizado 665 kcal más que las 600 necesarias para evaporar 1 kg de agua. Un rendimiento de un 50% debe ser el promedio de nuestras secadoras tradicionalmente empleadas.**

**El consumo específico de energía va creciendo cuando el grano que ingresa a la secadora tiene menor porcentaje de humedad. Así, es posible que un grano con 22% de humedad represente un consumo específico de unas 1 250 kcal/kg, mientras que el mismo grano, con 16% de humedad inicial, puede consumir en esa secadora alrededor de 1 500 kcal/kg.**

**Esta menor eficiencia es debida a que resulta más difícil remover el agua del grano menos húmedo porque esta más fuertemente ligada a la estructura de la semilla.**

### 3. Eficiencia una secadora

Es la relación entre las kcal mínimas necesarias para evaporar el agua de una masa determinada de granos y la cantidad de kcal realmente consumidas.

$Ef = [\text{kg de agua evaporada} \times \text{calor latente del agua (kcal/kg)}] / [\text{kg de combustible usado} \times \text{poder calórico del combustible}] \times 100$

Ejemplo: se deben secar 50 t de maíz, de 18 a 13,5% de humedad, con una secadora de 50 t/h de capacidad, y se ha consumido 205 kg de gasoil, que tienen un poder calórico de 10 800 kcal/kg.

Agua a evaporar:

$$\frac{(18 - 13,5) \times 100}{100 - 13,5} = 5,2\%$$

5,2% de 50 t (50 000 kg) = 2 600 kg de agua

**El calor latente del agua es de unas 600 kcal/kg**

$$\frac{2\,600\text{ kg agua} \times 600\text{ kcal/kg} \times 100}{205\text{ kg gasoil} \times 10\,800\text{ kcal/kg}} = \frac{1\,560\,000\text{ kcal}}{2\,214\,000\text{ kcal}} = 70,5\%$$

Esto significa que un 29,5% de la energía consumida del combustible se pierde en esta secadora. Una secadora moderna con un diseño más racional, puede aumentar su eficiencia a 75% o más.

Entonces la mejor forma de medir la eficiencia de una secadora es calcular las kcal consumidas para evaporar 1 kg de agua. Veamos otro ejemplo:

Supongamos dos secadoras similares "A" y "B", que están secando maíz a 13,5%, y que ambas tienen una capacidad de secado de 40 t/h, con igual temperatura del aire de secado.

La secadora "A" consume 240 l gasoil/hora

La secadora "B" consume 280 l gasoil/hora

**La cantidad de agua a evaporar es igual para ambas:**

$$[18 - 13.5] / [100 - 13,5] \times 40 \text{ t/h} = 2 \text{ 081 kg agua/hora}$$

**Para un gasoil de 10 120 kcal/kg y de una densidad de 0,82 kg/l, resulta:**

**Secadora A:**

$$240 \text{ l/h} \times 0,82 \text{ kg/l} \times 10 \text{ 120 kcal/kg} = 1 \text{ 991 616 kcal/hora}$$

$$1 \text{ 991 616 kcal/h} / 2 \text{ 081 kg agua/h} = 957 \text{ kcal/kg}$$

**Secadora B:**

$$280 \text{ l/h} \times 0,82 \text{ kg/l} \times 10 \text{ 120 kcal/kg} = 2 \text{ 323 552 kcal/hora}$$

$$2 \text{ 323 552 kcal/h} / 2 \text{ 081 kg agua/h} = 1 \text{ 117 kcal/kg}$$

**La secadora A es más eficiente pues consume menos kcal por cada kg de agua a evaporar.**

**Otra forma de medir la eficiencia con que está trabajando una secadora es midiendo**



**las temperaturas del aire de secado, del aire usado y del aire ambiente (Aguilar and Boyce, 1966), aplicando esta fórmula:**

$$\frac{T_{as} - T_{au}}{T_{as} - T_{aa}} \times 100 = \text{Eficiencia}(\%)$$

**Donde:**

**T<sub>as</sub>: temperatura del aire de secado**

**T<sub>au</sub>: temperatura del aire usado**

**T<sub>aa</sub>: temperatura del aire ambiente**

Un ejemplo permitir entender este cálculo. Una secadora trabaja con aire de secado a 120°C, el aire usado sale de la cámara de secado a 40°C, y el aire ambiente está a 18°C. Si el aire se calienta a 120°C y estaba a 18°C, quiere decir que hay 102°C (120 - 18) que la secadora puede utilizar; pero si el aire se calienta a 120°C y sale a 40°C, significa que la secadora solo aprovecha 80°C (120 - 40). Si podía utilizar 102°C y solo aprovecha 80°C, la eficiencia es:

$$80 / 102 = 0,78 \text{ o sea el } 78\%$$

que es el mismo valor al aplicar la fórmula de arriba.

Hay que tener cuidado cuando se trata de la temperatura del aire de secado. El aire de secado puede salir del equipo generador de calor a 150°C, pero cuando está por penetrar en la masa de grano, puede estar a 120°C, es decir, perdió ya 30°C. Es por ello que en realidad en el denominador debiera colocarse como valor de la temperatura del aire de secado 150°C.

Estos cálculos son relativamente aproximados, y los mismos autores (Aguilar and Boyce, 1966) aconsejan, para mayor exactitud, emplear la temperatura de bulbo húmedo (Tasw) del aire de secado en el denominador de la ecuación, en lugar de Tau; dicen que cuando el aire usado está saturado, su valor es casi igual a Taa, y el resultado se acerca mucho al 100%.

Toftdahl Olesen (1987) propone la siguiente fórmula para calcular el consumo específico de energía:

$$q = 1,06 (600 + 0,24 t_b - t_a / x_b - x_a)$$

Donde:

**q: consumo específico de energía (en kcal/kg agua)**

**tb: temperatura del aire usado**

**ta: temperatura del aire exterior**

**xb: kg de agua por kg de aire seco del aire usado**

**xa: kg de agua por kg de aire seco del aire exterior**

**Este cálculo fue realizado para cebada, pero puede ser empleado aproximadamente para otros cereales.**

#### **4. Pérdidas de energía**

**Hemos visto ya que las pérdidas de energía o de calor de una secadora son de variado tipo. Las más importantes de ellas son las que se producen por el calor sensible que se va con el aire usado. Aun cuando el aire usado salga saturado, siempre una pérdida de calor se origina por el calor sensible que conduce.**

**En definitiva, las condiciones más favorables para el secado se presentan cuanto mayor sea la diferencia entre la temperatura del aire de secado que entra en contacto con los granos y la del aire usado. Se deduce entonces que será favorable el balance**

cuando la temperatura del aire de secado sea más elevada. Igualmente favorable es una mayor temperatura del aire ambiente.

La otra pérdida importante es el calor que se va con el grano que sale caliente. En este caso no nos referimos a la temperatura del grano que sale de la máquina (pues ha pasado por el enfriamiento) sino a la que tiene el grano al final de la cámara de secado. La mejor forma de aprovechar ese calor es empleando secaireación, es decir, trabajando toda la máquina en caliente (ver Capítulo VII).

## 5. Saturación del aire usado

Es sabido que cuanto más saturado salga el aire de la secadora, mejor será la eficiencia energética de la máquina.

Este aire se satura por dos razones: 1) porque absorbe humedad al atravesar los granos húmedos, es decir, aumenta su humedad absoluta, y 2) porque cede calor al grano y por ende se enfría y entonces disminuye su humedad de saturación. Es decir, que cuanto menor sea la diferencia de temperatura entre el bulbo seco y el bulbo húmedo de un psicrómetro, el aire estará más saturado.

Según Isaac y Muhlbauer, 1975, una secadora trabajando a 80°C de temperatura del aire de secado, y cuyo aire usado sale casi 100% saturado, estará consumiendo unas 900 kcal/kg de agua evaporada, mientras que si el aire sale con solo 20% de saturación, el consumo será de unas 1 500 kcal/kg.

También es importante la humedad relativa del aire ambiente o exterior. Cuanto menor sea la humedad relativa del aire ambiente y mayor la del aire usado, mejor será el rendimiento, en kcal/kg.

Estas características de la humedad relativa del aire tienen fundamento cuando se está refiriendo a secado con aire natural o a baja temperatura, pero cuando se habla de secado con altas temperaturas, la variación de la humedad relativa del aire exterior tiene escasa trascendencia.

Hay varias maneras de aumentar la saturación del aire usado.

Una de ellas es reducir el caudal del aire pues así aumenta el tiempo de contacto entre aire y grano, y el aire puede recoger más humedad. Pero, esto se consigue a costa de disminuir la capacidad de secado, pues el ingreso total de energía al sistema se restringe. El aumento de eficiencia compensa, en parte, la reducción de capacidad.

**Otra forma, como ya se ha expresado en otra parte, es incrementar la temperatura del aire seco, pero dentro de las limitaciones de esta medida.**

## **6. Medición de la saturación del aire usado**

**Esta medición, que significa determinar la humedad relativa del aire usado, puede hacerse por medio de un psicrómetro (ver Capítulo I - 11).**

**Para ello se debe colocar el psicrómetro en la corriente de aire usado que sale de la maquina, mantenerlo hasta que los valores se mantengan estables (1 a 3 minutos), procurando siempre que se conserve húmeda la tela que cubre el bulbo húmedo. Registrados los datos de bulbo seco y de bulbo húmedo, se consulta el Cuadro 5.**

**Este cuadro, extraído de Berhaut y Lasseran, 1986, permite conocer el consumo específico de energía. Aclaran dichos autores que estos datos son aproximados, y no pueden reemplazar a controles más completos.**

**En las secadoras comerciales verticales, la humedad relativa del aire usado se va reduciendo a medida que el grano se seca.**

Entonces, en la parte superior de la cámara de secado, el aire puede salir con una HR cercana a la saturación, mientras que en la parte inferior puede estar a sólo 20% de HR.

Diferencia entre Ts y Th	25°C	30°C	35°C	40°C	45°C	50°C	55°C	60°C
2°C	960	890	850	810	790	760	740	720
5°C	1100	1000	930	870	830	790	760	740
7°C	1500	1200	1000	920	870	820	780	760
10°C	5800	1600	1200	1000	940	870	870	790
12°C		2800	1500	1200	1000	920	860	810
15°C			2900	1500	1200	1000	930	860
17°C				2100	1400	1100	990	900
20°C					2100	1400	1100	980
22°C						1700	1300	1100
25°C						3200	1700	1200
27°C							2100	1400

**Cuadro 5. Cantidad de calor, en kcal, usada para evaporar 1 kg de agua, en función de las temperaturas seca ( $T_s$ ) y húmeda ( $T_h$ ) del aire usado. (Cortesía Berhaut y Lasseran)**

## **7. Medición de la temperatura del aire usado**

Como se ha mencionado antes, esta temperatura varía entre 35 y 60°C, dependiendo del tipo de secadora y las condiciones de secado. Es menester vigilarla regularmente pues es un índice del buen funcionamiento del sistema. Normalmente se mantiene estable, pero si aumenta con rapidez, puede significar un principio de incendio.

Aun sin llegar a un principio de incendio, la elevación de dicha temperatura es una señal de un comienzo de obstrucción, que se acompaña de una disminución de la saturación del aire, seguido de una reducción del rendimiento de la máquina.

Es por esta razón que las secadoras deberían estar equipadas con un sistema de control que avise, por algún tipo de alarma, de una elevación brusca de temperatura. El control tendría que estar regulado para actuar cuando esa



elevación sea de unos 15-20°C encima de la temperatura corriente del aire usado. Lo ideal sería un sistema automático que, al alcanzar esas temperaturas, apague el quemador y detenga los ventiladores.

La medición de la temperatura de dicho aire debe ser realizada a distintos niveles de la cámara de secado, para asegurarse que está bien distribuida, de acuerdo a las temperaturas de entrada.

## 8. Cálculo caudal de aire de la secadora

Conocida la cantidad de agua a evaporar y calculado el consumo energético, es útil determinar la cantidad de aire para transportar la cantidad de calor ya establecida sin superar una temperatura de trabajo prefijada.

El cálculo, en m<sup>3</sup>/min, se puede hacer con la siguiente fórmula:

$$\text{Caudal (m}^3\text{/min)} = \text{consumo energético (kcal/h)} / [\Delta t \times 17]$$

Donde:

**$\Delta t$ : diferencia entre la temperatura del aire de secado y la temperatura ambiente**

**17: constante de Foster**

**Ejemplo: En la cita del tema "Eficiencia de una secadora" se determinó un consumo energético de 2 214 000 kcal/h. Se supone que la temperatura del aire de secado es de 100°C y la del ambiente de 20°C, luego  $\Delta t = 80$ .**

**Caudal = 2 214 00 kcal/h / [80 x 17]= 1 628 m<sup>3</sup>/minuto**

**El conocimiento de este dato permite seleccionar el tamaño del ventilador o de los ventiladores.**

**Los caudales de aire de los ventiladores de aire caliente varían de 700 a 3 000 m<sup>3</sup>/min, de acuerdo al tipo de máquina. En promedio, alrededor de 1 800 m<sup>3</sup>/min. Esto significa valores medios entre 2 000 y 2 800 m<sup>3</sup>/hora y por m<sup>3</sup> de grano en la cámara de secado.**

**Este caudal específico se obtiene dividiendo el caudal del ventilador por el volumen de la cámara secado.**

## 9. Consumo de combustible

Se presenta a continuación un cálculo aproximado para conocer cuál es el consumo de combustible de una secadora comercial tipo torre, para que los usuarios puedan compararlo con el consumo real de sus secadoras.

**Ejemplo:** Una secadora que debe secar maíz de 21 a 14% de humedad, y que tiene una capacidad de fábrica de 30 t/h. Se supone un consumo específico de energía de 1 200 kcal/kg de agua evaporada.

Secar de 21 a 14% significa una merma de 8,14%.

30 t/h es la capacidad de grano seco, pero debe calcularse la cantidad de grano húmedo que ingresa en 1 hora. Para ello se aplica la fórmula:

$$[100-14] / [100 - 21] \times 30 \text{ t/h} = 32,65 \text{ t/h}$$

$$32,65-30 = 2 \text{ 658 t/h} = 2 \text{ 658 kg de agua/h}$$

$$2 \text{ 658 kg/h} \times 1 \text{ 200 kcal/kg} = 3 \text{ 189 600 kcal/h}$$

**Si cada kg de gasoil libera 10 100 kcal/kg, resulta un consumo de:**

$$3\ 189\ 600 / 10\ 100 = 316\ \text{kg gasoil/hora}$$

$$\text{o sea } 316\ \text{kg/h} / 32,65\ \text{t/h} = 9,67\ \text{kg/t} = 0,97\ \text{kg/quintal}$$

**Que serían iguales a 1,18 l/quintal, o a 385 l/hora**

**Otra forma de expresar el consumo de combustible es en litros por tonelada y por punto de humedad. En el ejemplo anterior sería:**

$$11.8\ \text{l/t} / 7\text{p} = 1,69\ \text{l/t.p}$$

## **10. Medición del consumo de combustible**

**Como en la mayor parte de las plantas de acopia el combustible se encuentra depositado en grandes tanques, generalmente subterráneos, resulta difícil medir el consumo del mismo. La solución sería equipar la línea con algún medidor especial, que se hallan en el comercio, del tipo usado en las estaciones de servicio de**

## automotores.

Una solución más barata para hacer mediciones por periodos de una hora o más, se muestra en la Figura 21. Para ello se aprovecha el retorno de combustible, colocando un tanque de unos 200 litros (E) que es llenado por dicho retorno, cerrando la válvula A y abriendo la válvula B. Este depósito tiene una varilla graduada que permite conocer con facilidad el combustible consumido. Cuando este tanque está lleno, se abre la válvula C y se cierra la D, para que el combustible fluya del tanque E hacia la bomba de combustible, y luego al quemador.

Pesando la cantidad de grano seco que sale de la secadora en el periodo de tiempo que se uso este equipo y midiendo el consumo de combustible, es fácil calcular los litros gastados por quintal o por hora.

Si el consumo real así medido fuera mayor que el valor calculado, significa que el consumo específico de energía es mayor que lo normal, y que la secadora, por consiguiente, es poco eficiente.

## 11. Consumo de electricidad

**De acuerdo a los datos suministrados por diversos fabricantes, la potencia total absorbida por las máquinas se puede calcular de la siguiente forma (en CV):**

**Secadoras de caballetes:  $1,5 \times$  capacidad secado en t/h**

**Secadoras de columnas:  $2,0 \times$  capacidad secado en t/h**

**Así una secadora de caballetes de 50 t/h requerirá una potencia de 75 CV ( $1,5 \times 50$ ) mientras que una de columnas requerirá 100 CV ( $2 \times 50$ ).**

**Los CV se deben expresar en kw, multiplicándolos por 0,736.**

**[Figura 21. Equipo para medición de combustible \(Cortesía Ing. Suñer\)](#)**

**Para la secadora de caballetes:  $75 \text{ CV} \times 0,736 = 55,2 \text{ kw}$ . En una hora de trabajo serán 55,2 kwhora.**

**Esto significa un consumo por t de grano:**

$$55.2 \text{ kwhora} / 50 \text{ t/h} = 1,1 \text{ kwh/t}$$

**Este consumo se refiere a un maíz que se seca de 18 a 13,5%. Si se secura, por**

**ejemplo, de 25 a 13,5%, el consumo aumentará a:**

$$55,2 \text{ kwhora} / 15,2 \text{ t/h} = 3,6 \text{ kwh/t}$$

**Este consumo de electricidad, para sumarlo al consumo de combustible y obtener así el consumo total de energía, deberá transformarse a kcal/hora:**

$$1 \text{ kw} = 859,8 \text{ kcal/hora}$$

**Para 55,2 kw = 47 461 kcal/hora, que es el consumo de electricidad.**

**Comparado con el consumo de combustible, que era de 2 214 000 kcal/hora, de acuerdo al ejemplo visto anteriormente, resulta ser sólo de 2,1%, de manera que para estos tipos de cálculos el consumo de electricidad tiene poca incidencia.**

## **12. Potencia consumida**

**Hay una relación proporcional entre la capacidad nominal de una secadora en t/hora y la potencia en CV necesaria para accionar todos los mecanismos. Las secadoras más**

**grandes absorber en, por supuesto, mayor potencia total.**

**La potencia se precisa para impulsar los ventiladores de aire caliente y de aire frío, la bomba de combustible, el ventilador de aire secundario para el quemador, el mecanismo de descarga, sinfines de tolva superior y otros dispositivos. También hay que agregar la potencia consumida por la noria elevadora o el transportador de carga de la secadora.**

**Una forma interesante de comparar los consumos de potencia en secadoras es dividir la potencia total consumida en CV por la capacidad nominal en t/hora, cálculo que se expresa en CV hora por tonelada y que denominamos "potencia consumida por t".**

**Cuanto menor sea este índice, mejor será el aprovechamiento de la potencia (Capítulo XI).**

### **13. Combustibles líquidos para el secado**

**Se encuentran en el mercado los siguientes:**



**Gasoil**

**Diesel**

**Diluyente para fueloil**

**Fueloil**

**Kerosene**

El gasoil es el más caro y el fueloil el más barato, pero por razones operativas y de mantenimiento no se aconseja el uso de este último, ya que es un combustible sucio. El kerosene es un buen combustible, pero suele producir olores objetables y su costo es algo mayor.

En cuanto al diluyente, si bien tiene un buen poder calorífico y otras propiedades, presenta ciertos inconvenientes, como degradarse en almacenamientos prolongados, y tapar con más frecuencia los filtros y los picos.

Estos combustibles líquidos producen compuestos químicos en la combustión (ver tema "Ventajas del gas") que se consideran contaminantes de los granos, siendo mayor esta contaminación cuanto más pesados sean. Sin embargo, un gasoil limpio, con un quemador bien regulado y mantenido, origina muy poco benzopireno, un contaminante.

**La diferencia de precios de los combustibles mencionados es el motivo principal de la elección de su uso, lo cual no suele estar de acuerdo con los factores de calidad del grano.**

**Esto es particularmente trascendente en el secado de trigo, debido a su consumo directo como harina y pan.**

**Cuando se adquieran combustibles más baratos, como dieseloil, diluyente y fueloil, hay que tener muy en cuenta la elección del proveedor, para evitar mezclas, adulteraciones y otras maniobras que perjudican la calidad de los productos. Solo deben contratarse los proveedores de agentes o distribuidores oficiales de las distintas compañías.**

**Otra advertencia es que cuando se emplean combustibles pasados y en climas muy fríos, deben ser mantenidos en depósitos a temperaturas de 50-55°C para que no coagulen.**

**Un consejo para los acopladores: pesar el camión que trae el combustible (cargado y vacío). Con los kg obtenidos y el dato de densidad que figura en el Cuadro 6, se calculan los litros recibidos, los cuales deben ser muy aproximados a los que figuran en la nota de remisión.**

## 14. Combustibles gaseosos

Hay dos tipos principales de gas que pueden emplearse:

1. Gas licuado (propano y/o butano), que es provisto en tanques o cisternas. Es un producto licuado, que se gasifica rápidamente al abrir las válvulas, por la alta presión a que está sometido.
2. Gas natural, que se recibe por cañerías de la red general de gasoductos que abastecen a gran parte del país. Este gas circula a baja presión y su precio es inferior al primero.

El gas licuado requiere, además de la provisión regular del mismo por las empresas abastecedoras, de un sistema de combustible que contiene válvulas, manómetros, llaves, elementos de seguridad y conductos, además de los tanques o depósitos de gas.

El gas natural, si bien es más barato y más simple su manejo, necesita contar con la línea que conecte la secadora con la red general. En la mayoría de los casos la red está alejada, y el propietario de la planta debe hacerse cargo del costo de la misma.

**Sin embargo, el gas natural tiene la ventaja de no tener la necesidad de un depósito o tanque y de la seguridad de su aprovisionamiento.**

**La equivalencia entre el consumo de gasoil y de gas envasado (propano) se establece sobre el poder calorífico de ambos combustibles y los pesos específicos respectivos (Cuadro 6).**

**1 litro gasoil/hora = 0,78 kg gas/hora = 1,54 l gas/hora**

**Así, una secadora que consuma 180 l/hora de gasoil, consumirá aproximadamente 140 kg/hora de gas envasado 277 l/hora del mismo gas.**

### [Cuadro 6. Conversiones energéticas](#)

---

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

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

---

## 15. Ventajas del gas

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

El reemplazo del gasoil, diluyentes y mezclas de derivados de petróleo por el gas, tiene tres ventajas incuestionables, además de otras que se mencionan después:

1. Su menor costo, de suerte que se reducen los gastos de energía.
2. La menor contaminación de los granos, como se ha mencionado.
3. La modulación infinitamente variable del quemador, a diferencia de la mayor dificultad para hacerlo con los quemadores a combustible diesel.

Una incorrecta regulación del quemador propicia la formación de compuestos que son objetables. Algunos países, como Suiza, han prohibido el empleo de granos secados con combustibles líquidos como gasoil, fueloil, etc., o si no exigen el uso de intercambiadores de calor para evitar la combustión directa (mezcla de los gases de combustión con el aire de secado).

Alcohol etílico	5829	Kcal/kg
Bagazo de caña azucar	2200 a 3300	Kcal/kg
Biogas	4100	Kcal/m <sup>3</sup>
Rastrojo de maíz	3200	Kcal/kg

Carbón mineral	5200 a 7750	Kcal/kg
Carbón vegetal	6600	Kcal/kg
Ciscara de arroz	3900	Kcal/kg
Gasolina (nafta)	10500	Kcal/kg
Querosene	10300	Kcal/kg
Marlo de maíz (20% hum)	3600	Kcal/kg

### Cuadro 7. Poder calórico de otros combustibles

Los intercambiadores de calor impiden la contaminación de los granos, pero reducen el rendimiento térmico total de la secadora de un 15-20% (ver inciso 25).

Una ventaja adicional del gas es, justamente, encontrarse en estado gaseoso lo que permite una adecuada mezcla con el aire. Por esta razón, la regulación es más fácil, rápida y limpia, decreciendo los problemas de balanceo de cantidad de aire frío, de presión de combustible y temperatura existentes en los quemadores de gasoil.

Otra ventaja del gas es que no origina compuestos de azufre, como lo hacen los combustibles tipo gasoil, evitando así la corrosión de las partes metálicas de la

**secadora.**

**En definitiva, la combustión es, entonces, más limpia, por lo tanto puede hacerse combustión, siempre que los quemadores trabajen bien. Además, el tanque de gas licuado no requiere costosas limpiezas periódicas.**

**Aparte de las facilidades ya mencionadas por el uso del gas, hay que mencionar otra, que es la posibilidad de poder medir el consumo de gas por medio del medidor respectivo.**

**La dificultad de emplear gas licuado está dada, como se dijo, por la necesidad de contar con la provisión continuada del combustible, lo que significa un depósito apropiado, el instrumental de regulación y control o, en el gas natural, la línea o gasoducto desde la línea principal. Esta inversión debe estar a cargo del propietario de la empresa almacenadora, pero es manifiesto que el costo puede ser amortizado en un tiempo corto.**

**El gas envasado, o licuado, o comprimido, como también se lo conoce, se encuentra en estado líquido pero se puede gasificar con facilidad. Puede entonces alimentar a la secadora en forma líquida o gaseosa.**

La forma líquida evita los problemas de congelamiento, y la alimentación se hace por la parte inferior del depósito; cuando surge de la parte superior lo hace en forma gaseosa.

La alimentación líquida requiere una fuente de calor para su gasificación, que es generada por el propio gas en gasificadores del tipo serpentina.

Se debe tener en cuenta que la presencia de gas licuado en forma líquida en la línea es más peligroso; una pequeña pérdida de líquido dejará escapar una cantidad mucho mayor de gas que cuando se usa ya gasificado. Esto se debe a que el líquido al gasificarse aumenta de volumen en una proporción de 250 a 1.

Sin embargo, los circuitos usados están surtidos de válvulas y sistemas de seguridad que reducen considerablemente los riesgos.

Existen en la actualidad empresas fabricantes e instaladoras de estos equipos, y otras suministran el gas.

Uno de los modelos de quemadores de gas más utilizado es el que está ilustrado en la Figura 22; es del tipo mezcla en tobera, y posee control automático de llama, pulsador, filtro, diversas válvulas automáticas, manómetro, presostatos, etc. Está



provisto de un ventilador centrífugo accionado por motor trifásico, cuya potencia varía de 1/4 a 5,5 CV, dependiendo de la capacidad del quemador.

### [Figura 22. Quemador a gas \(Doc. EQA\)](#)

## 16. Leda

La lena es un combustible barato y muy económico para zonas donde abundan bosques y montes. Tiene un aceptable poder calorífico y es de fácil combustión. Su manejo no exige mano de obra calificada y tiene bajo tenor de cenizas y azufre.

En Brasil está prohibido desde 1981 el empleo de combustibles derivados del petróleo para el secado de granos, lo que obliga a la utilización de lena y de residuos agrícolas.

Para su empleo se necesita un horno grande especial, provisto de una grilla de hierro fundido y revestido de material refractario.

En algunos hornos la lena sufre un presecado y los gases desprendidos son totalmente

quemados cuando pasan por la grilla, y se separan hacia una cámara de mezcla. Se producen altas temperaturas, del orden de 1000°C, y luego de la mezcla pueden llegar a 250°C. La combustión es buena con gases libres de partículas incandescentes. Luego se mezcla con aire frío para reducir la temperatura a 80-100°C

Otros hornos deben trabajar con fuego o combustión indirecta, para impedir que el aire quede impregnado de hollín, que transmite a los granos olor y gusto desagradables.

El consumo de leña, para una secadora de 30 - 40 t/h puede ser de unos 2 m<sup>3</sup> por hora.

Los inconvenientes que presenta la leña es el gran volumen de espacio que ocupa y su correspondiente acarreo. Requiere además, un operario para la carga del horno y el control de temperatura.

Además, el abastecimiento puede ser irregular, considerando las grandes cantidades necesarias. Si bien su poder calórico es aceptable, resulta inferior al de los combustibles sólidos.

**Por otra parte, pueden existir prohibiciones de explotar bosques naturales, por lo cual se necesita disponer de un programa de reforestación bien encarado y continuo. En Brasil se calcula que para secar 1 000 t de mm se requiere un área de reforestación de 7,2 ha para que la unidad almacenadora se haga autónoma en su necesidad de energía.**

**Se aconseja que la lena sea cortada en tamaños de 1 m para facilitar la carga y el manipuleo en las pilas de depósito.**

**La mayoría de estos hornos pueden quemar otras materias vegetales, como cáscara de arroz, paja de cereales, etc.**

**Teniendo en cuenta que en el futuro el uso de todos estos residuos, como otros más (lo cual se conoce como "biomasa") puedan tener un desarrollo espectacular, una medida aconsejable al diseñar un nuevo centro de acopio, es dejar un espacio previsible para la instalación posible de un horno y depósito de biomasa.**

## **17. Marlos de maíz**

**Ensayos realizados por Keener et al, 1981, han demostrado que los marlos de maíz usados como combustible resultan efectivos en reducir las necesidades de energía.**

**El uso del marlo (olote, tusa) del maíz para secar el grano requiere un sistema completo para recogerlo, transportarlo, almacenarlo, secarlo y quemarlo.**

**La cosechadora automotriz necesita ser equipada con un dispositivo "marlero" ubicado, generalmente, en la cola de la máquina, para separar los marlos del resto de chala y hojas que tira la cosechadora. Se debe disponer, también, de un acoplado extra para recibir los marlos y de un depósito para almacenarlos. Este proceso puede causar retrasos y complicaciones en la cosecha de maíz, sobre todo por la necesidad de cambiar los acoplados para los marlos, pues estos se llenan rápidamente. Otra solución es que la cosechadora arroje los marlos a un costado formando una hilera y que luego sean recogidos por un recolector especial.**

**Más racional sería utilizar una juntadora-espigadora que solo recolecta las mazorcas, que posteriormente tienen que ser desgranadas en una desgranadora de maíz, estacionaria. Este método encarece, por supuesto, la cosecha de maíz como grano. En cambio puede ser aprovechado por empresas productoras de semilla de maíz, que recolectan con juntadoras y acumulan grandes volúmenes de marlos.**

En Estados Unidos se ha probado otro sistema (Vence Morey et al, 1987) que reside en variar las regulaciones del cilindro de la cosechadora, disminuir la luz entre cilindro y concavo y abrir más las zarandas, de forma tal que los marlos rotos y los granos sean acumulados en la tolva de granos de la cosechadora. La mezcla es transportada, entonces, a la instalación de secado, lo que elimina la necesidad de un acarreo separado para los marlos. Allí la mezcla es clasificada, el grano húmedo ingresa a la secadora y los marlos (o los pedazos de marlos) transportados a una secadora de marlos, y posteriormente al quemador para actuar como combustible. Los marlos deben ser secados para poder ser utilizados. El marlo es empleado, también, para secar los marlos húmedos.

Los marlos secos son quemados en un horno especial, de dos etapas (gasificación y combustión), y los gases de esa combustión son utilizados para mezclarse con el aire de secado, y alcanzar temperaturas de 90 a 110°C en la secadora de grano.

Los mismos autores indican un consumo específico de energía de unas 1 500 kcal/kg de agua evaporada, y una eficiencia de combustión entre 80 y 85%.

Una hectárea de maíz rindiendo 6 000 kg de grano puede producir 1 t de marlos; como el calor de combustión de los marlos secos es de unas 3 600 kcal/kg, la capacidad térmica de los marlos será de 3 600 000 kcal, suficiente para secar dos o

**más ha de maíz con 20% de humedad inicial (Cuadro 7).**

## **18. Empleo de la electricidad**

**Además del uso de la electricidad para el funcionamiento de los ventiladores y otras aplicaciones, se ha pensado en la electricidad como fuente de calor para calentar el aire en secadoras comerciales.**

**Se conocen algunas iniciativas para utilizar bombas de calor (Hagan, 1979), en las que se consiguieron economías de hasta el 60% en la energía eléctrica consumida en relación al consumo de calentadores a resistencia, pero la duración del secado se alargaba, y los costos de instalar la bomba eran casi iguales al ahorro de energía.**

**También se han desarrollado secadoras con la energía de microondas, con buenos resultados en cuanto a alta velocidad de secado, falta de ruido y sin contaminación, pero el costo energético fue elevado.**

**En 1988 se conoció en Francia un sistema de calentamiento del aire de secadoras comerciales por medio de baterías de resistencias eléctricas. Estas baterías están**

colocadas en la entrada de aire de la parte baja de la secadora, y tienen una potencia instalada de 3 000 kw, alimentadas por línea de 660 voltios a partir de un transformador de 20 kv/60 v. Según sus fabricantes la batería puede calentar 80 000 kg/hora de aire de 0°C a 120°C.

Han sido instaladas en secadoras ya existentes, en algunos casos reemplazando a los quemadores a gasoil, y en otros, trabajando en paralelo con los quemadores existentes, para usar la electricidad sustituyendo al gasoil fuera de las tarifas especiales de invierno en aquellos países.

## 19. Combustión y quemadores

Hasta ahora se han estudiado los diversos combustibles que se emplean en el secado de granos. Ahora se analizará el problema de la combustión y los quemadores.

En la Figura 23 se ilustra un tipo común de quemador de pulverización mecánica. Los quemadores llamados "modulantes" tienen la posibilidad de regular la cantidad de combustible y la potencia térmica en una proporción de 1 a 3, mientras que el aire para la combustión se regula automáticamente en función de la cantidad de

**combustible.**

[Figura 23. Quemador de pulverización mecánica \(Doc. ITCF\)](#)

## 20. Combustión

Para quemar completamente 1 kg de gasoil se requiere un mínimo de 15 kg de aire, o sea unos 12 m<sup>3</sup>. Como en un quemador no se puede mezclar bien el aire con el combustible, es necesario aumentar la cantidad de aire. Esto aumenta el volumen de gases de la combustión, los cuales, por estar a una temperatura determinada, aumentan las pérdidas de calor, proporcionales al exceso de aire.

Para medir el exceso de aire, se debe obtener una muestra de los gases y medir en ellos el contenido de anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>). En una combustión perfecta el contenido de CO<sub>2</sub> debe ser el 15,2% en volumen. El exceso de aire será por tanto más elevado cuando el porcentaje de CO<sub>2</sub> es menor. En ensayos en Francia el contenido en CO<sub>2</sub> oscila entre 7 y 12%. Existen dispositivos simples para medir el contenido de CO<sub>2</sub> con una buena aproximación, que se basan en la absorción de



**este gas en una solución alcalina de potasio.**

**En el Cuadro 8 están indicados los diferentes porcentajes de exceso de aire en la combustión.**

**Por otro lado, si la cantidad de aire (o sea el oxígeno) es insuficiente, una parte del carbono será parcialmente quemado, lo que se traducirá en la formación de hollín. Entonces, existe la tendencia a aumentar la cantidad de aire al quemador para asegurar una combustión lo más completa posible, con las consecuencias explicadas. Un exceso de aire produce, en general, una llama de color amarillo claro.**

**Hay entonces un equilibrio a encontrar entre la ausencia de partículas carbonosas y un exceso de aire.**

**La presencia de hollín se puede comprobar haciendo pasar una cierta cantidad de los gases de la combustión, extraídos por una bomba, a través de un filtro de papel; se compara luego la coloración obtenida con una escala testigo (escala Baccara). La coloración no debería superar el índice 1 de la escala Baccara para el gasoil, y el índice 2 para el fueloil (Lasseran, 1979).**

**Esto es fácil hacerlo en las secadoras que tienen intercambiador de calor, en las**

**cuales se aconseja que se lleve a cabo cada 2 a 3 días, midiendo la ausencia de hollín y el contenido de CO<sub>2</sub>.**

Contenido de CO <sub>2</sub> y SO <sub>2</sub> , en volumen	Gas - oil %	Diesel - oil %
15,9	-	0
15,2	0	4
14,5	4	9
14,0	8	13
13,0	16	21
12,0	24	30
11,0	36	41
10,0	48	54
9,0	66	73
8,0	83	91
7,0	112	120

## Cuadro 8. Exceso de aire, en porcentaje, en función del contenido de CO<sub>2</sub> más SO<sub>2</sub>.

También se aconseja que estas mediciones se efectúen en forma imperativa cada vez que se modifican las dimensiones del gliceur. El tenor de CO<sub>2</sub> que debiera conseguirse no debiera ser menor de 12%.

Las secadoras con intercambiador permiten medir la temperatura de los gases de la combustión, la que, como promedio, oscila entre 150 y 200°C a la salida de la chimenea. Si esta aumenta, significa suciedad en forma de capa en el intercambiador. Se considera que una subida de 20°C en esa temperatura, comparada con la misma cuando el intercambiador estaba limpio, es un índice de suciedad.

Conocida la temperatura de los gases de la combustión y el % de CO<sub>2</sub>, se pueden calcular las pérdidas debidas a dichos gases por esta fórmula:

$$\frac{T_g - T_a}{\% \text{ CO}_2} \times 0,56$$

**Donde:**

**Tg: temperatura de los gases**

**Ta: temperatura del aire ambiente**

**% CO<sub>2</sub>: contenido de CO<sub>2</sub> en los gases**

Estas pérdidas no debieran ser superiores al 12%. Si lo fueran significaría que el intercambiador está mal diseñado, o que está muy sucio por depósitos de hollín.

En las secadoras sin intercambiador posible tolerar tenores de CO<sub>2</sub> algo menores, pues ello representa un exceso de aire que favorece una buena combustión. En estas secadoras, estas mediciones son dificultosas, pues se deben efectuar entre la cámara de combustión y el parallamas, antes de que los gases se mezclen con el aire de secado.

En las secadoras que tienen chimenea de evacuación de gases de combustión se puede taladrar un agujero para extraer las muestras. J.L. Poichotte, técnico investigador francés (Poichotte, 1979) recomienda utilizar un deshollinador químico el cual, pulverizado en la llama, desintegra las partículas de hollín para evitar que se depositen en las paredes; este tratamiento debiera realizarse cada vez que la temperatura de los gases aumente 20°C con respecto al valor que ha sido medido inmediatamente después de un deshollinado.

## 21 . Regulaciones del quemador

Quando la combusti3n es incompleta, o el combustible no est3 correctamente pulverizado, o el quemador est3 mal regulado, pueden aparecer tambi3n granos con olor a combustible, o tiznados, y hasta mojados con combustible. Hay que verificar, entonces, el estado y funcionamiento del quemador, o ver si el combustible est3 mezclado con suciedades o agua.

En cuanto a las boquillas o picos del quemador (citando a Frola, 1982) "est3n dise3adas para un rango espec3fico de viscosidad, ya que variaciones de esas viscosidades resultar3n en una pobre atomizaci3n. La atomizaci3n expone una gran parte de la superficie de las part3culas de combustibles para entrar en contacto con el aire de combusti3n, contribuyendo as3 a una pronta ignici3n y una r3pida y completa combusti3n. Debido a que la viscosidad puede variar de partida a partida, dependiendo del origen del crudo, ser3 necesario realizar ajustes en el atomizador hasta encontrar el punto 3ptimo, o lo que es m3s pr3ctico, teniendo un juego para cada tipo de combustible..

**Un trabajo muy recomendado para mayores detalles sobre regulación de quemadores es el titulado "Les combustibles et les générateurs d'air chaud", (Lasseran et al, 1977).**

**La presión de atomización o pulverización debe ser vigilada regularmente, la cual tiene que permanecer estabilizada durante el trabajo de la secadora. El control puede efectuarse con un manómetro adaptado tal fin. Poichotte (1979) también recomienda que nunca se debe regular la potencia del quemador disminuyendo o aumentando la presión del combustible, sino haciendo ajustes en el interior del quemador, modificando la posición del inyector y difusor, operación delicada que debe estar en manos de especialistas. El desgaste y la obstrucción de los inyectores - dice el mismo autor - es una causa frecuente de problemas. Es fundamental contar con filtros de buena capacidad para retener las impurezas superiores a 60 micrones.**

**En el tipo mecánico de quemador de gasoil la pulverización del combustible requiere una presión de 8-12 bars; en cambio, al emplear fueloil se necesita una presión mayor, y en muchos casos calentar el fluido para disminuir su densidad.**

## **22. Cámara de combustión**

Antiguamente las secadoras tenían hornos con ladrillos refractarios, los cuales adquirían una elevada temperatura y permitían, entonces, una muy buena pulverización del combustible y por ende una correcta mezcla con el aire, que llevaba en definitiva a una excelente combustión. Por lo tanto, no se necesitaba una alta presión del combustible. Solo hacía falta un tiempo extra para calentar el horno.

Hoy en día los hornos han sido reemplazados por cámaras de combustión metálicas, las cuales se calientan menos, debiendo por lo tanto, usarse alta presión de aire y de combustible. Todo ello obliga a controlar el buen funcionamiento de las bombas de presión.

Una buena llama del quemador tiene un color amarillento-anaranjado, lo que representa un funcionamiento correcto (para combustibles tipo gasoil). Si se observan llamaradas rojas y lenguas de humo se deduce que la combustión tiene un exceso de combustible, por trabajar con la válvula de combustible demasiado abierta y no es posible regular la combustión porque la entrada de aire ya está abierta al máximo.

La temperatura de una llama se encuentra en torno a los 2 000°C, mientras que los gases de esa combustión están entre 800 y 1 000°C. Como sabemos la transmisión de este calor al aire de secado se hace por simple dilución (combustión directa) o por intermedio de un intercambiador (combustión indirecta) (Figura 24).

Muchos quemadores son del tipo de dos fases o de dos llamas, en los cuales la segunda llama entra en funcionamiento mediante la intervención de un termostato cuando la primera es insuficiente para mantener una temperatura prefijada de aire caliente.

[Figura 24. Cámara de combustión de calentamiento indirecto \(Doc. Svegma\)](#)

## 23. Pérdidas de calor

Por las paredes de la cámara de combustión y del generador se producen pérdidas de calor que en parte pueden ser recuperadas haciendo recircular el aire que las rodea, cuando están instalados en un local cerrado de poco volumen. Cuando los generadores están colocados en el exterior pueden ser aislados en buena proporción con algún aislante bien resistente al calor.

A estas pérdidas deben agregarse las pérdidas de energía explicadas con anterioridad, por un exceso de aire en el quemador y las que se mencionan en el Capítulo V.



**En las secadoras con intercambiador de calor se producen, además, pérdidas debidas a los gases de combustión que salen de la máquina, las cuales son nulas en las secadoras de combustión directa.**

## **24. Cuidados con el combustible**

**Un problema común de mantenimiento es la presencia de agua en el gasoil o en otro combustible, que se origina por la condensación de la humedad del aire existente en el interior del tanque.**

**El agua en el combustible aumenta los riesgos de una mala combustión. Por esta razón el agua debe eliminarse por medio de la apertura de canillas o robinetes en el fondo de los tanques, ya que el agua, por su mayor peso, se ubica en el fondo.**

**Otra solución sería mantener siempre los tanques llenos de combustible, para evitar la presencia de aire, situación que no siempre es factible.**

**Cuando se pueda es mejor aislar los tanques exteriores (con lana de vidrio, papel alquitranado, etc.) para precaver, en verano, el calentamiento del combustible, que**

**produce evaporaciones de hidrocarburos ligeros, y en invierno, que se puedan provocar cristalizaciones de parafinas que tapan filtros e inyectores.**

**Es aconsejable disponer los tanques bajo la superficie del suelo, o si no ubicarlos bajo un techo protector, para evitar la acción directa del sol.**

**Un combustible sucio puede obturar la válvula de retención que permite que la bomba de combustible quede cargada al detener la máquina. Si esto sucede la bomba no succiona combustible al arrancar, lo que obliga a hacer un cebado de la misma, con las correspondientes pérdidas de tiempo.**

**El tanque de combustible tiene que tener una cámara de ventilación, pues si falta, se produce vacío dentro del depósito, y entonces, la bomba de combustible no funciona.**

**Algunos filtros de combustible suelen tener una mariposa que sirve para limpiarlos diariamente girando dos o tres vueltas. Cada tres o cuatro meses, se debe desarmar todo el filtro para su total limpieza, en el caso de ser filtros desarmables.**

## 25. Intercambiadores de calor

Como ya se ha dicho, tienen por objetivo aislar completamente el circuito de los gases de la combustión del circuito del aire de secado.

Con ello se consigue evitar la contaminación de los granos por compuestos químicos peligrosos, como el benzopireno, de acuerdo a lo expresado. También se logra reducir el peligro de incendios debido a partículas de combustible incandescentes o chispas que puede transportar el aire de secado.

En Francia se usan los intercambiadores de calor DO tanto para precaver la contaminación sino para eliminar el riesgo de los compuestos de azufre que originan los combustibles líquidos, los cuales actúan produciendo corrosión en las partes metálicas de la parte superior de las secadoras, lugar donde existe un exceso de humedad, sobre todo en las condiciones de aquel país.

La Figura 25 ilustra un típico intercambiador de calor. La combustión calienta la pared metálica del circuito por radiación de la llama y por convección. El calor atraviesa esta pared por conducción y es transmitido al aire de secado del otro costado de la pared. Este modelo, de tipo anular cilíndrico, es muy simple, pero existen también de tipo tubular; en éstos, el aire de secado se recalienta en una

batería de tubos en el interior de los cuales circulan los gases de la combustión. En la Figura 26 se observa un intercambiador de este tipo.

### Figura 25. Intercambiador de calor cilíndrico

El inconveniente de los intercambiadores es la existencia de pérdidas inevitables de calor y de carga, que pueden ser de alrededor del 15%, en comparación con la combustión directa.

Son muy escasas las secadoras en nuestro país que tengan intercambiador de calor, lo cual significa que puede existir el problema de la contaminación de los granos, a excepción que se utilice el gas natural o gas comprimido, cuya combustión es mucho más limpia.

### Figura 26. Intercambiador de calor de batería de tubos (Doc. ITCF)

## 26. Ubicación del quemador y cámara de combustión

En las secadoras primitivas los equipos generadores de calor están situados en forma

horizontal y en la mayoría de los casos trabajan por impulsión del aire.

La tendencia actual es de ubicarlos verticalmente pues de esta manera se reducen las pérdidas de presión por cambios de dirección de la corriente de aire caliente. Algunas secadoras de este tipo trabajan por aspiración y otras por impulsión.

Ciertas marcas actuales han ubicado estos equipos generadores dentro de la máquina, lo cual es factible en secadoras de columnas (Figura 27). Esta disposición tiene la ventaja de reducir considerablemente las pérdidas de calor y de disminuir el ruido producido por los ventiladores, pues el mismo grano actúa como aislante acústico.

### [Figura 27. Cámara de combustión dentro de la secadora \(Doc. MGR\)](#)

En las secadoras horizontales, de columnas hexagonales, la ubicación del ventilador y quemador, acoplados directamente al plenum de calor (como en la Figura 16) hace que sean casi nulas las pérdidas por fricción y de presión por cambio de dirección del aire caliente.

Sin embargo, la colocación de quemadores y cámara de combustión separados del cuerpo principal de la secadora, como en secadoras más antiguas, reduce mucho los riesgos de incendio.

También, se observa una tendencia a quemadores anchos, es decir, que produzcan una llama ancha en vez de larga. Una llama ancha tiene mas superficie para contacto con el aire, y es más corta, lo que la hace más segura. Los quemadores de este tipo pueden tener forma de grilla y se usan sólo para combustibles gaseosos.

## 27. Secadoras sin quemador

Algunas marcas de secadoras utilizan formas de energía que provienen de una fuente no perteneciente a la máquina. Un ejemplo es el empleo de calentadores de aire por medio de serpentinas especiales en las que circula agua caliente, vapor o aceite caliente, originados en calderas de una fábrica o de otra procedencia.

Estas serpentinas tienen una gran superficie de calentamiento y un alto coeficiente de transmisión de calor. Además, no contaminan los granos.

En países fríos del norte de Europa es común encontrar esta forma de energía.

## Bibliografía

**AGUILAR, C.S. y BOYCE, D.S. 1966. Temperature ratios for measuring efficiency and for the control of driers. Journal of Agricultural Engineering Research, Vol II N°1, March: 19-23**

**BERHAUT, P. y LASSERAN, J.C. 1986. Le Séchage des grains. Guide Pratique. ITCF, AGPM, EFCAC, FFCG. Edité par Agente Francaise pour la Maitrise de l'Energie. Paris, France. 81 p.**

**FROLA, C.A. 1982. Uso de combustible en el agro. Acopio y Comercio de Granos en la Argentina: 59 66. Federación de Centros de Acopiadores de Cereales, Convención Nacional, Villa Carlos Paz, Argentina, octubre.**

**HOGAN, M.R. et al. 1979. Development and testing of a heat pump grain dryer. ASAE Paper N°79-3527. St. Joseph, Michigan, U.S.A.**

**ISAAC, G.W. y MUHLBAUER, W. 1975. Possibilities and limits of energy saving in maize grain drying. Landtechnik, 30 (9): 397401**

**KEENER, H.M., GLENN, T.L. y MISRA, R.N. 1981. Minimizing fossil fuel energy in corn**

**drying systems. Transactions of the ASAE 1981 (5): 1357. St. Joseph, Michigan, U.S.A.**

**LASSERAN, J.C. 1979. Combustíveis e geradores de ar quente. Revista Brasileira de Armazenamento, Vol 4, Nº2:75-88. Vitória, Brasil, 1979**

**LASSERAN, J.C. 1977. Spécial Séchage. Perspectives Agricoles, Juin-Juillet, Nº6. ITCF, Paris, France.**

**POICHOTTE, J.L. 1979. Contrôles d'installations thermiques utilisant le fuel domestique. Perspectives Agricoles, Mars: 46-48. ITCF, Paris, France**

**VANCE MOREY, R., LANG, J.P. y HANSEN, D.J. 1987. Processing and combustion of corn cobs to dry corn. Transactions of the ASAE, 30 (5): 1466-1472. St. Joseph, Michigan, U.S.A.**

---

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

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

---

## Capitulo IV - Capacidad de secado y enfriamiento



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

## 1. Capacidad de secado

La expresión "Capacidad de secado" tiene una importancia fundamental, porque es un parámetro, quizás el más utilizado en el desempeño de las secadoras. Interviene en casi todos los cálculos, en los proyectos y en los costos de secado de granos.

En general, la capacidad de secado se expresa en unidades comunes como toneladas o quintales por hora, ya sea de grano seco o de grano húmedo.

Expresar la capacidad de una secadora solamente en t/hora o q/hora puede llevar a cierta confusión, pues en realidad, una secadora no tiene una sola capacidad horaria, sino varias, que dependen de varios factores, como la humedad inicial del grano, la temperatura de secado y otros.

Es más lógico expresar la capacidad en quintales por hora y por punto de humedad, valor que se forma de multiplicar la capacidad en q/hora que indica el fabricante por los puntos de humedad que también se señala el mismo. Así, una secadora de 30 t/h (300 q/h) para secar maíz de 17 a 13,5% (3,5 puntos), tendrá una capacidad de:

**300 q/h x 3,5 puntos = 1 050 quintales-punto/hora**

**Que se abrevia: 1 050 qp/h**

**Conocido este valor es fácil calcular la capacidad horaria que tendrá la secadora con diferentes humedades iniciales. Si, por ejemplo, la máquina anterior debiera secar maíz de 23% a 13,5% de humedad (9,5 puntos de diferencia), la capacidad ahora sería:**

$$1050 \text{ qp/h} / 9,5 \text{ p} = 11 \text{ q/h} = 11,1 \text{ t/h}$$

**Si la humedad inicial fuera de 28% (14,5 puntos de diferencia), la capacidad sería:**

$$1050 \text{ qp/h} / 14,5 \text{ p} = 72 \text{ q/h} = 7,2 \text{ t/h}$$

**La humedad inicial del grano es entonces, el dato que decide la capacidad horaria de la secadora. Esta información no suele estar bien aclarada en los folletos o catálogos de los fabricantes, o a veces se encuentran diferencias entre los valores de unos y otros. Sin embargo, estos datos son muy importantes para los usuarios por razones obvias.**

**Esta determinación de la capacidad horaria puede hacerse también por otro cálculo**

algo más complejo, pero que nos dará idéntico resultado. Se basa en calcular la merma de humedad real.

La merma real en peso que se origina en un maíz húmedo se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Merma} = \frac{H_i - H_f}{100 - H_f} \times 100$$

Donde:

Hi: Humedad inicial en %

Hf: Humedad final en %

Ya existen tablas con los cálculos hechos, que se encontrarán en el Cuadro 3, Capítulo 1.

Entonces, la merma real, para el mismo ejemplo visto arriba y para una reducción de humedad de 17 a 13,5%, es de:

$$\frac{17 - 13,5}{100 - 13,5} \times 100 = 45\%$$

Para una extracción de humedad de 23 a 13,5, la merma es de:

$$\frac{23 - 13,5}{100 - 13,5} \times 100 = 10,98\%$$

Sabiendo que la capacidad de fábrica es de 30 t/h, la nueva capacidad horaria se obtiene de la siguiente forma:

$$30 \text{ t/h} \times \frac{4,05}{10,98} = 11,1 \text{ t/h}$$

Para una extracción de humedad de 28 a 13,5% la merma real, aplicando la misma fórmula, es de 16,76%. Ahora, la capacidad horaria será de:

$$30 \text{ t/h} \times \frac{4,05}{16,76} = 7,2 \text{ t/h}$$

**Que son datos coincidentes con los anteriores.**

## **2. Capacidad nominal**

**Se habrá observado que la extracción de humedad de 17 a 13,5% ha sido asumida como valor promedio para calcular la capacidad nominal de una secadora, que más arriba se denominaba "capacidad de fábrica". O sea que, cuando un fabricante indica que su secadora tiene una capacidad determinada, hace referencia a esa extracción de humedad, o alguna muy parecida. Algunos fijan valores entre 18 y 14% y 18 y 13,5%, mientras que en algunos países la capacidad nominal se establece entre 20 y 15%.**

**La norma ASAE, de Estados Unidos, establece como capacidad nominal de 25,5 a 15,5% y de 20,5 a 15,5%, para ese país (ASAE, 1987).**

**En el Cuadro 9 se han calculado las diferentes capacidades para distintos tamaños de secadoras, de acuerdo a la humedad inicial del grano. Como se ha expresado ya, el intervalo 17% - 13,5% se ha tomado como base para fijar la capacidad nominal.**

En la última columna se ha indicado la cantidad de agua a evaporar por cada t de grano y para distintas extracciones de humedad. Multiplicando esa cantidad por la capacidad real respectiva de la secadora, se determina la cantidad de agua a evaporar, o sea lo que se denomina "poder de evaporación".

Debe aclararse que la capacidad nominal y la real se pueden expresar en t de grano húmedo o de grano seco, y no existe unanimidad entre las indicaciones de los diferentes fabricantes. Por supuesto, la capacidad en t de grano húmedo es siempre mayor que la de grano seco. En la propaganda comercial y en los trabajos técnicos debe aclararse de que capacidad se está tratando.

En el Cuadro 9 los datos de capacidad están referidos a grano húmedo; para transformarlos a grano seco se debe aplicar la fórmula indicada en el Apéndice 3.

### Cuadro 9. Capacidad nominal y real de secadoras

Una línea inferior del Cuadro 9 presenta la capacidad en quintales-punto por hora, para un intervalo de 17 a 13,5% de humedad.

El otro valor que puede afectar la capacidad de secado es la temperatura de aire de secado, aspecto que será tratado con mayor abundamiento en el Capítulo V2

Las cifras indicadas en el Cuadro 9 se refieren a una temperatura promedio de 100°C. Si la temperatura se elevara, por ejemplo, a 120°C, esas cifras tendrían que ser aumentadas un 20%. Si se redujera la temperatura, por ejemplo, a 45°C (como para secar semilla) la reducción de la capacidad es muy grande, más del 50%

En el Apéndice 3 se presentan algunas fórmulas para calcular el poder de evaporación.

### 3. Tiempo de permanencia o de residencia

Es un factor también de incidencia en el secado de granos porque tiene influencia en la eficacia del proceso y la calidad de la mercadería.

En forma general se puede afirmar que el deterioro que experimenta un grano en la secadora es consecuencia de la relación temperatura-tiempo, es decir, cuanto calor y durante cuánto tiempo, o sea el calor total aplicado.

Existen hoy secadoras, del tipo concurrente, que trabajan a altas temperaturas de secado, cercanas a 250°C, pero sometiendo el grano a breves períodos de contacto

**con las mismas, de forma tal que el dono no es significativo.**

**Algo similar sucede en una secadora de flujo continuo, cruzado o mixto.**

**Se menciona que los granos muy h $\diamond$ medos no deben estar expuestos a altas temperaturas, pero esto es valido si el tiempo de permanencia a esas temperaturas es prolongado. En caso de ser breve, por el contrario, los granos h $\diamond$ medos pueden admitir m $\diamond$ s altas temperaturas de aire, pues evaporan gran cantidad de agua y no llegan a calentarse en exceso. Es por ello que las secadoras con temperaturas diferenciales conducen el aire m $\diamond$ s caliente hacia la parte superior de la c $\diamond$ mara de secado, y las menores temperaturas hacia la parte inferior, con lo cual se gana en capacidad y no se electa la calidad del grano.**

**El tiempo de permanencia est $\diamond$  subordinado, entonces, en primer lugar, al porcentaje de humedad del grano. Cuanto mas h $\diamond$ medo ingrese, mayor ser $\diamond$  el tiempo de permanencia dentro de la secadora, y viceversa.**

**Un grano h $\diamond$ medo, en las secadoras tipo torre, tiene que descender m $\diamond$ s lentamente que un grano mas seco, por aquellas razones.**

**El tiempo de residencia se regula modificando la cantidad de vaivenes del descargador**



**basculante de la secadora, o variando el régimen de vueltas de los extractores que son los dos procedimientos más comunes de descarga de granos en las secadoras actuales.**

**Si no se modificara la velocidad de descarga para adecuarlo a la humedad inicial, puede suceder que un grano húmedo salga de la secadora con humedad todavía alta, y que un grano más seco salga sobresecado.**

**Pero el tiempo de residencia depende igualmente de otros factores, como del tipo de grano a secar (hay granos de fácil secado, como el girasol), de la temperatura del aire de secado, y por supuesto de la humedad final que se pretende.**

**En una secadora determinada el tiempo de permanencia promedio se calcula dividiendo el volumen total de la misma, traducido a toneladas, por la capacidad horaria en ese momento.**

$$t_p = \frac{\text{Volumen (en t)}}{\text{Capacidad (t / h)}}$$

**En las secadoras argentinas, tomando la capacidad nominal (secando de 17 a 13,5%) el tiempo de permanencia promedio, para el maíz, es de una hora.**

**El tiempo de residencia también puede ser medido si se conoce la altura de las cámaras de secado y de enfriamiento, y la velocidad de caída del grano en la secadora.**

**Debe tenerse presente que en caso de secar partidas con poca humedad, que requieran tiempos de permanencia muy cortos, se deben alargar esos tiempos porque si no, la máquina no tendrá tiempo suficiente para el enfriamiento (tema "Enfriamiento").**

## **4. Velocidad de secado**

**El concepto de velocidad de secado es algo diferente al de tiempo de permanencia, pero está relacionado.**

**Se entiende por velocidad de secado a los puntos de humedad que se extraen en una unidad de tiempo, generalmente una hora. Así se habla de una extracción de humedad, por ejemplo, de cuatro puntos/hora.**

**Era común expresar que no convenía extraer más de 5 puntos/hora en el caso del**

maíz, y valores menores para el trigo y otros granos. Si la extracción no alcanzaba con 5 puntos/hora (por ejemplo de 22 a 14%) se recomendaba hacer dos pasadas por la secadora, ya que velocidades mayores podrían afectar la calidad del grano y originar falta de uniformidad en el secado, mayor proporción de revenido y otros problemas.

Pero la velocidad de secado es también dependiente del tipo de grano, pues algunos granos se secan con mayor facilidad, como se ha expresado más arriba.

Puede afirmarse que las semillas pequeñas pierden su humedad con mayor facilidad que las más grandes. Se ha observado que el maíz, por ejemplo, necesita más tiempo para secarse que el trigo.

Es común escuchar que los maíces dentados se secan con mayor velocidad que los corno duros. Esta aseveración suele comprobarse en el proceso de secado natural a campo, por la mayor precocidad de los dentados, como se explica más abajo. Es posible que hacia fines de febrero ya haya maíces dentados con 20% de humedad, mientras que los colorados duros tengan aún el doble.

Se considera que esa diferencia es debida, en parte, a la distinta proporción de endosperma vitreoso y de endosperma harinoso que tienen esos dos tipos de maíces.

**Cuanto mayor es la cantidad de endosperma harinoso, más fácil es la pérdida de humedad, lo que sucede en los maces dentados.**

**Investigaciones llevadas a cabo por Gustafson(1986) han demostrado que si la velocidad de secado del endosperma corno es de 1, la del endosperma harinoso es de 1,4, y la del germen, 5 veces más rápido.**

**Sin embargo, las opiniones no son tan coincidentes cuando se refiere al secado artificial. Muchos acopladores y cerealistas manifiestan que se secan más rápido los maces dentados, pero algunos investigadores, como Lasseran (1982) no han encontrado diferencias.**

**Las diferencias pueden ser debidas también a la distintas formas de los granos y a la mayor o menor dificultad para el paso del aire caliente.**

**Se menciona, igualmente, que hay desigualdad en la velocidad de secado entre híbridos de macez, lo cual es posible determinar en laboratorio, pero que no siempre se corresponden con los resultados del secado comercial. Strohshine (1986) dice que ha encontrado diferencias en velocidad de secado entre híbridos americanos, pero solamente a altas humedades iniciales, pero que a humedades inferiores a 18%, las diferencias desaparecen.**

**Los cultivares precoces mencionados, hablando de maíz, pueden, entonces, facilitar en buena parte el secado, por diversos motivos: llegan a la madurez del grano en épocas tempranas y más cálidas, antes que otros cultivares, espaciando mejor la cosecha, favorecen el trabajo de las secadoras y el manejo de las plantas de acopio.**

**Simplifican la tarea de las cosechadoras, pues hay menos plantas caídas, se encuentran pisos más firmes, y la duración de la jornada es más larga por haber más horas de luz.**

**Al utilizar estos híbridos precoces debe tenerse presente que su rendimiento por ha puede ser menor que los híbridos normales, por lo cual su elección tiene que hacerse en forma cuidadosa.**

## **5. Cámara de secado**

**Hay dos magnitudes que son importantes en las dimensiones de esta cámara: la altura y la profundidad. En las secadoras de columnas continuas o en tandas, se agrega una tercera, el espesor de la columna (Figura 28).**

**Altura y profundidad influyen en la capacidad de secado. La profundidad, siempre que haya uniformidad en toda su longitud en cuanto a temperatura del aire de secado y al caudal de aire.**

**El espesor de las columnas suele tener diferentes variaciones en las distintas marcas, pues en general tiene un promedio de unos 30 cm.**

**También interesa conocer el volumen de esta cámara, en m<sup>3</sup>, que permite calcular el caudal específico de aire caliente, entre otros datos.**

## **6. La temperatura del grano y el enfriamiento**

**La temperatura del grano durante el proceso del secado es factor primordial por su relación, no solamente por la calidad del grano (como se explica en el Capítulo X) sino también por su influencia en el enfriamiento posterior en la máquina, y por su gravitación en otros métodos, como la seca-aireación y el secado combinado.**

**En general, puede afirmarse que la temperatura del grano es tanto más baja cuanto más elevada sea la humedad inicial; una razón es la mayor evaporación que se**

**produce, que absorbe calor, y la otra es que, al ser mayor el tiempo de permanencia del grano en la secadora, existe más tiempo disponible para el enfriamiento.**

**Giner (1990) ha presentado un gráfico donde se señalan las temperaturas que puede alcanzar el grano (Figura 29) al final del secado, de acuerdo a la humedad inicial. Si bien estos resultados han sido obtenidos por un modelo matemático y no siempre coinciden con los datos reales, muestran una tendencia de lo que sucede con el enfrentamiento posterior.**

**Por el contrario, los granos sobresecados salen de la secadora con mayor temperatura, en relación a los granos con humedad final normal. Al sobresecar los granos, éstos se calentarán siempre de más, pues de otra forma no se puede retirar una humedad fuertemente retenida por el endosperma del grano.**

**[Figura 28. Medidas de una cámara de secado h: altura; p: profundidad; e: espesor de la columna](#)**

**[Figura 29. Temperatura de los granos luego del enfriamiento \(Doc. Giner\)](#)**

**Los granos que salen de la secadora con mayor humedad, por ejemplo, 16%, lo hacen menos calientes que los que salen más secos.**

**Agness e Isaacs (1967) expresan que la temperatura del aire usado - y por consiguiente la del grano - disminuye alrededor de 0,5 a 0,6°C por cada punto mas que tenga la humedad inicial del grano. Por ejemplo, un grano con humedad inicial de 2096 que sale de la cámara de aire caliente a 50°C, si ingresara a la secadora con 34% de humedad, saldrá con una temperatura aproximada de 42°C.**

**Es difícil que el grano adquiera la temperatura del aire de secado en las secadoras continuas tipo torre. En secadoras comunes los granos normalmente salen con 40 a 60°C de la zona de secado, aun con temperaturas del aire entre 100 y 120°C. Pero en secadoras antiguas, o de diseño poco satisfactorio, los granos pueden llegar a muy altas temperaturas, sobre todo en algunas partes de la máquina.**

**Por otra parte, cuando el grano es descargado de la maquina a altas temperaturas, mayores que las consideradas normales, significa una pérdida directa de calor, y un consumo extra de energía en la aireación posterior para enfriarlo. Esta pérdida no existe cuando se aplica seca-aireación o secado combinado.**

## **7. Enfriamiento**



**La capacidad de enfriamiento de una secadora tiene importancia, pues hay que tener presente que durante el periodo de enfriado los granos continúan secándose, aunque en menor proporción. Se calcula que puede evaporarse entre un 0,5 a 0,8% de humedad en esta zona. Esta cantidad es mayor cuanto mayor sea la temperatura del grano y menor sea el caudal de aire de enfriado.**

**Las reglamentaciones vigentes exigen que la temperatura del grano que sale de la secadora no supere en 5°C la temperatura del aire ambiente, aunque este valor es relativo.**

**En casos que la humedad inicial del grano sea muy baja, el tiempo de permanencia es corto (o sea que el grano escurre con mayor velocidad) y puede suceder que no haya suficiente tiempo para el enfriamiento, de suerte tal que el grano saldrá demasiado caliente de la secadora.**

**Se precisan por lo menos unos 30 a 40 minutos en ciertas secadoras en la sección de enfriamiento para enfriar el grano; si el secado dura menos, entonces el enfriamiento será insuficiente.**

**En algunas secadoras se podrá cambiar, ante esta situación, la posición de las compuertas o divisores de distribución del aire caliente y del aire frío, dándole más**

volumen a este último. En otros casos se deberá reducir la velocidad del proceso disminuyendo la descarga, pero al mismo tiempo habrá que disminuir la temperatura del aire de secado regulando el quemador.

Otra solución consiste en derivar ese grano demasiado caliente a un silo con aireación para enfriarlo aprovechando las horas nocturnas, o si no volverlo a pasar por la secadora con los quemadores apagados. Al principio se producirá una cierta condensación de humedad, que deberá ser eliminada convenientemente.

Así como hay que aumentar el tamaño de la zona de enfriamiento en los casos mencionados, en ciertas oportunidades habrá que hacer la operación contraria, es decir, reducir dicha zona. Esto es aplicable en casos de secar granos con alto porcentaje de humedad, en que la velocidad de descarga se reduce apreciablemente, y entonces puede suceder que el período de enfriamiento se alargue en forma excesiva, lo cual puede ocasionar una reabsorción de humedad por parte del grano.

Entonces, para un correcto enfriamiento, la secadora deberá permitir un buen período de permanencia del grano, lo cual facilitará el enfriado y a su vez un mejor secado complementario. Para que esto sea posible, la velocidad del grano en la cámara de enfriamiento deberá ser menor, ya sea ensanchando allí las columnas en las secadoras de columnas, o aumentando el tamaño de la cámara de

## **enfriamiento.**

**Algunas secadoras modernas, construidas por módulos individuales, uno arriba del otro, cada uno con su propio quemador, permiten con facilidad aumentar o disminuir la cámara de enfriamiento, apagando o encendiendo los respectivos quemadores.**

**Otro detalle a tener presente es que la temperatura del grano que sale de la secadora es mayor durante las horas más cálidas del día que durante las horas nocturnas.**

**Una secadora trabajando en las horas de calor con una temperatura exterior de 30°C, por ejemplo, puede dejar el grano con 35°C a la salida, pero en las horas de la noche, el grano puede salir a 20°C - 25°C. En el primer caso, se deberá tener mucho cuidado en el almacenamiento, y deberá ser enfriado con aireación nocturna.**

**Sin embargo, el rendimiento de la secadora será bastante superior en las horas de calor comparado con las horas nocturnas, pues el aire tiene más temperatura y menos humedad relativa.**

**Del mismo modo, una secadora trabajando en zonas de clima cálido tendrá mayor rendimiento que la misma máquina en zonas de clima frío.**

**Si la temperatura es muy cálida, no se pueda enfriar bien el grano, por lo cual, dentro de lo posible, convendrá realizar el secado durante la noche.**

**Una precaución a tener en cuenta es que la alimentación de aire del ventilador de enfriamiento se efectúe directamente del exterior, evitando que ingrese aire más caliente por influencia de los quemadores, o debido a que la secadora se encuentra en el interior de edificios o estructuras donde hay aire a mayor temperatura.**

**Por el contrario, en regiones donde priman temperaturas exteriores muy frías, en las que exista el peligro de congelamiento de los granos, hay que permitir un leve calentamiento del aire al ingresar en la cámara de enfriamiento.**

**En ciertas máquinas es posible aumentar el caudal de aire frío casi hasta el doble y de esta forma reducir el tamaño de la zona de enfriamiento y aumentar consecuentemente la zona de secado.**

## **8. Enfriamiento por contracorriente**

**Se ha comprobado que una corriente de aire en contracorriente, es decir, hacia arriba**

**mientras el grano va descendiendo, es mucho más efectiva para enfriar el grano que una corriente cruzada. Desde el punto de vista de eficiencia todas las secadoras debieran enfriar por contracorriente, pero el problema es de orden práctico para instalar un sistema de esta naturaleza en una secadora de columnas o de caballetes.**

**Además la altura de la cámara de enfriamiento podría reducirse en una cierta proporción si se aplica esta técnica.**

## **9. Cámara de enfriamiento**

**En general, en nuestras secadoras el volumen de enfriamiento es de alrededor de un tercio del volumen total de las cámaras de la máquina, o sea que los dos tercios restantes corresponden a la cámara de aire caliente. Sin embargo, estos valores son variables según las marcas, existiendo máquinas que permiten modificar la proporción entre ambas cámaras. En algunos modelos es posible suprimir la zona de enfriamiento y convertir la máquina "toda caliente".**

**Las secadoras europeas, sobre todo las francesas, se caracterizan por tener una zona de enfriado bastante menor, por ejemplo en muchas máquinas de aquel origen la**

**cámara de enfriamiento solo tiene un 10% del total del volumen (Figura 34).**

**Las razones que explican este menor tamaño hay que encontrarlas - como se dijo en un tema anterior - en la elevada humedad inicial del maíz. La gran evaporación de agua que se produce en estos casos, no permite que el grano se caliente en exceso y pueda ser enfriado con mayor facilidad. Téngase en cuenta que en Francia las humedades iniciales para el secado se encuentran entre 35 y 40%.**

**Por otra parte, debe tenerse presente que las temperaturas ambiente en aquellos países son más frías, lo que favorece el proceso.**

**Esta disposición, con cámaras de secado proporcionalmente mayores, mejora la capacidad de la secadora, a fin de adaptarla a diferentes humedades iniciales del grano.**

**Como una forma de mejorar el proceso, se recomienda que el aire frío del exterior atraviese la columna de grano por la pared externa de la misma, pues así el grano más caliente y sobresecado de la parte interna del plenum es enfriado a un ritmo menos severo que si el aire frío entrara por el lado interno. La proporción de fisurado o cuarteado de grano se reduce de esta forma.**

La proporción del enfriamiento en relación al calentamiento se puede calcular, conociendo los volúmenes de ambas cámaras, de la siguiente forma:

$$\frac{100 \times N}{M + N} = \%$$

Donde:

N es el volumen de la cámara de enfriamiento

M es el volumen de la cámara de calentamiento

## 10. Temperaturas máximas del grano

Siendo de tal importancia las temperaturas máximas que puede soportar un grano determinado, se recomienda tener muy en cuenta los valores respectivos, que Figuran, además, en el capítulo donde se trata del secado de cada especie agrícola.

Nellist (1986) aconseja las siguientes máximas temperaturas de grano.

	Humedad inicial %	Temperatura máxima °C
Grano para semilla,	18	67
cebada cervecera y	20	65
trigo para molienda	22	63
	24	61
	26	59
	28	57
	30	55
Granos para forraje		82 - 104

**Para maíz destinado a molienda húmeda en Estados Unidos no debieran superarse los 60°C, pero en Francia admiten 80-90°C para secadoras de caballetes, de diseño moderno.**

**Es oportuno establecer que si bien a mayor humedad inicial del grano, las temperaturas máximas que puede soportar el grano deben ser menores, esto no significa que también deben serlo las temperaturas del aire de secado.**



**Por ejemplo, al secar trigo con 30% de humedad inicial, destinado a la molienda, no se debe calentar el grano a más de 50°C, aunque es posible secarlo con aire a 80°C.**

**Sin embargo, para secar trigo con 18% de humedad, el grano puede soportar una temperatura de 67°C, pero el aire de secado no debe exceder los 70°C, debido a lo expresado en el inciso 6 de este capítulo.**

## **11. Medición de la temperatura de los granos**

**Para medir correctamente la temperatura de los granos, a la salida de la secadora, debe hacerse con un recipiente térmico, es decir, aislado suficientemente del exterior. Para ello, el recipiente se llena con el grano que sale de la secadora y se deja que se caliente durante un minuto. Se vuelca esa muestra y se vuelve a llenar con el grano que sale de la secadora. Se tapa con una tapa provista de UD termómetro y se mide la temperatura. En el comercio pueden conseguirse termos especiales para esta operación.**

**Las sondas para medir la temperatura dentro de la secadora, deben estar ubicadas en toda la altura de la torre. La más importante es la que se coloca en la**

**zona baja, justo antes de la cámara de enfriamiento.**

## **12. La descarga de granos**

**Esta es una operación fundamental en todas las secadoras continuas, particularmente en las máquinas verticales.**

**Como se ha expresado, esta parte de la secadora es la encargada de regular la velocidad del grano dentro de la misma, en función de la humedad inicial.**

**Pero además, interesa en forma primordial que la descarga se haga en forma pareja, de suerte que todos los granos fluyan uniformemente.**

**Son varios los sistemas empleados con estos fines. Uno es el sistema basculante, que tiene la posibilidad de variar la amplitud de las oscilaciones. Otro es el de roscas helicoidales, ubicadas debajo de las columnas de granos, cuya velocidad de rotación es regulable. Otras máquinas poseen rodillos con paletas en cada una de las pequeñas tolvas en que se divide toda la superficie horizontal de la descarga.**

**Siendo una sección tan importante es aconsejable que posea aberturas que se puedan abrir para inspección, las que también sirven para tomar muestras de granos.**

**En máquinas modernas la descarga es intermitente, es decir que cuando se acciona el mecanismo que abre las portadas o esclusas inferiores, por un tiempo breve que dura dicha descarga (a veces 1-2 segundos) se cierra el paso del aire de los ventiladores por algún sistema especial. Esto se efectúa para evitar la producción de una gran cantidad de polvo y de materias livianas.**

## **Bibliografía**

**ASAE. 1987. Construction and rating of equipment for drying farm crops. ASAE Standard: ASAE S 248.3**

**AGNESS. J.B. y ISAACS, G.W. 1967. Grain-drier control based on exhaust temperatura sensing. Transactions of the ASAE: 110 - 113. St. Joseph, Michigan, U.S.A.**

**GINER, S.A. 1990. Modelo matemático aplicable a diseño de secadoras. Jornada**

sobre diseño y optimización de secadoras de granos. APOSGRAN, Rosario, mayo. 22 p.

GUSTAFSON, R. 1986. Heat and mass transfer properties of grain. Grain Quality Newsletter, Vol 8, No 2, Sept. 19-23. Ohio State University, U.S.A.

LASSERAN, J.C. 1982. New developments in energy preservation for maize drying. Maize, Recent Progress in Chemistry and Technology, Academic Press Inc. 53

NELLIST, M.E. 1986. Secado de trigo en Gran Bretaña. I Congreso Nacional de Trigo, Pergamino, octubre. capítulo V: 33 -68

STROSHINE, et al 1986. Differences in grain quality among selected corn hybrids. Cereal Foods World, Vol 31, No 4: 311-316. April

---

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

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

---

## Capitulo V - Optimizacion de secadoras

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

## 1. Introducción

Bajo esta denominación se engloba a todo aquello que se puede realizar para mejorar el funcionamiento o desempeño de las secadoras. Este mejoramiento puede ser encarado desde dos aspectos: uno es aprovechar al máximo las posibilidades que ofrece la maquina tal cual ha sido fabricada, y el otro es efectuar distintas modificaciones o reformas en su diseño para modernizarla o perfeccionarla.

El primer aspecto será tratado al principio, y se refiere a las posibilidades que ofrece la secadora en su forma original, y que suelen estar indicadas - no siempre en los manuales de instrucciones y manejo provistos por los fabricantes.

## 2. Temperatura y caudal del aire de secado

Si uno desea aumentar el rendimiento de una secadora, entendiendo como tal el incremento de su capacidad de secado y de su eficiencia, tiene en general dos

**maneras:**

- 1) Aumentar la temperatura del aire de secado**
- 2) Aumentar el caudal de aire**

En general, pueden obtenerse las dos simultáneamente, siempre que se tengan en cuenta las recomendaciones sobre el deterioro de la calidad del grano.

El aumento de la temperatura del aire acelera el proceso de secado, pues reduce la humedad relativa del aire que adquiere, entonces, una gran capacidad secante. Es el argumento más empleado por los encargados de secadoras cuando se acumulan grandor, volúmenes de grano húmedo en las recepciones de la planta.

Este aumento se consigue con una mayor inyección de combustible al quemador, tema que se ha tratado más ampliamente en el Capítulo III, y con otros procedimientos.

El aire se usa en dos formas en las secadoras. Hay un aire primario, que se emplea para producir la mezcla con el combustible en el quemador y originar, entonces, la combustión. Es engendrado por un pequeño ventilador accionado por motor eléctrico de poca potencia. De este aire no se ocupa este capítulo.

**El aire secundario es el encargado de secar y enfriar el grano, producido por los grandes ventiladores de aire caliente y de aire frío. El aire caliente juega un doble rol, por un lado transporta calor hacia los granos, y por el otro arrastra vapor de agua hacia afuera, es decir, realiza una transferencia de calor y masa.**

**Según Miller (1984), al aumentar en una secadora de caballetes, la temperatura del aire de secado de 60 a 120°C, se redujo el consumo específico de energía de 1 140 kcal/kg a 1 025 kcal/kg, y se aumentó la capacidad de secado en 155%, aunque también aumentó la temperatura del grano.**

**También según Miller (1984), el aumento del caudal de aire en tres veces, incrementó el consumo específico de energía en 31%, pero la capacidad creció un 130%, aunque este último aumento fue proporcionalmente menor que el incremento de energía. La eficiencia es menor debido a las pérdidas de calor en el aire usado cuando el caudal aumenta.**

**Por el contrario, un caudal más débil va a reducir el consumo de energía, pero se prolonga el tiempo de secado. Esta reducción del consumo se debe a una mejor saturación del aire usado. Para compensar la pérdida de capacidad de secado, además de aumentar la temperatura del aire, se debería aumentar el volumen de grano en toda la máquina.**

**Nellist (1982) también afirma que trabajando a altas temperaturas se puede reducir el caudal, lo que disminuye la potencia necesaria en los ventiladores, y a su vez restringe la contaminación exterior.**

**El mismo autor (Nellist, 1986) presenta un interesante gráfico (Figura 30) donde se presenta la influencia que tiene la humedad inicial del grano y la temperatura del aire de secado sobre el consumo específico de energía y la capacidad de secado, para una secadora de flujo cruzado.**

**Otra ventaja de las altas temperaturas surge de los trabajos de Isaacs y Muhlbauer (1975), que indicaron que a altas temperaturas poco interesa la saturación parcial del aire usado, pues los consumos específicos de energía de esas temperaturas se igualan mucho a pesar de los diferentes porcentajes de saturación. No sucede lo mismo cuando se emplea el secado a baja temperatura o con aire natural.**

**Según Barre et al (1971), las equivalencias entre temperatura del aire de secado y el caudal específico son las siguientes, para obtener la misma eficiencia energética:**

49°C	62	m <sup>3</sup> /min/ton
71°C	88	m <sup>3</sup> /min/ton



93°C	118	m <sup>3</sup> /min/ton
116°C	153	m <sup>3</sup> /min/ton

Pasar de 93°C a 116°C duplica el calor añadido por unidad de aire (para una temperatura ambiente de 27°C) y casi duplica la cantidad de aire que puede ser usado sin pérdida de eficiencia; todo lo cual casi cuadruplica la capacidad de secado; pero la severidad del secado también aumenta, lo que debe ser tenido en cuenta.

[Figura 30. Relación del contenido inicial de humedad y la temperatura del aire de secado sobre el consumo específico de energía y la capacidad de secado \(Doc. Nellist\)](#)

Debe aclararse que cuando se habla de temperatura del aire de secado se refiere a la que tiene cuando ingresa a la cámara de secado. En la mayoría de las secadoras esta temperatura se mide en el plenum de aire caliente, la cual puede ser mayor que aquella. Es importante referirse a temperatura promedio y no a la de solo uno o dos puntos (ver además el Capítulo V - 7).

Muchas secadoras de diseño antiguo tienen caudales de aire caliente bastante altos, pues en general, trabajan con menores temperaturas del aire de secado. Por dicha causa están equipadas con grandes ventiladores centrífugos, que significan un

**mayor consumo de electricidad, y también mayores pérdidas de calor por más cantidad de aire usado que se elimina.**

**Secadoras modernas, de mejor diseño, utilizan mayores temperaturas de secado con caudales más reducidos, ventiladores menos poderosos, y combinando el trabajo por impulsión con aspiración del aire.**

### **3. Regulación del caudal de aire**

**Además de las indicaciones anteriores, es necesario regular el caudal cuando se secan granos de menor tamaño o más livianos, refiriéndose a las secadoras de caballetes y de cascadas, por el peligro de arrastrar granos con el aire usado. Este problema no existe en las secadoras de columnas, por tener el cereal encerrado entre las dos paredes de chapa perforada.**

**En las secadoras de caballetes y de cascadas no se puede utilizar el mismo caudal empleado para maíz que para trigo y otros cereales finos ni para calza, girasol, etc.**

**Los sistemas de regulación son de variados tipos: registros o persianas destinadas a**

**obstruir parcialmente la boca de aspiración del ventilador, cambio de las poleas en la transmisión del motor al ventilador (si fuera de este tipo), paletas orientables delante de la boca de aspiración del ventilador, variador electrónico de velocidad a frecuencia variable y pequeñas persianas móviles que obturan la entrada de aire caliente a los caballetes.**

**Los caudales de aire se expresan en  $m^3$  por minuto y varían, para las secadoras comerciales, entre 400 y 5 000  $m^3$ /min, de acuerdo al tamaño de la máquina y a la potencia de los ventiladores. Los caudales específicos de aire se expresan en  $m^3$ /min y por tonelada o por  $m^3$  de grano, y se obtienen dividiendo los caudales en  $m^3$ /min por el volumen de grano en proceso; también se pueden indicar en  $m^3$ /hora por  $m^3$  por t.**

**El motor que acciona un ventilador conviene que tenga una potencia nominal alrededor del 30% superior a la potencia requerida por el ventilador, para que posea una reserva suficiente de potencia.**

## **4. Optimización de secadoras existentes**

En países como Argentina, es común que gran parte de las secadoras este formada por máquinas de una cierta antigüedad y de un diseño poco satisfactorio. En esta segunda parte se describirán diversas modificaciones que pueden mejorar ostensiblemente su desempeño.

Si bien lo ideal sería reemplazar esas secadoras por máquinas modernas, ello no siempre podrá ser posible, en parte por el alto costo de las inversiones necesarias y por otra parte, debido a que los nuevos modelos no siempre constituyen un adelanto significativo con respecto a las secadoras existentes.

La optimización de secadoras es, finalmente, hacer todo lo posible para mejorar su funcionamiento y su rendimiento por medio de reformas que las actualicen.

Eso sí, resulta conveniente calcular el tiempo de amortización de la inversión necesaria para las modificaciones. Si este período es superior a 5 años, es preferible el reemplazo de la secadora por una nueva que las tenga incorporadas.

Esta optimización puede llevarse a cabo, a su vez, de dos maneras. La primera se refiere a valerse de diversos procedimientos de secado, como los conocidos como secageación (dryeration), secado en dos pasadas, secado combinado, etc., que son muy recomendados por los beneficios que reportan. Debido a la importancia de estos

**métodos de secado se tratan en este libro como capítulos separados.**

**La otra manera, que puede hacerse también en forma simultánea con los métodos mencionados, es la aplicación de diversas técnicas, las que se describen a continuación.**

## **5. Recuperación de calor**

**La mayoría de las secadoras expulsan hacia el exterior el aire usado que ha atravesado la masa de los granos. Parte de este aire está caliente (unos 50°C) y poco saturado de humedad. Si fuera recirculado, es decir, si se lo utilizara nuevamente para aprovechar ese calor residual y esa escasa saturación incorporándolo a la corriente de aire que ingresa al ventilador o al quemador, o empleándolo para precalentar los granos húmedos, se puede conseguir una apreciable reducción del consumo energético, pues se elimina gran parte de la insaturación de humedad del aire, permitiendo que éste sea expulsado bien saturado. En otras palabras más técnicas, la secadora se hace más eficiente térmicamente.**

**Por ejemplo, una secadora que rinda unas 1 300 kcal por kg de agua evaporada, puede**

ser reducida a 1 100 kcal/kg, o sea un ahorro de un 15%, empleando recuperación del aire usado, lo que puede significar una reducción también del costo del secado.

Giner (1990), en unas experiencias con modelos matemáticos, ha encontrado una reducción del 35% en el consumo específico de energía con reciclado de aire usado, y también de 35% la disminución del consumo de combustible. En cuanto a la capacidad de secado se redujo un 7%, porque el aire ingresado está más húmedo.

Generalmente, se aprovecha el aire que atraviesa la parte inferior de la sección de secado y la parte superior de la sección de enfriado, pues es el que está menos saturado de humedad. En otras secadoras se emplea la mitad inferior de la cámara de secado y toda la sección o cámara de enfriado.

Observando la Figura 31 se pueden deducir las razones por las cuales se recicla el aire de las partes mencionadas.

La curva "a" expresa cómo va disminuyendo la saturación del aire a medida que se desciende en la cámara de secado. En la parte superior el aire sale casi saturado, pero al atravesar la parte inferior (punto B), su saturación es muy escasa, pero está caliente. Lo contrario sucede con el aire en la sección de enfriado. En el punto C el aire sale también muy poco saturado, pero caliente igualmente. A medida que

atraviesa la parte inferior, sale más saturado y más frío.

El aire que abandona la secadora en la región entre D y E es el más apto para ser reciclado, pues lleva poca humedad y está caliente (unos 50°C), es decir tiene todavía una aceptable capacidad de secado.

Un correcto diseño de recirculación del aire usado puede significar que un buen porcentaje del agua en el grano se elimina sin gastar combustible.

Se conocen dos tipos de recirculación o reciclaje del aire: parcial y total.

### [Figura 31. Aire útil para reciclar](#)

La recirculación parcial es más simple y consiste en enviar el aire usado hacia una cámara de mezclado situada entre la cámara de combustión y la precámara o plenum de secado. Si el aire reciclado está a 50°C y el aire caliente a 130°C, la mezcla puede estar a 110°C. Esta reforma es relativamente sencilla de realizar adaptándose mejor para secadoras de combustión directa (Figura 32).

Sin embargo, en secadoras antiguas o de diseño poco racional, la calidad del aire usado puede no ser satisfactoria, pues emerge a menor temperatura (menos de

**40°C), lo que no justifica siempre los gastos de inversión.**

**La recirculación total es más compleja y está relacionada con el empleo de temperaturas diferenciales, como se explica a continuación.**

### **[Figura 32. Secadora con reciclado parcial \(Doc. Margarita\)](#)**

**Es conveniente emplear mayores temperaturas del aire de secado en la primera parte de la sección de secado, donde el grano está más húmedo, y menores temperaturas en la segunda parte, cuando el grano está más seco, refiriéndose en especial al maíz.**

**Cuando el grano está húmedo puede soportar un aire más caliente, pues de esa manera se producirá una pérdida de humedad más rápida, y el grano no se calentará demasiado, pues al evaporar agua se produce una absorción de calor y por ende un mayor enfriamiento.**

**En cambio, cuando el grano ha perdido buena parte de su humedad, ya no hay tanta evaporación de agua, y el grano puede calentarse excesivamente con el consiguiente**



**deterioro de su calidad, lo que puede suceder en la parte inferior de la torre de secado.**

**El uso de esas temperaturas diferenciales otorga también un mejoramiento del rendimiento térmico de la secadora, que puede estar alrededor del 15%.**

**Sin embargo, es probable encontrar máquinas antiguas en las que las temperaturas se encuentran en forma opuesta a lo manifestado, es decir, mayores en la parte inferior que en la parte superior. Debido a un diseño en exceso simplificado, producen temperaturas del aire más elevadas en la parte inferior, por estar más cercanas a los quemadores. Su consumo energético es mayor y pueden dañar en demasía la calidad del grano (Figura 33).**

### **[Figura 33. Temperaturas diferenciales incorrectas y correctas](#)**

**Unos trabajos de investigación realizados en la provincia de Santa Fe (Grupo de Estudios sobre Energía, 1988, y DAT, 1988) han demostrado que la distribución de las temperaturas de secado y de los caudales de aire de las secadoras ensayadas se presentaba en forma similar a lo expresado en el párrafo anterior. Con algunas reformas en las máquinas se redujo en forma apreciable el consumo específico de energía, y se aumentó la capacidad en toneladas/hora.**

La Figura 34 ilustra una secadora que combina la recirculación del aire con temperaturas diferenciales, proveniente de la tecnología francesa. El quemador B calienta el aire a 120°C, que impulsado por el ventilador A, atraviesa la masa de grano en la parte inferior de la secadora. El aire usado sale a 50°C, pasa por los filtros de mangueras C y es recalentado a 120°C por el quemador extra D, cruza la parte superior de la masa de granos y sale al exterior por E.

[Figura 34. Secadora con temperaturas diferenciales y recirculación de aire \(Doc. Roulin\)](#)

La secadora de la Figura 34 debe contar con algún tipo de filtro (como el que aparece en la Figura 35 para detener las impurezas que arrastra el aire que atraviesa la masa de granos, para evitar el peligro que se prendan fuego y puedan causar incendios.

Cuando se emplean filtros de este tipo hay que prever mallas filtrantes adecuadas para evitar que se colmen de impurezas muy seguido, y puedan reducir en forma considerable los caudales de aire: igualmente se debe tener cuidado con la limpieza periódica de los filtros y su reemplazo oportuno.

[Figura 35. Filtro de aire usado \(Doc. ITCF\)](#)

**Entrada aire sucio; Salida aire limpio; Mangas de tela filtrante; Recepci3n del polvo**

**La Figura 36 ilustra otro sistema de recirculaci3n del aire. Del aire fresco exterior (1) que ingresa, una parte atraviesa la zona de enfriamiento y el resto es calentado por el quemador B y atraviesa la masa de granos a partir de arriba. El aire usado (3) de la parte inferior y del enfriamiento es mezclado con aire caliente (2), por medio del ventilador V. El aire saturado (4) es expulsado al exterior por el ventilador V2.**

**Otra posibilidad ventajosa que ofrecen las temperaturas diferenciales es la de poder aumentar el caudal de aire en la parte superior, y reducirlo en la parte inferior, a fin de saturar mejor el aire.**

### **Figura 36. Otro sistema de recirculaci3n de aire (Doc. LAW)**

**Foster (1982) dice que la eficiencia ganada por la recirculaci3n del aire lo es parcialmente a expensas de la capacidad de secado, porque dicho aire est3 ya algo esturado de humedad y su capacidad de secado, entonces, se reduce. Para mantener la capacidad - dice - deber3a aumentarse la potencia de los ventiladores o el volumen de la secadora. Pero combinando estos sistemas de recuperaci3n de calor con seca-airaci3n se puede conseguir, adem3s, un aumento importante de la capacidad de secado.**

**Bakker-Arkema (1982) llevó a cabo diversas experiencias en la Universidad de Michigan y concluyó que la recirculación del aire, en secadoras de flujo cruzado, produjo mejoras en la eficiencia térmica entre 35 a 45%, pero con una reducción entre 10 y 15% de la capacidad de secado.**

**Hay que reiterar que las temperaturas del aire indicadas en algunos párrafos anteriores se refieren a condiciones imperantes en Francia para maíz y para diseños modernos de secadoras. En Argentina, estas temperaturas serían excesivas, sobre todo para granos como soja, trigo y girasol.**

**También debe advertirse que en el caso particular de maíz destinado a molienda seca o molienda húmeda, si su humedad inicial es superior a 30%, la temperatura del aire en la parte superior no debiera ser mayor de 100°C. Para otros granos se recomienda leer la parte correspondiente al secado de cada cultivo (Capítulo IX) y también el Capítulo X - 11.**

## **7. Uniformidad y estabilidad de las temperaturas**

**Al hablar de temperaturas diferenciales, debe hacerse notar que si bien en una**

sección dada de la secadora puede convenir una temperatura menor que en otra sección, es fundamental que en un plano horizontal las temperaturas sean uniformes.

En secadoras convencionales, de un diseño no muy racional, se encuentran lugares donde la temperatura puede llegar a 90°C, mientras que otros muy cercanos, en sentido horizontal, alcanzan a 140°C; sin embargo esa secadora puede tener un termómetro que indica una temperatura "promedio" de 100°C.

Hay que decir, también, que existen secadoras que tienen varios quemadores a distintas alturas de la torre de secado, y que cada uno suministra una temperatura determinada y uniforme, que van descendiendo desde arriba hacia abajo (Figura 37), situación que favorece una mejor eficiencia de la máquina.

En definitiva, en una secadora continua, tipo torre, bien diseñada, debe haber uniformidad horizontal, pero puede tener temperaturas diferenciales de arriba hacia abajo.

[Figura 37. Secadora con quemadores a diferentes alturas y con precalentamiento superior del grano \(Doc. Margarita\)](#)

Pero igualmente es trascendente que haya una estabilidad en el tiempo de todas esas

**temperaturas, estabilidad en el período de todo el ciclo de secado. Suele suceder que luego de una extracción, cuando en algunas máquinas las tapas están cerradas, se pueden producir elevaciones peligrosas de temperatura con respecto a las prefijadas, con el consiguiente efecto sobre la calidad del grano.**

**En ciertas secadoras sucede el siguiente problema: el aire exterior, cuando se encuentra con los gases muy calientes de la combustión, no tiene suficiente tiempo ni espacio para mezclarse uniformemente con dichos gases, de manera que al penetrar en la masa de granos, esa mezcla tendrá diferentes temperaturas en distintos lugares, lo cual, por supuesto, no origina un secado parejo. Esta situación puede mejorarse instalando un cámara mayor de homogeneización que a su vez puede servir para conducir el aire caliente hacia la parte superior, como se aconseja. Esta solución se ha aplicado a una secadora argentina, como se observa en las Figuras 38 y 39.**

**Del mismo modo, las velocidades débiles del aire no son capaces de crear las necesarias turbulencias para asegurar una rápida mezcla de los filetes de aire a diferentes temperaturas, estado que se crea por fallas en el diseño de la secadora.**

**[Figura 38. Esquema original de la secadora \(Doc. UTN Rosario\)](#)**

**[Figura 39. Esquema de la reforma realizada \(1\)oc. UNT Rosario\)](#)**

## 8. Calor latente del vapor de agua

El aire usado es, en definitiva, una mezcla de gases, de aire caliente con una cierta cantidad de vapor de agua. Cuando se recicla el aire usado **sólo se aprovecha el calor que lleva, pero no se utiliza el calor latente que porta el vapor de agua. Debe recordarse que el calor necesario para la evaporación del agua constituye el rubro de mayor consumo en el requerimiento energético.**

Este calor latente **sólo puede ser recuperado por una condensación, es decir, licuarlo para obtener calor que pueda emplearse para calentar aire exterior antes de ingresar a la secadora. Para ello se requiere una batería de condensación, o el empleo de una bomba de calor, métodos que, sin embargo, no son todavía económicamente convenientes.**

## 9. Pre calentamiento

**Otra forma de recuperación de calor es el precalentamiento del grano antes de entrar a la secadora, o el precalentamiento del aire exterior antes de entrar al quemador.**

**Precalentar el grano es conveniente porque se necesita una buena cantidad de energía para UD calentamiento inicial del grano en la propia secadora. Si el grano ya llega algo caliente a la secadora, se acorta esa etapa primera y la máquina empezará a secar más pronto.**

**El grano puede estar sobre la parte superior de la máquina, en un predeposito especial, para ello debe conducirse el aire usado a través de conductos apropiados hacia los lugares donde está el grano, y atravesar la masa de éste. Pero el aire no debiera estar muy saturado ni el grano muy frío, porque si lo estuvieran, se condensará la humedad sobre el grano, lo que requerirá energía para extraer la humedad agregada. En esta situación se ganará muy poca eficiencia.**

**Toftdahl Olesen (1987) expresa que el precalentamiento del grano húmedo es conveniente para mejorar la eficiencia del proceso. Esto se debe a que el grano precalentado favorece la igualización de humedades dentro del grano, ayudando así a una más rápida evaporación de la humedad. Dice que se consigue mayor eficacia cuando el precalentamiento se produce por un flujo concurrente de aire caliente y grano frío en la parte superior de la secadora.**



La otra forma consiste en precalentar el aire exterior, que puede hacerse de dos maneras: una, haciendo entrar el aire exterior por la parte alta de la secadora, donde existe una elevada temperatura, a fin de que aquí se caliente algo. Para evitar un aumento de las pérdidas de carga, las superficies necesarias para esa entrada de aire deben ser de tales dimensiones que la velocidad del aire no exceda de 2 m por segundo. En la práctica se toma como sección de entrada que corresponde a la superficie total de las bocas de aspiración de los ventiladores multiplicada por 6.

El otro sistema utiliza un intercambiador, ubicado antes del generador de aire caliente, donde el aire usado caliente a unos 50°C sirve para calentar el aire frío exterior (Figura 40). Es posible elevar así unos 20°C la temperatura del aire exterior.

En estos sistemas siempre debe tenerse en cuenta un balance rentable, o sea que la economía de energía compense los sobrecostos de inversión.

[Figura 40. Recalentamiento del aire exterior \(Doc. ITCF\)](#)

## 10. Aislación de paredes

**Dentro de las causas que originan pérdidas de calor en las secadoras se encuentran los fenómenos de convección y radiación a través de las paredes.**

**Este problema se presenta con mayor virulencia en países de clima frío, lo cuales, en su mayoría, producen secadoras con capas aislantes en las partes más expuestas.**

**En Argentina, el caso no es tan sencillo, pero como la mayoría de las máquinas no tienen buena aislación, las pérdidas de calor evidentemente existen.**

**Experiencias realizadas en el DAT (1988) señalan una pérdida total del orden del 6%. En ese trabajo se presenta una fórmula para calcular dichas pérdidas también se presenta un gráfico en que, conociendo la temperatura de la chapa de la pared, la temperatura exterior y la velocidad del viento, se pueden calcular esas pérdidas de calor, expresadas en litros de gasoil por hora.**

**La velocidad del viento tiene buena importancia en estos valores, pero hay que tener en cuenta que no todas las caras de la máquina están expuestas al efecto viento en forma similar.**

**Los materiales aislantes que pueden usarse son varios: capas de lana de vidrio, de 3 a 6 cm de espesor, espuma de poliuretano, amianto, capa de aire estático, etc. En las**

**pruebas del DAT se emplearon placas rígidas de lapa mineral aglomerada con resinas termoendurentes de densidad 100 y espesor de 3,8 cm, protegidas exteriormente a su vez con chapa galvanizada N°24.**

**Las partes aisladas fueron las cámaras de alimentación y homogeneización del aire caliente y los autores manifestaron que la inversión se podía recuperar en 900 horas de trabajo de la secadora.**

**Es factible que en secadoras antiguas se obtenga un mayor beneficio económico realizando la aislación de las paredes que adaptándolas para hacer recirculación del aire usado**

**En el tema "Regulación de quemadores" se hace referencia a la aislación de las cámaras de combustión.**

**Algunos modelos de secadoras, por particularidad de un diseño moderno, tienen muy escasas pérdidas por radiación o convección hacia el exterior. En la Figura 41 se observa una secadora de columnas, cuyos generadores de calor y ventiladores se encuentran dentro de la máquina, de manera que las corrientes de aire caliente no estén rozando paredes en contacto con el aire exterior.**

## 11. Caudal de aire en presión o en depresión

Como es sabido, el aire caliente o frío puede ser movido por ventiladores funcionando en presión o en depresión. Los primeros impulsan el aire por presión para atravesar la masa de grano, y están ubicados delante o antes de las cámaras de secado y enfriamiento. Los segundos aspiran el aire y están casi siempre ubicados después de las cámaras.

[Figura 41. Secadora con escasas pérdidas de calor por radiación al exterior y con recirculación de todo el aire usado del enfriado \(Doc. MGR\)](#)

Los ventiladores del primer grupo fueron los primeros en ser utilizados en secadoras, y eran, generalmente, de gran potencia y del tipo centrífugo. En la actualidad también existen ventiladores axiales trabajando en impulsión de aire, por ejemplo, a diversas alturas de la torre de secado (Figura 37).

Los ventiladores que trabajan en aspiración son, en general, de menor potencia y pueden estar colocados en toda la altura de la torre de secado. Su montaje es también más simple y, por ende, son más económicos (Figura 42).

## Figura 42. Secadora trabajando en aspiración. Las cuatro turbinas aspiran el aire, extraen el polvo y reducen considerablemente el ruido (Doc. Cimbría)

Estos ventiladores o turbinas en aspiración pueden reducir las pérdidas o fugas de aire por filtraciones que suelen producirse en las máquinas trabajando a presión. Por otra parte, adecuadamente distribuidos en toda la torre de secado, permiten mantener una mejor distribución de las temperaturas del aire, lo cual es fundamental en una secadora eficiente.

La aspiración puede proporcionar otras ventajas, como reducir la presión estática dentro de la máquina, y eliminar con más seguridad el aire húmedo usado, lo cual disminuye mucho las condensaciones de humedad en el interior de la secadora.

Las pérdidas por filtraciones arriba mencionadas se originan en los conductos de entrada y cámaras de aire caliente de la secadora. En las máquinas cuyos ventiladores trabajan por impulsión, algo de aire caliente escapa por dichas filtraciones, disminuyendo de esta forma el caudal de aire caliente que debe atravesar los granos.

Sin embargo, las secadoras en aspiración, según Sufer (1988), también pueden tener problemas con filtraciones: si estas se producen antes de la cámara de secado,

**originan una disminución de la temperatura de los gases. Las que se producen después de la cámara de secado contribuyen a disminuir el caudal de gases calientes que pasa por esta cámara.**

**La solución está en obturar todas esas aberturas o fugas por donde se producen las pérdidas, atención que debe ser tenida en cuenta en un mantenimiento normal.**

**Pero las secadoras trabajando en aspiración también pueden tener otros inconvenientes, como que no mezclen bien el aire caliente y frío, situación que puede ocasionar UD secado más desuniforme. Esto tiene solución con una correcta distribución de los ventiladores o turbinas en la torre de la máquina.**

**Otro problema es que los ventiladores pueden tener dificultades de mantenimiento pues están succionando aire caliente y húmedo.**

**Algunos fabricantes emplean los dos sistemas, impulsión para el aire caliente y aspiración para el aire usado (Figura 36).**

**Un sistema funcional se observa en la Figura 43. Se refiere a un equipo combinado de ventilador y extractor de polvo, que puede usarse como turbina de aspiración para las secadoras.**

El aire usado, que ha atravesado los granos, ingresa por la boca (1), luego pasa al ventilador (2), donde se incrementa la presión estática del aire, y éste es sometido a rotación. La rotación es, entonces, acelerada por las paletas de guía (3).

La fuerza centrífuga originada por esta fuerte rotación impulsa las partículas de polvo hacia la periferia del equipo, separándolas de la corriente principal de aire. Las partículas separadas de polvo pasan por un separador espiral (4) y después a un pequeño ciclón (5). En este último el polvo es separado de un poco de aire secundario que resta, aire que a través de un conducto de recirculación (6) vuelve a la boca de entrada.

El polvo cae a través del fondo (7) del ciclón hacia cualquier recipiente adaptado para almacenar polvo y basuras.

El aire limpio sale al exterior por el otro extremo del equipo.

[Figura 43. Ventilador o turbina de aspiración y extractor de polvo \(Doc. Svegma\)](#)

## 12. Módulos de secado

Una innovación tecnológica que se ha desarrollado en máquinas actuales, es la construcción de módulos independientes, de igual tamaño, que se pueden colocar uno encima del otro, para aumentar el volumen de la máquina y, en consecuencia, su capacidad horaria.

En la Figura 44 se observa una secadora formada por la acumulación de tres módulos; en realidad cada módulo es una secadora individual, con sus propios quemadores y ventiladores.

[Figura 44. Secadora de tres módulos superpuestos \(Doc. Farm Fans\)](#)

Pero también puede existir otro tipo de combinación de módulos o secadoras, como se ve en la Figura 45, donde se han acumulado tres secadoras en forma lateral en un mismo gran cuerpo, con lo que consigue una gran capacidad de trabajo.

[Figura 45. Tres secadoras en un solo cuerpo \(Doc. Berico-Behlen\)](#)

---

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

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



## 13. Mejoras en secadoras de columnas

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

En las secadoras de columnas, si se aumenta el ancho de las columnas, se reduce el caudal, lo que concede más tiempo de contacto entre aire y grano. En cualquiera secadora, incrementar la relación de volumen de grano a volumen de aire, significa alargar dicho tiempo de contacto y mejorar la eficiencia Sin embargo, generalmente, se aminora la capacidad de secado.

También puede mejorarse la eficiencia si el espesor de la columna de grano se ensancha por etapas a medida que el grano se mueve hacia abajo y se va secando. Esta configuración se justifica porque el grano está muy húmedo en la parte superior de la máquina y el aire de secado recoge una carga bien completa de humedad. A medida que se seca el grano se necesita más tiempo de contacto del aire coa el grano para que se sature, lo cual se consigue ampliando el ancho de las columnas (Figura 46).

[Figura 46. Secadora de columnas con inversión del grano y ensanche de columnas](#)

El espesor de las columnas se suele limitar a unos 3040 cm en la parte superior,

porque si fuera mayor, en caso de ma**¿**nces muy h**¿**medos, el aire se saturar**¿**a f**¿**ácilmente, y se podr**¿**a formar condensaci**¿**ón de agua en las proximidades de la salida del aire. Adem**¿**s, si las columnas son muy anchas, aumenta la desuniformidad de secado.

Tambi**¿**n, con el prop**¿**sito de mejorar la uniformidad, se suele invertir el sentido de ingreso del aire caliente en la columna, de derecha a izquierda en una primera secci**¿**ón y de izquierda a derecha en una segunda. Pero esta mejora no puede hacerse en todas las secadoras, por ejemplo, en aquellas donde las columnas est**¿**n rodeando el plenum de calor.

En estos casos, se incorporan unos accesorios en algunos niveles de la columna que invierten la posi**¿**ción del grano; el grano m**¿**s seco que se encontraba m**¿**s cercano a la pared por donde ingresa el aire caliente, es invertido hacia la otra pared, y reemplazado por el grano m**¿**s h**¿**medo (Figura 46). De esta forma, se mejora bastante la uniformidad de secado en las secadoras de columnas.

Tambi**¿**n el mecanismo descargador de la m**¿**quina puede estar dise**¿**ado de tal manera que la remoci**¿**ón del grano sea m**¿**s r**¿**pida en la pared de la columna donde ingresa el aire caliente que en la otra.

**La secadora de la Figura 47 tiene otra ventaja. El ventilador interno aspira aire frío del exterior para que atraviese la columna en la sección de enfriado, así enfría el grano y a la vez el calor remanente del aire usado es recirculado. Eso sí, habrá que tener mayores precauciones con los restos vegetales y polvillo que entren al plenum de la máquina.**

**La disposición del quemador y del plenum en esta secadora permiten obtener que el aire más caliente se dirija a la parte superior, como se recomienda. La limitación de este equipo es que no puede ser transformado a "todo calar" (a seca-aireación).**

**En algunas marcas se han reemplazado las paredes perforadas de las columnas por mallas de alambre tejido, porque se considera que estas últimas no se obstruyen con tanta facilidad como sucede con placas agujereadas, y porque ofrecen menos resistencia al paso del aire.**

**En otros casos las propias paredes perforadas han sido recubiertas con mallas finas de alambre tejido, para poder albergar semillas de muy poco tamaño, como calza, alfalfa, y otras similares.**

**[Figura 47. Secadora con aprovechamiento del aire usado de la cámara de enfriado \(Doc. Brooker\)](#)**

## 14. Mejoras en secadoras de caballetes

Una de las dificultades que suelen observarse en ciertas secadoras de caballetes es el pasaje o escurrimiento hacia abajo de los granos en forma desuniforme o despereja, situación que significa que habrá granos que descenderán a diferente velocidad, los más rápidos se secarán incompletamente y los más lentos pueden sobresecarse.

La causa de este defecto se debe a la forma y disposición de los caballetes, es decir, a un diseño inadecuado de los mismos.

En la Figura 48 se observa una distribución particular de los caballetes, en los que ha podido medirse que las capas de grano 1 y 5 tienen UD descenso lento, mientras que las capas 2, 3 y 4 tienen un descenso rápido. En los ensayos realizados en la Estación Experimental de Boigneville, del ITCF (ITCF, 1989) encaminados a resolver estos problemas, se ha logrado obtener diseños más satisfactorios, no sólo en la forma de los caballetes sino en su disposición.

**[Figura 48. Escurrimiento de granos en secadoras de caballetes \(Doc. ITCF\)](#)**

Se han recomendado los caballetes con un ángulo superior de 50° y con los rebordes inferiores hacia adentro. Además dichos estudios aconsejan sustituir la configuración clásica de una línea de caballetes de aire caliente y una de caballetes de aire usado, por una combinación en que se hacen cambios a 180° y con zonas neutras y de templado o homogeneizado.

Algunas marcas de secadoras (Figura 49) han incorporado en la cámara de secado caballetes de ancho variable (de mayor a menor) para el ingreso de aire caliente, con el fin de asegurar una velocidad constante del aire a lo largo de todo el caballete, y conseguir así una distribución más pareja del aire.

#### [Figura 49. Secadora con caballetes de ancho variable \(Doc. Svegma\)](#)

Otra disposición que se ha incluido en algunas secadoras es la posición cruzada de los caballetes (Figura 50). Según sus constructores este diseño separa la masa de granos en capas más delgadas que permiten una mejor mezcla del grano y un contacto más íntimo con el aire, condiciones que originan una máxima uniformidad de secado. También se asegura que esta disposición de caballetes aumenta la rigidez estructural de la torre de granos.

#### [Figura 50. Caballetes cruzados \(Doc. Aeroglide\)](#)

**Pero esta distribución, al tener los caballetes del aire usado dos salidas, una para cada lado, reduce la presión del aire, de tal forma que se puede eliminar en gran proporción el peligro de arrastrar granos hacia el exterior, que es un problema en las secadoras de caballetes.**

**Los caballetes superiores, los mas cercanos a la carga de muchas máquinas, suelen tener un mayor desgaste debido al fuerte rozamiento de los granos. En este caso suelen ser reforzados con chapa de mayor espesor o por UD metal más resistente.**

## **15. Periodos de templado**

**Algunas secadoras han incorporado uno o más periodos de reposo o "tempering" en la torre de secado, ubicados entre etapas de la cámara de secado. En ese recorrido, el grano no recibe aire caliente, y tiene cierto tiempo para equiparar en alguna proporción las diferencias de humedad y temperatura en su masa, reduciendo de esa forma las tensiones internas. Se afirma que de esta manera se disminuyen las fisuras del grano y se mejora la uniformidad de secado. (Figura 51).**

**Algunos investigadores (Spooner, 1985; Zhang and Litchfield, 1991) han manifestado**

que estos períodos de reposo, antes de la cámara de enfriado, han reducido considerablemente la susceptibilidad del maíz a la rotura, o han acortado el tiempo neto de secado, así como el consumo específico de energía.

### [Figura 51. Secadora con períodos de reposo \(A\) \(Doc. SO.CO.A.\)](#)

Sin embargo, otro autor, como Lasseran (1993) dice que no se observaron ventajas en la calidad del grano al aumentar las zonas de reposo y que, por el contrario, se redujo la capacidad de secado al disminuir la zona de secado.

En ciertos modelos de secadoras se requiere tener áreas de reposo cuando las direcciones de los flujos de aire son opuestas (para mejorar la uniformidad de secado) a fin de evitar interferencias nocivas en la circulación del aire.

## 16. Control automático de secadoras

En la mayoría de las secadoras, el control de la misma es manual. El operario debe medir periódicamente la humedad de salida de los granos para regular el dispositivo descargador de la máquina para adecuarlo a la humedad de entrada. Cuando ingresa

**grano de mayor humedad se debe reducir la velocidad de descarga de grano seco (para que el grano tenga más tiempo de permanencia dentro de la secadora). Si luego ingresa grano con menor porcentaje de humedad, se produce al contrario, acelerando la velocidad de descarga, pues, de no hacerlo, el grano saldrá sobresecado.**

**Esta operación obliga a una atención constante de la máquina, en particular cuando las humedades de ingreso son muy variables.**

**Por estas razones, desde hace tiempo se ha pensado en desarrollar algún sistema que permita automatizar este trabajo. Hace algunos años se han presentado algunos controles que trabajan satisfactoriamente. En general, se trata de medidores automáticos que miden continuamente la humedad de entrada y de salida del grano de la secadora. Con estos datos, por medio de dispositivos electrónicos accionados por microprocesadores y computarizados, se manda una orden al sistema de descarga para que acelere o reduzca el caudal de salida del grano seco.**

**Este procedimiento permite que la humedad de salida del grano permanezca muy cercana a las consignas de humedad fijadas; cuando el control es manual, esas humedades presentan variaciones superiores, o sea que se manifiesta un secado más desuniforme.**



Un sistema desarrollado hace un tiempo en Canadá (Chenoweth, 1987) toma aproximadamente diez mediciones por segundo, que introduce en la consola principal del equipo, la cual envía la información necesaria al motor que acciona la descarga de la secadora. El sistema está conectado a una computadora y enlazado con las oficinas de los fabricantes, de suerte tal que los problemas que puedan presentarse en su funcionamiento pueden ser consultados y a veces resueltos telefónicamente (Figura 52).

[Figura 52. Equipamiento para control automático de secadoras \(Doc. Dryer Master\)](#)

Otro sistema de control automático de la humedad, ya usado desde hace varios años, consiste en medir la temperatura del aire usado al salir de la cámara de secado, de acuerdo a valores fijados por el fabricante. Del mismo modo, el sistema acciona sobre el mecanismo de descarga para mantener el contenido de humedad predeterminado.

Si la temperatura del aire usado aumenta en relación al límite prefijado, significa que el grano tiende a secarse en demasía; inversamente, si la temperatura disminuye, significa que no está siendo suficientemente secado.

## 17. Uniformidad de secado

La difusión de las secadoras de flujo mixto (de caballetes) en la mayoría de los países europeos se ha originado por la mejor uniformidad de secado que manifiestan en comparación con otros tipos de máquinas.

Esta superioridad se explica porque, como dice Nellist (1986), estas secadoras aplican el flujo cruzado y también los principios de flujo concurrente y contracorriente.

Con respecto al concepto de uniformidad, la práctica general recomienda que no haya más de 4 puntos de diferencia entre los granos secos (a 14% de humedad) y los granos húmedos (a la salida de la secadora), pues si la diferencia fuera mayor, el almacenamiento sería peligroso por la posibilidad de alteraciones.

Las mezclas en el comercio de granos son empleadas corrientemente para obtener partidas con valores promedios que satisfagan las normas de comercialización. Si se tiene un lote de maíz u otro grano bien seco, por ejemplo a 12%, se lo puede mezclar con otro a 16% de humedad, y se obtendrá un promedio cercano a 14%. En realidad casi todos los granos de la mezcla se uniformarán a 14% o similar valor, luego de unos 6-7 días (de acuerdo a los volúmenes de cada uno). Durante ese período convendrá emplear una aireación adecuada para evitar problemas.

**Existen fórmulas para calcular las distintas cantidades de grano que se pueden mezclar a diferentes humedades para obtener una humedad determinada.**

**Sin embargo, estas prácticas de mezclas no son totalmente recomendables si no se efectúan con todos los recaudos necesarios.**

**En resumen, son dos los factores que más influyen en la uniformidad del secado. Uno es la homogeneización del escurrimiento de los granos dentro de la secadora, y el otro la homogeneización de las temperaturas en el plano horizontal.**

**Brooker et al (1974) manifiestan que las secadoras de flujo concurrente y de flujo contracorriente producen una mejor uniformidad de secado que las de flujo cruzado o mixto, porque someten a todos los granos a las mismas condiciones, pues no existe un gradiente de humedad en la masa de grano en el plano perpendicular a la dirección de la corriente de grano.**

## **18. Secadora de velocidades diferenciales**

**Una secadora de columnas que incorpora varias de las mejoras explicadas en este**

capítulo y que agrega otras especiales es la que se ilustra en la Figura 53, y que merece ser destacada.

### [Figura 53. Secadora de velocidades diferenciales \(Doc. Blount\)](#)

Funciona de la siguiente manera: el grano húmedo ingresa desde arriba y se desliza por las columnas exteriores "A"; columnas se caracterizan por aumentar su espesor de arriba hacia abajo, 30 cm en la parte superior y 40 cm en la parte inferior. Además los rodillos inferiores "B" de descarga tienen velocidades diferenciales, de suerte tal que el grano en contacto con la pared interna y caliente desciende con mayor velocidad que el grano en contacto con la pared externa.

En la parte inferior el grano es recirculado por medio de un elevador de cangilones hacia la zona de "tempering C" donde queda en período de reposo para uniformar sus humedades durante un tiempo de algo más de media hora. Luego el grano desciende por las columnas interiores "D" (que también tienen velocidades diferenciales), para completar el segundo tramo de secado y atravesar finalmente la zona de enfriamiento "F".

El aire usado del enfriamiento y el proveniente de las columnas interiores es recirculado hacia el equipo generador de calor. El grano seco y enfriado sale por la

## descarga de grano inferior.

Según ensayos realizados por Bakker-Arkema et al (1982 a) esta secadora tuvo un consumo específico de energía de 915 kcal/kg de agua, contra 1 301 kcal/kg de una máquina de flujo cruzado convencional.

## Bibliografía

**BAKKER-ARKEMA, F.W. 1982. Effect of air-recirculation on energy efficiency and dryer capacity. Grain Conditioning Conference Proceedings. University of Illinois, Urbana, Illinois, U.S.A.: 75-81**

**BAKKER-ARKEMA, F.W., RODRIGUEZ, J.C., SCHISLER, I.P. y STEVENSON, B. 1982. A new commercial cross-flow dryer: the differential grain-speed dryer. ASAE Paper 82-3007. St. Joseph, Michigan, U.S.A., 18p.**

**BARRE, H.J., BAUGHMAN, G.R. y HANDY, M.Y. 1971. Application of the logarithmic modal to deep-bed drying of grain. Transactions of the ASAE, 14: 1061-1064. St. Joseph, Michigan, U.S.A.**

**BROOKER, D.B., BAKKER-ARKEMA, F.W. y HALL, C.W. 1974. Drying Cereal Grains. The AVI Publishing Co., Inc., Westport, Connecticut, U.S.A. 265 p.**

**CHENOWETH, Sh. 1987. Improving grain dryer efficiency through computerized control. World Grain, Vol 5, N<sup>o</sup> 5: 20 22. June**

**DAT. 1988. Recuperación de Calores Perdidos en el Secado de Granos y Optimización del Proceso. Ministerio de Agricultura y Ganadería de Santa Fe. Jornada Provincial, Rosario, Argentina. 12 p.**

**FOSTER, G.H. 1982. Drying Cereal Grains. Storage of Cereal Grains and Their Products, Chapter 4. Ameritan Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, Minnesota, U.S.A.**

**GHERBEZZA, E. 1992. Ahorro energético en el secado de granos mediante aislamiento de la cámara de gases calientes de una secadora. Boletín 37, APOSGRAN, julio-septiembre. Rosario, Argentina. 10 p.**

**GINER, S.A. 1990. Modelo matemático aplicable a diseño de secadoras. Jornada sobre Diseño y Optimización de Secadoras de Granos. APOSGRAN, Rosario, Argentina, mayo. 22 p.**

**GRUPO DE ESTUDIOS SOBRE ENERGIA, 1988. Informe sobre Programa Demostrativo de Ahorro de Energía en el Secado de Granos. Facultad Regional Rosario, Argentina. UNT. Jornada Provincial, Rosario. I 1 p.**

**ISAACS, G.W., MUHLBAUER, W.1975. Possibilities and limits of energy saving in maize grain drying. Landtechnik, 30 (9): 397 401**

**ITCF. 1989. Journées nationales d'information sur le séchage des Grains en organisme collecteur . Recueil des communications . Perspectives Agricoles ITCF, Hors Serie, Juillet-Août. Paris, France. 90 p.**

**LASSERAN, J.C. 1982. Le séchage des grains. Conservation et Stockage des Grains et Graines et Produits Derivés, Chapitre 27: 631-686. Coordonnateur: J.L. Multon. Lavoisier, Paris, France.**

**LASSERAN, J.C.y COURTOIS, F. 1993. A CAD software to improve the heat energy efficiency of mixed-flow maize dryers, CESA/FAO Latin American Technical Meeting on Grain Drying and Storage. October 18-22. Porto Alegre, Brazil.**

**MARSANS, G.J., YANUCCI, D. y PASCUAL MAYOL, J. 1985. Curso de Manejo y Conservación de Granos. Facultad de Agronomía de Buenos Aires, octubre. 69 p.**

**MILLER, P.C.H. y WHITFIELD, R.D. 1984. The predicted performance of a mixed-flow grain drier. Journal of Agricultural Engineering Research, 30: 373380. Great Britain.**

**NELLIST, M.E. 1982. Developments in continuous flow grain driers. The Agricultural Engineering, Autumn 74. Great Britain.**

**NELLIST, M.E. 1986. Secado de trigo en Gran Bretaña. I Congreso Nacional de Trigo, Pergamino, Argentina, octubre. Capítulo V: 33-68**

**SPOONER, T.F. 1985. Drying systems, methods control moisture level of stored grain. World Grain, Vol. 3 Número 8: 13-15. December**

**SUÑER, L.A. 1988. Economía en el secado de granos. Boletín Número 19, junio-julio 6-10. APOSGRAN, Rosario, Argentina.**

**TOFTDAHL OLESEN, H. 1987. Grain Drying. Innovation Development Engineering ApS, Aasvej 21, 7700 Thisted, Denmark. 309 p.**

**ZHANG, Q. y LITCHFIELD, J.B. 1991. An optimization of intermittent coro drying in a laboratory scale thin layer dryer. Drying Technology, 9 (2):383-395**



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

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

---

## Capitulo VI - Sistemas de secado

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

### 1. Secado en tandas

Este sistema, que tiene lugar en secadoras del mismo "nombre, reside en colocar el grano h $\diamond$ medo en la secadora, mantenerlo en ella hasta que es secado, y luego enfriado en la misma. Posteriormente, el grano es extra $\diamond$ do, y la secadora se vuelve a llenar con otra tanda.

Los sistemas descritos en el tema "Secado a baja temperatura" pueden ser asimilados tamb $\diamond$ n a un secado en tandas.

Tanda convencional. Este secado se hace en una secadora tal como aparece en la Figura 54 que es uno de los tipos m $\diamond$ s difundidos. Pueden ser transportables o no. Se

**carga la máquina, se prende el quemador, y se seca el grano; luego se apaga el quemador, y el ventilador funciona solo con aire frío, hasta enfriar toda la carga.**

**Han aparecido secadoras de este tipo totalmente automáticas, para el llenado, descarga, apagado del quemador y otras operaciones.**

**Adolece la mayoría del inconveniente del espesor de la columna de grano que ocasiona un secado disparejo, pues el grano en contacto con las chapas calientes sufre un sobrecalentamiento y un sobresecado excesivo, mientras que en el lado opuesto el grano resta húmedo y poco caliente. Para reducir estos problemas se aconseja hacer dos pasadas a baja temperatura (unos 70°C), derivando el grano a un silo intermedio, donde pueda reposar, y volver luego a la secadora.**

**Las secadoras en tandas son, en general, de baja capacidad y pueden ser empleadas en la propia finca o chacra del productor. Siempre tienen que tener una capacidad similar a la de las máquinas cosechadoras, para no interrumpir la cosecha.**

**Estas secadoras se adaptan bien para seca-aireación (Capítulo VII).**

**[Figura 54. Secadora en tandas, transportable \(Doc. Margarla\)](#)**

## 2. Secadoras en tandas con recirculación

Estas secadoras, ya sea de columnas o de caballetes, poseen una cámara de secado convencional, pero el grano es reciclado varias veces en la secadora, con el auxilio de un elevador de cangilones o de una rosca vertical, de manera que existen periodos de descanso, que favorecen un templado parcial del grano. Una vez que el grano está seco, se lo enfría apagando el quemador, y se lo descarga, quedando luego la máquina libre para un nuevo ciclo.

Estas máquinas pueden presentarse en modelo fijo o en modelo transportable, y en versiones más chicas pueden ser accionadas por la toma de fuerza de un tractor (Figuras 55 y 56).

A.2 y B. 1: ventilador; A.3: cámara de aire caliente; A.3.1: conducto de aire caliente; A.3.2: entrada de aire; A.4.3: cámara de secado; B.2.2: compuerta reguladora de aire; B.4.1: salida de aire usado; C.1: entrada de granos; C.1.1: encausador de grano; C.2: depósito de granos en reposo; C.3. 1: accionamiento del regulador; C.5: distribuidor; C.6: salida del grano; C.8: descarga del grano seco; C.9: conducto alimentador del

**elevador; C. 10: carga de granos hmedos; C. 11: elevador de carga, recirculaci3n y descarga de granos.**

**[Figura 55. Secadora en tandas con recirculaci3n, noria elevadora y periodo de reposo \(Doc. IRAM\)](#)**

**[Figura 56. Secadora en tandas con recirculaci3n por rosca elevadora \(Doc. Gilmore & Tatge\)](#)**

**Si bien el manipuleo extra a que es sometido el grano puede ocasionar un gasto mayor de energa y quizs algo mds de rotura, es posible conseguir un grano de buena calidad; se obtiene, adem3s, una mejor uniformidad de secado que con las secadoras en tandas del tipo convencional.**

**Se adaptan bien para secar arroz, que necesita varias etapas y ciclos de reposo con el fin de mantener una muy buena calidad para su procesamiento posterior.**

**Hay que destacar que, debido a las diversas pasadas del grano por la secadora, la capacidad de secado se reduce apreciablemente en comparaci3n con una secadora convencional continua, pero se produce, como se ha mencionado, una ganancia significativa de la calidad del grano.**

**Todas las secadoras en tandas, las estáticas como las que circulan el grano, tienen la ventaja de poder variar el tiempo de enfriamiento independientemente del tiempo de secado.**

**Por otra parte no es probable que la recirculación del grano mejore la eficiencia energética.**

### **3. Secado en dos pasadas**

**Esta es una variante recomendada del secado convencional cuando se trata de partidas de alto porcentaje de humedad.**

**Si se debe secar un grano, por ejemplo, maíz o trigo, que tenga alrededor de 28-30%, hacerlo en una sola pasada por la secadora significa que estaré obligado a permanecer dentro de la máquina un tiempo demasiado prolongado y por ende a estar más tiempo en contacto con el aire caliente; el daño al grano puede ser considerable. En una sola pasada no debiera superarse una extracción de 6-7 puntos de humedad.**

La solución más recomendable consiste en hacer dos pasadas por la máquina; en la primera la humedad será reducida a 18-20% enviando luego el grano a un depósito de donde se lo extrae para volverlo a pasar por la secadora, después de unas horas de estacionamiento. Con esto se consigue que la humedad se uniformice en toda la masa, para terminar el secado y salir a la humedad de recibo.

La primera pasada puede hacerse también "toda en caliente, con una mayor velocidad de pasada aumentando la descarga de la máquina. Para ello hay que anular el ventilador de aire frío. No es conveniente aplicar el enfriamiento en la primera pasada, pues es un gasto inútil de energía.

Este método tiene el inconveniente de la duplicación de movimientos, la necesidad de contar con silos extras, y la correcta sincronización de los tiempos de permanencia en la secadora y en los silos.

Pero con el mismo se logra aumentar considerablemente la capacidad de la secadora, y se reducen mucho los daños que pueda sufrir el grano gracias al período de reposo.

En Francia suele emplearse un sistema similar. En la primera pasada por la secadora la humedad se reduce, por ejemplo, de 35 a 21-22%, se transfiere luego el grano a un silo intermediario provisto de buena aireación, donde puede mantenerse durante un

**periodo de 1 a 3 semanas. Cuanto mayor sea la humedad con que el grano ingresa a este silo, menor será el tiempo de permanencia en el silo; del mismo modo cuanto menor sea la temperatura que se pueda bajar con la aireación, más prolongado puede ser el periodo en el silo intermediario.**

**Pasado este periodo, el grano vuelve a la secadora para la segunda pasada y el secado final.**

**Con este método se puede superar en parte el problema de grandes ingresos de grano húmedo, pues puede regularse mejor el proceso de secado reduciendo los riesgos de prealmacenamiento húmedo. Los inconvenientes que presenta son una cierta pérdida de materia seca ocasionada por este periodo en el silo intermediario, y la necesidad de tener estos depósitos suplementarios con la correspondiente inversión.**

## **4. Secado por retorno**

**El secado por retorno, que puede ser asimilado al sistema de seca-aireación (dryeration) - aunque existan ciertas diferencias que se puntualizan más adelante**

consiste en emplear la secadora "todo caliente" en la primera pasada, como si fuera seca-aireación, y luego transferir igualmente a un silo de reposo. Transcurrido el periodo de "tempering" (8 a 10 horas), se retorna el grano a la secadora, funcionando esta con sus ventiladores sin prender los quemadores, para un palado de enfriamiento y secado final.

Este método implica también un movimiento adicional de norias y un pasaje doble por la secadora, pero mantiene una calidad aceptable del grano y el costo por tonelada resulta más bajo que en el secado convencional. Con respecto a secaaireación, tiene la ventaja de que no requiere silos especiales de enfriamiento con aireación reforzada, por lo cual las inversiones son menores.

En este caso, también se aumenta en cierta proporción la capacidad horaria de la secadora. El procedimiento es adecuado para secar trigo, maíz, soja, sorgo y girasol y se adapta preferentemente para plantas pequeñas y medianas (Figura 57).

Marsans et al (1985) aconseja una buena sincronización para este sistema. En la primera pasada se trabaja unas seis horas con la secadora, y con el grano caliente (unos 40°C) y algo húmedo, se lo deriva a un silo. Luego se sigue trabajando otras 6 horas y se lo deriva a otro silo. Posteriormente se reingresa el grano del primer silo (que tuvo un reposo entre 6 y 9 horas) y se lo airea durante aproximadamente 3 a



**4 horas, y así se continúa.**

**El enfriamiento es más violento que en seca-aireación, por lo que es posible que aparezca un porcentaje mayor de fisurado. Sin embargo, es apropiado para secar soja (Marsans, 1985) pues, comparado con un secado convencional, produce menor porcentaje de cascara suelta y granos rotos.**

**[Figura 57. Secado por retorno \(Doc. Marsans\)](#)**

## **5. Secado con dos secadoras**

**Cuando en una misma planta de acopio se poseen dos secadoras pueden trabajar en serie o en paralelo.**

**En paralelo significa que las dos trabajan a la par, recibiendo ambas el grano, al que secan y enfrían en forma simultánea. Tiene este sistema la ventaja de que si una secadora se detiene por algún inconveniente, la otra sigue funcionando.**

**Trabajar en serie significa que el grano que sale de una secadora ingresa a la otra,**

donde se finaliza el proceso. En la primera la máquina trabaja toda en caliente, y el grano es secado, por ejemplo, de 30 a 18%, y en la segunda, de 18 a 14%. Esta última también puede trabajar toda en caliente, dejar salir el grano a 15,5%, y terminar el proceso por el sistema de seca-aireación.

Sin embargo, se requiere contar con un elevador extra para las dos secadoras, además de las modificaciones para adaptarse a seca-aireación. Otra desventaja que presenta reside en la elección correcta de las respectivas capacidades de las dos secadoras y en el ajuste de los caudales de grano.

Es evidente que este último procedimiento se adapta más a secadas con alto porcentaje de humedad inicial. La ilustración de la Figura 58 muestra dos secadoras trabajando en serie en una cooperativa francesa, equipadas con quemadores a gas, con dos temperaturas diferenciales y seca-aeración (M. Blin, 1979).

[Figura 58. Secadoras trabajando en serie \(Doc. ITCF\)](#)

## 6. Secado combinado

Este método consiste en emplear en primer lugar un secado "todo calar" del grano húmedo, y luego que ha llegado a 18-20%, transferirlo a un silo con aireación común, donde se termina de secarlo y enfriarlo. Este período en el silo puede demorar de 4 a 8 semanas, o más tiempo. Si se utiliza una aireación más potente, de unos 50 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>/hora, el período se puede reducir a 40 - 80 horas.

En Estados Unidos, por ejemplo, y por su clima más frío, el secado y enfriado puede ser detenido a fines de otoño y completado durante la primavera siguiente. Es practicado por muchos agricultores de aquel país con razón, pues les reporta una serie de ventajas, como aumento de la capacidad horaria, reducción del consumo de energía y una mejor calidad del grano. Además, es más flexible para las condiciones del país del Norte, porque cuando el cultivo madura tempranamente debido a un clima favorable, el secado a alta temperatura puede ser parcialmente eliminado, y reemplazado por secado con aire natural o levemente calentado.

En realidad es una variación de seca-aireación, con la diferencia que no hay un período de "tempering" completo y la aireación se conduce en silos con aireación común, por lo cual el proceso demora mucho más tiempo.

Es posible que, debido al prolongado tiempo de aireación, pueda quedar una diferencia de humedad de varios puntos entre el fondo del silo y la parte superior del

**mismo.**

**El secado combinado puede tener un costo algo mayor que seca-aireación (Bakker-Arkema, et al, 1980) pero origina menos cuarteado y una menor susceptibilidad a la rotura que este último.**

**En Argentina, algunos acopladores practican un sistema similar, secan convencionalmente (con o sin enfriamiento) hasta 14,5 - 15%, y luego traspasan el grano a un silo con aireación normal, donde lo terminan a 14 -13,5% luego de varios días o semanas.**

## **7. Secado y enfriado en silo**

**Este sistema, también conocido como "bin cooling", se ha difundido mucho en Estados Unidos en los últimos años entre los productores de maíz (Bakker-Arkema, 1984).**

**Consiste de dos silos, uno de los cuales es un silo-secador con aire caliente por contracorriente. El grano se carga en el primer silo y es secado hasta que una capa de**

**10 cm de grano en el fondo haya alcanzado un contenido de humedad de 16,5 - 18,5%. Este grano caliente y parcialmente seco es removido del fondo con una rosca barredora y es transferido al segundo silo donde tiene lugar el secado final y el enfriamiento. Posteriormente ingresa otra capa de 10 cm. (Figura 59).**

**La temperatura del aire en el primer silo es de 70 a 95°C, dependiendo del tipo de grano y su humedad. El caudal es entre 10 - 30 m<sup>3</sup>/min.t, que depende de la altura de grano en el silo. En el segundo silo se usa aire ambiente, con un caudal de 3-10 m<sup>3</sup>/min.t, también dependiendo de la altura de grano.**

**La remoción del grano parcialmente seco del primero al segundo silo es intermitente. El ciclo de tiempo de la rosca depende del valor del caudal de aire, la humedad del grano y la temperatura del aire.**

**La capacidad de secado es de unas 2 t por hora (bajando de 26 a 1596 de humedad), pero resulta de alta eficiencia energética. La calidad del grano es algo inferior a la obtenido con seca-aireación.**

**[Figura 59. Secado y enfriado en silo \(Doc. MWPS\)](#)**

## 8. Secado solar

El uso de la energía solar para secar granos ha sido práctica general en muchos países para cantidades pequeñas o medianas.

Los patios, playas o canchas donde se volcaba y distribuía el grano húmedo han existido, y existen todavía, muchas fincas o pequeñas empresas de países de zonas tropicales y subtropicales.

Expuesto en capas de pocos centímetros y con una remoción periódica, el grano se secaba al sol, en forma pareja y con un costo mínimo. Se distribuía durante el día y se recogía por la noche.

Pero en los últimos años se han creado algunos equipos para secar granos empleando secadoras simples que utilizan la energía del sol para calentar el aire.

Esta técnica es ventajosa para volúmenes reducidos, pues el ahorro de energía es considerable, la inversión escasa, y no afecta mayormente la calidad de los granos.

Sin embargo, su empleo a escala de gran acopio es impráctico porque es un método lento, y porque requiere colectores solares de gran superficie, de manera que su

aplicación ha quedado reducida a pequeños productores.

Para aquellas personas interesadas en el tema existe una buena bibliografía, que se recomienda (Rossi y Roa, 1980; Exell y Korsakoo, 1977; Midwest Plan Service, 1980).

### [Figura 60. Secadora solar](#)

En la Figura 60 se ilustra esquemáticamente una secadora solar. En A se indica un colector solar, formado en este caso por piedras amontonadas en una caja cuyas paredes inferior y lateral son negras. El aire penetra por la parte inferior, atraviesa las piedras calentadas por el sol, se calienta a su vez, e ingresa al silo de grano por la parte inferior, auxiliado por un ventilador B para secar los granos, y sale por la abertura superior C.

## 9. Secado por microondas

La difusión de la energía por microondas para el calentamiento y cocción de alimentos, que se ha expandido por todo el mundo, ha predispuesto a probar el sistema para el secado de granos. Las experiencias realizadas han sido promisorias en

cuanto a la mayor velocidad de secado, pero han ocasionado algunos problemas de deterioro de la calidad de los granos, similares a los del secado convencional. Por otro lado el alto costo de este procedimiento lo limita por ahora, solamente, a experiencias de laboratorio (Nelson, 1986).

Las frecuencias de microondas son parte de la porción de radiofrecuencias del espectro electromagnético. Generalmente, están consideradas las que caen en las frecuencias de alrededor de 1 GHz.

Este tipo de secado no contamina los granos y seca rápidamente, pues actúa sobre toda la masa de granos en forma casi instantánea.

## 10. Secado natural

Se llama así al secado del grano que se produce naturalmente en la planta en el campo, y que llega a la humedad apropiada para su conservación posterior.

Este secado se origina en países o regiones donde las condiciones climáticas son estables y más bien secas en la época de maduración del grano. Esta situación se



presenta, por ejemplo, en Australia, donde la gran mayoría de su producción triguera se cosecha bien seca, a veces entre 10 y 12%, porque las características del clima en el mes de diciembre se presentan uniformemente cálidas y secas. Solo en algunas regiones más húmedas puede necesitarse el secado artificial.

En Canadá se manifiesta una situación similar. Se calcula que de cada 5 años, cuatro son propicios para el secado natural del trigo, y solo un año se cosecha el grano húmedo, requiriéndose, entonces, el secado artificial convencional.

Es evidente que estas condiciones son muy favorables desde el punto de vista de la calidad de los granos y del ahorro de la energía que necesitaría el secado. Canadá tiene todavía una ventaja adicional, su clima más frío, que permite una mejor conservación de los granos.

La mayoría de los países europeos, sobre todo los ubicados hacia el norte del continente, se encuentran en una situación opuesta. Casi toda su producción granaria se cosecha húmeda y debe ser secada, como en Inglaterra y Alemania. En Francia el trigo se recoge, en general seco, pero el maíz, a veces con una humedad superior al 40%.

Pero, además, debe tenerse presente que en esos países de Europa la base de la

comercialización, para maíz y trigo, está en promedio en 15% de humedad, valor algo elevado para países, como Argentina y muy elevado para naciones importadoras de grano, como son muchos países africanos, árabes y asiáticos, en los cuales la conservación de los granos sería extremadamente difícil a esas humedades.

Países como Francia, que exportan grandes volúmenes de trigo, se encuentran en la necesidad de secar partidas para poder satisfacer las condiciones de los compradores.

## 11. Secado en trojes

Cuando el maíz se cosecha en mazorca, con juntadoras-espigadoras, y con cierto porcentaje de humedad, se debe almacenar en depósitos especiales, llamadas trojes, para su secado natural.

Antiguamente se hacían trojes cilíndricas, de alambre tejido perimetral, para que pudieran ser atravesadas por los vientos y secar así las mazorcas.

La cosecha en mazorca en Argentina, queda restringida a los criaderos o semilleros de maíz porque el sistema permite obtener una mejor calidad de semilla, excepto en

**atados de muy malas condiciones climáticas.**

**En Francia y Estados Unidos el sistema suele ser utilizado por aproximadamente 15% de los agricultores, que generalmente destina la cosecha al autoconsumo.**

**En la actualidad se emplean las trojes de forma rectangular, largas y angostas (Figura 61). Suelen tener una altura útil de 4 a 6 m, un espesor de 0,80 a 0,90 m y un largo variable, que depende de la producción cosechada, pero pueden llegar a 50 m. Se aconseja no colocar espigas con más de 20% de humedad.**

**El piso está algo elevado del suelo, para evitar el contacto con la tierra. Todas las paredes y el piso son de alambre tejido y tienen un techo protector, ya sea de material o de atados de paja.**

**El costo de una troje rectangular de hierro y alambre en Francia es de unos 40 dólares por metro almacenado. Un metro lineal de troje de 4 m de altura y 0,80 m de espesor puede guardar 20 q de grano.**

**En un sistema mecanizado se suelen cargar con un elevador portátil, y tienen un transportador de cadena tipo "redler" para favorecer la descarga y el transporte de las mazorcas hacia la trilladora.**

**Estas trojes deben estar alejadas de cercos, edificios o montes de árboles que actúen de corta-vientos, y orientados de manera de enfrentar a los vientos predominantes.**

**[Figura 61. Tipos de trojes rectangulares \(Doc. ITCF\)](#)**

## **12. Secado a baja temperatura**

**Este tipo de secado se realiza en silos-secadores o secadoras en silo, equipos que generalmente están formados por un silo metálico apropiado para estos fines (Figuras 62, 63, 64, 65). Se utiliza solo el aire natural, o levemente calentado. El procedimiento es relativamente simple, económico y mantiene una buena calidad de grano, pero se deben cumplir una serie de requisitos, que pueden enumerarse como sigue:**

**12.1 La humedad del grano no debiera ser superior a 20% para nuestras condiciones (22% en Estados Unidos). A humedades superiores es posible secar grano, pero la temperatura del aire debe ser inferior a 15°C y utilizar caudales de aire más elevados. En caso contrario pueden producirse alteraciones en algunas capas de la masa de granos.**

**En Estados Unidos los máximos contenidos de humedad para este tipo de secado (MWPS-13, 1987) son:**

<b>maíz</b>	<b>22%</b>
<b>girasol</b>	<b>18%</b>
<b>lino</b>	<b>15%</b>
<b>trigo</b>	<b>17%</b>
<b>sorgo</b>	<b>22%</b>

**12.2 La cantidad de grano a secar es aconsejable que no supere las 300 t y que la altura de grano en el silo no sea mayor a 5 m. Si los silos fueran más grandes, sólo se deberían llenar parcialmente, o hasta donde la altura del grano no pase los 5 m.**

**12.3 El caudal de aireación debe ser bastante elevado; cuanto mayor sea el caudal, mayor es la velocidad del frente de secado, pero debe tenerse presente que ese mayor caudal requiere un motor más potente.**

**Para secar con aire natural condiciones inglesas (Nellist, 1986), el caudal aconsejado es de 135 m<sup>3</sup>/hora y por m<sup>3</sup> de grano.**

Los caudales necesarios para secar maíz, con datos de Estados Unidos, no debieran ser menores de 50 m<sup>3</sup>/h.m<sup>3</sup>, pero pueden ser aumentados hasta 70 m<sup>3</sup>/h.m<sup>3</sup> y aún mayores, para zonas de mayor humedad relativa. Los mayores valores también pueden ser usados para las más altas humedades iniciales del grano.

### Figura 62. Silo secador, tipo americano

Cuenta con generador de aire caliente, distribuidor superior, piso perforado, removedores de grano, rosca barredora y rosca extractora. Estos equipos pueden emplear temperaturas del aire de secado de hasta 80°C. (Doc. Chief)

12.4 La potencia requerida para caudales entre 50 y 70 m<sup>3</sup>/h.m<sup>3</sup> de grano depende de la altura de grano en el silo; para alturas de 4 m y silos no muy anchos, la potencia de los motores para los ventiladores se encuentra alrededor de 10 CV. En el trabajo de McKenzie et al (1980) se puede hallar una valiosa información sobre elección de ventiladores para estas operaciones.

12.5 Son preferibles para esta tarea los silos de fondo plano perforado, porque la aireación es así mucho más efectiva. En Estados Unidos estas secadoras en silos "in-bin dryers" son muy comunes entre los agricultores.

**12.6 La práctica general aconseja no usar aire cuya humedad relativa sea mayor que el 70%, lo que se consigue, generalmente, en horas de la tarde, aunque esto depende de la época del año.**

**Lo ideal es que la aireación con fines de secado funcione día y noche, bajo esas condiciones, en las que el proceso puede llegar a demorar de 2 a 6 semanas. Pero en otoño e invierno la humedad relativa puede superar fácilmente aquel valor. En la zona maicera clásica argentina la humedad relativa promedio de marzo hasta agosto es mayor, situación que obliga a detener los ventiladores durante muchas horas del día.**

**Cuando se ha llegado a un 14,5 - 15% de humedad de grano en gran parte del silo, la aireación puede limitarse a los períodos en que la humedad relativa sea menor al 70%.**

**Pero debe recordarse también, que cuando el grano está ya seco, es necesario enfriarlo, y para ello pueden usarse las temperaturas frías de la noche, donde será fácil encontrar mayores diferencias entre las temperaturas del aire y del grano. Lo ideal es llegar a alcanzar una temperatura del grano de 10°C o menor, ya que de esta manera su conservación en los silos estará asegurada. Esta tarea llevará varias noches y mañanas frías, pero en un tiempo más reducido que el demorado para el**

**secado.**

**12.7** En este procedimiento es aconsejable soplar o insuflar el aire de abajo hacia arriba, en lugar de aspirar de arriba hacia abajo. Es más efectiva la aireación de esa forma, tiene la ventaja de no tapar los agujeros de paso del aire y permite un control de la parte superior de la masa de grano, midiendo su humedad y temperatura. Otra superioridad es que, insuflando, el aire puede calentarse un poco al atravesar el motor eléctrico, lo que no sucede en aspiración.

**[Figura 63. Silo secador](#)**

Tiene una cámara superior para grano húmedo, y un generador de aire caliente para secarlo. Cuando está seco, se abren los vertederos mecánicos de descarga y cae hacia el fondo del silo. Un ventilador inferior impulsa hacia arriba aire exterior para enfriar. A su vez este aire, al calentarse, actúa como precalentador del grano húmedo en la cámara superior (Doc. Top Dry)

La parte superior es, en aireación por secado, por insuflado, la más expuesta a descomposición. El frente de secado, que avanza de abajo hacia arriba (ver Figura 77) debe llegar y atravesar la capa superior del grano, es decir, debe completarse el secado antes de que se inicie cualquier deterioro en esa zona.



**12.8 De igual manera que se mencionó sobre el secado combinado, puede Originarse un sobre secado en las capas inferiores (en el caso de insuflado) lo que producirá una desuniformidad en las humedades de la masa. Una forma de reducir esta diferencia consiste en utilizar unos removedores de tornillo sin fin en la masa del grano, colocados verticalmente (Figura 62). Ello sin embargo encarece algo el secado por el costo del equipo y la energía consumida para accionarlo.**

**12.9 Una forma de mejorar el proceso es calentando unos 5°C el aire de secado, por medio de resistencias eléctricas en la toma de aire, o también por energía solar.**

**El agregado de calor al aire de secado en este sistema no aumenta mayormente la velocidad con que se mueve el frente de secado, sino que sirve para reducir la humedad relativa del aire y asegurarse que la humedad del grano sea decrecida al nivel deseado.**

**Si se agrega demasiado calor se puede sobresecar al grano. Si la humedad relativa es menor que 70% no es necesario calentar el aire.**

**12.10 En la capa superior del silo, en unos 30 a 50 cm, puede quedar una humedad más elevada que el resto, luego del período de secado, si es que el silo no cuenta con removedores de grano. La mezcla posterior de esta capa con el resto, que ya está**

**seco, permite aliviar en buena parte este problema.**

**12.11 Si fuera posible, es oportuno llenar el silo solo hasta la mitad, pues ello facultar obtener un caudal doble de aire por unidad de volumen comparado con un silo totalmente lleno. Por esto un llenado bien controlado del silo puede ser una herramienta adecuada para mejorar el proceso. Cuanto menor sea la altura del grano, mayor será el caudal y más rápido el secado.**

**[Figura 64. Silo secador alimentado con aire caliente que ingresa por el tubo central, y trabajando todo en caliente. El enfriamiento puede hacerse en otro silo \(Doc. Adabor\)](#)**

**[Figura 65. Silo secador con cilindro central de chapa perforada y paredes laterales también perforadas, de capacidades entre 15 y 60 t \(Doc. Cirigliano\)](#)**

**En Estados Unidos, donde este método, como se dijo, es bastante empleado por los productores, utilizan tres formas de llenado del silo.**

- a. Un solo llenado: se llena el silo totalmente o hasta la altura recomendada para el secado (evitando el desarrollo de hongos) y se inicia la aireación.**
- b. Llenado por capas: se van agregando capas sucesivas de grano, generalmente de 0,30 m de espesor cada una. Cuando se seca la primera capa, se agrega otra, y**

así sucesivamente.

- c. **Llenado por lotes:** se coloca una capa de aproximadamente 1 m de espesor (puede ser la cosecha de un día) y se seca. Después se transfiere al lugar del almacenamiento. Se vuelve a colocar otra capa del mismo espesor y se procede de la misma forma y así sucesivamente. Para lograr UD secado eficiente de cada lote, se necesita un buen equipo para la carga y descarga del grano.

En ciertas oportunidades emplean una combinación de estos dos últimos.

Comienzan con el secado por lotes, hasta que el almacenamiento principal está lleno, y luego continúan secando por capas delgadas, hasta que se completa el silo secador, que sirve entonces, como silo de almacenamiento.

El secado por capas o lotes se suele hacer cuando el maíz supera los 22-24% de humedad, pues se reduce el tiempo de secado. El método de silo totalmente lleno es empleado para maíces con porcentajes menores de humedad, pues en caso contrario sería peligroso. Sin embargo, una desventaja del llenado por capas es que la cosecha debe ser detenida mientras la capa se seca.

**12.12** En definitiva, el secado a baja temperatura es muy eficiente térmicamente. En un sistema bien manejado el consumo específico puede ser reducido hasta un valor

cercano al calor de vaporización del agua (unas 600 kcal/kg de agua).

**12.13 Este método de secado a baja temperatura tiene algunos inconvenientes, que conviene explicitar:**

- a. El secado es lento, sobre todo cuando las condiciones atmosféricas son desfavorables.
- b. Se requiere una suficiente cantidad de silos equipados, en particular cuando los volúmenes a secar son abundantes.
- c. Se necesita un buen control periódico del estado del grano, sobre todo en la parte superior.
- d. Se produce una mayor pérdida de materia seca que con el secado a alta temperatura. La razón es que al ser bastante largo el período de secado se mantiene y acelera el proceso de respiración de los granos, por lo que se sigue consumiendo materia seca, pero la mercadería resultante es de mejor calidad.

**12.14 Todo lo expuesto demuestra la conveniencia de tener equipados los silos y los silos secadores con termómetro, y de que la planta de acopio esté provista de termómetro y psicrómetro.**

**12.15 En los últimos años se han hecho experiencias en Estados Unidos con el uso**

del amoníaco o anhídrido sulfuroso que permitan un empleo más seguro del secado a baja temperatura. Por medio de aplicaciones intermitentes de esos productos se puede extender el tiempo de secado del maíz antes que se inicie un deterioro microbiano, aun con granos de hasta un 26% de humedad. El equipo de aplicación es económico y fácil de instalar, empleándose dosis de amoníaco del 0,1 a 0,5%. El maíz así tratado sólo es apto para alimentación animal.

12.16 Con el fin de encarar un correcto diseño de un sistema de secado de esta naturaleza, para todos aquellos interesados en profundizar este método, se recomienda especialmente la consulta a los trabajos de McKenzie et al (1980) y MWPS-22 (1980).

### 13. Secadores de galpón

Estos equipos de secado trabajan también por el principio de secado a baja temperatura y son muy comunes en Gran Bretaña. El grano es retenido en depósitos con paredes sobre tres costados y por un ángulo de reposo en el cuarto. El aire es conducido bajo el grano por conductos sobre el piso. El grano es acumulado en este

**depósito por medio de un tractor con bulldozer hasta una altura máxima de 4 m, y luego del secado puede ser descargado por el tractor provisto de pala cargadera.**

## **14. Silos secadores**

**Se encuentran diversos tipos de estos silos secadores en el comercio de granos, ilustrados en las Figuras 62 a 65. La mayoría de ellos son silos metálicos cilíndricos, con distintos accesorios, que luego pueden utilizarse para almacenamiento.**

**Como se ha visto, los silos secadores pueden emplear temperaturas del aire entre moderadas y altas, o solamente aire natural.**

**Una innovación que es común a silos secadores de Estados Unidos son los removedores de granos, que se componen de un árbol dispuesto horizontal y radialmente, colgado del centro del silo por un extremo y apoyado sobre un riel en la circunferencia del silo por el otro extremo, el cual está animado de movimiento circular. Sobre este árbol están montadas dos o tres roscas verticales, que tienen tres movimientos:**

- de rotación sobre su propio eje;
- horizontal, a lo largo del árbol horizontal;
- circular, alrededor del silo, y que puede durar varias horas por vuelta.

## Bibliografía

**BAKKER-ARKEMA, F.W. 1984. Selected aspects of crop processing and storage: A review. Journal of Agric. Eng. Research 30: 1-22. United Kingdom.**

**BAKKER-ARKEMA, F.W., SILVA, I.S., WUAURA, E.N., RODRIGUEZ, J.C. y BROOK, R.C. 1980. Testing of alternative on farm grain drying systems. ASAE Paper 80-3017, St. Joseph, Michigan, U.S.A.**

**BLIN, M. 1979. Installation de séchage "multitemperatures. associé avec la dryeration. Perspectives Agricoles, Mars. N°24: 49-51. ITCF, Paris, France**

**EXELL, R.H. y KORNSAKOO, S. 1977. A low cost solar rice dryer. Bangkok, Thailand, Asian Institute of Technology, Research Report.**

**MARSANS, G.J., YANUCCI, D. y PASCUAL MAYOL, 1. 1985. Curso de Manejo y Conservación de Granos. Facultad de Agronomía de Buenos Aires, Argentina, octubre. 69 p.**

**MCKENZIE, B.A., FOSTER, G.H. y DEFOREST, P.E. 1980. Dryeration and bin cooling systems for grain. AE-107 Cooperative Extension Service, Purdue University, West Lafayette, Indiana, U.S.A.**

**MIDWEST PLAN SERVICE. 1980. Low temperatura and solar grain drying handbook. MWPS-22, Iowa State University, Ames, Iowa, U.S.A. 87 p.**

**MWPS. 1987. Grain drying, handling and storage handbook. MWPS-13, second edition, Iowa State University, Ames, Iowa, U.S.A.**

**NELLIST, M.E. 1986. Secado de trigo en Gran Bretaña. I Congreso Nacional de Trigo, Pergamino, Argentina, AIANBA, octubre. Capitulo V: 3368**

**NELSON, S.O. 1986. Potential agricultural applications for RF and microwave energy. ASAE Paper 86-6539, ASAE, St. Joseph, Michigan, U.S.A. 11 p.**

**ROSSI, S.J. y ROA. G. 1980. Secagem e Armazenamento de Produtos Agropecuários**



con uso de energía solar e ar natural. Academia de Ciencias do Estado de Sao Paulo. Publicação ACIESP Nº 22, Sao Paulo, SP, Brasil. 295 p.

---

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

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

---

## Capitulo VII - Seca-aireacion

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

### 1. Introducci3n

Considerando al sistema de seca-aireaci3n de gran importancia, se ha cre3do necesario dedicarle un capitulo completo en esta obra. Adem3s, si bien existen algunas publicaciones sobre seca-aireaci3n en Estados Unidos y otros paises, en ellas no se encuentra una detallada descripci3n de sus caracter3sticas y de las ventajas y problemas que su aplicaci3n puede originar.

**Por otro lado se pretende adaptarlo a las condiciones propias en que se desenvuelven los centros de acopio y almacenamiento de Argentina.**

## **2. Generalidades sobre seca-aireación**

### **2.1. Creación y difusión**

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.

La denominación "seca-aireación" fue adoptada por la mayoría de los países integrantes de la Red Latinoamericana de Cooperación Técnica en Postcosecha de Granos, que auspicia la FAO.

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, procedimiento que hacía 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 almidón, alimentos para humanos y otros usos.**

**Al poner a punto el procedimiento, Foster, junto a otros investigadores como B.A. McKenzie y R.A. Thompson, descubrieron 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, ya explicado. 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%), 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 (1977) 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-aeración y en la actualidad existe un renovado interés por parte de los acopladores y centros de almacenamientos. En 1984, se calcula que una treintena de plantas de acopio lo estaban aplicando y que existían muchas más, interesadas en adaptarlo.

## 2.2 Descripción

Seca-aeración de granos es un método de secado que consiste en detener el proceso en la secadora cuando el grano ha bagado 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 debidamente diseñados.

La Figura 66 proporciona una idea más clara del proceso. Como se indica, el grano húmedo de maíz 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 (pues se ha eliminado previamente el período de enfriado en la mquina), se puede utilizar totalmente su volumen en solo calentar y secar, y de esa manera, aumentar su capacidad en buena proporción. La secadora trabaja entonces en "todo calor", como se dice corrientemente.

#### Figura 66. Proceso esquemático de la seca-aireación.

El grano caliente es extraído de la secadora y sin enfriarlo, transferido a un silo de enfriamiento provisto de equipo de aireación. En este permanece el maíz unas pocas horas (entre 4 y 6) en reposo; luego se pone en funcionamiento el equipo de aireación para que se enfríe y pierda de 1% a 3% más de humedad antes de ser llevado seco y frío, a los silos de almacenaje definitivo. Mientras tanto se sigue llenando el silo con grano caliente.

En el silo de enfriamiento, los lotes de grano que están calientes se acumulan durante el día y se mantienen unas horas para su templado. La aireación se demora hasta que el silo está lleno o por la mitad o menos a un tercio, dependiendo de la capacidad del sistema de aireación y se realiza generalmente durante un periodo de 8 a 12 horas.

La temperatura que tiene el grano 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 también 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.

Una descripción completa del proceso se encuentra en el trabajo preparado por McKenzie, Foster, Noyes y Thompson (s.f.), que se aconseja consultar. Si se quisiera profundizar sobre los aspectos teóricos y físico-matemáticos del tema, se recomienda el trabajo de Neves, Fortes, Moreira y Pinheiro Filho (1983).

## 2.3 Teoría

### a) Eficiencia

En la Figura 67 se expresa la relación entre la humedad del grano de mm y el tiempo de secado. Se observa que en una partida de grano con humedad 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.

### Figura 67. Régimen y tiempo de secado

Si se pudiera evitar esta última parte del secado, ya sea DO haciéndolo o efectuándolo por medio de algún otro procedimiento que requiera poca energía, se podría reducir 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 16-18% de humedad se nota mejor en la Figura 68 (Marsans, 1984), en donde se puede observar cómo 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.

### Figura 68. Eficiencia de secado

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.

Entonces ratifica el ahorro de energía que presenta el método de seca-aireación en relación al sistema convencional o clásico de secado de los granos.

Los consumos expresados en kcal/kg se han obtenido de ensayos de laboratorio, pero en una secadora real en trabajo, por distintas pérdidas de calor que se producen durante el proceso, el consumo de kcal por kg de agua evaporada se duplica fácilmente (ver Capítulo III).

Pero desde el punto de vista térmico, la gran ventaja del sistema consiste en



**aprovechar la buena temperatura que tiene el grano al salir de la secadora; en el sistema convencional, en el período de enfriamiento, el aire, fuertemente impulsado, arroja al exterior gran parte de ese calor sensible acumulado en el grano.**

**Recuérdese que en el Capítulo III se expresaba que las pérdidas por calentamiento del grano durante el secado se calculaban en unas 70-80 kcal/kg. Ahora este calor sensible es parcialmente recuperado como energía de evaporación durante el enfriamiento en silo.**

#### **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 50% de volumen (para nuestras secadoras); 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: "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%, siempre que se hagan ciertas modificaciones que se indican más adelante.

El hecho que las secadoras argentinas tengan en su mayoría 1/3 de enfriamiento contra 2/3 de calor, conduce, -como se dijo- a un aumento del 50% de la capacidad "todo calor" de la máquina.

Esto contrasta con casi todas las secadoras, las francesas en particular, en las cuales la zona de enfriamiento suele tener solamente 1/10 del total de la máquina. De todo esto se deduce que nuestros equipos tienen una gran ventaja en cuanto a la ganancia de capacidad en este aspecto, lo que demuestra la conveniencia de adoptar seca-aireación.

Hay que preguntarse porqué las secadoras francesas tienen una escasa zona de enfriamiento. La primera respuesta que surge es que en Francia, en la época de

cosecha de maíz, la temperatura exterior es muy baja, muchos días bajo cero, por lo cual no se requiere mucho tiempo de enfriamiento.

Esto es una buena razón, pero sin embargo, en otros países tan fríos o más fríos que Francia, como Estados Unidos, la zona de enfriamiento en promedio es bastante mayor, 25% más del total del volumen.

La verdadera causa puede estar en la humedad inicial del grano que ingresa a la secadora. En Francia es común secar maíz con 35% de humedad y a veces 40%.

En estas condiciones la evaporación de humedad es muy elevada, fenómeno que requiere, como es sabido, una gran absorción de calor. Este calor, entonces, se acumula muy poco en el grano, que se mantiene más fresco que aquel que ingresa con menor humedad. De aquí, cuando el grano llega al final de la cámara de secado no se encuentra muy caliente, no necesitando de esta forma un enfriamiento intenso.

Esta opinión es coincidente con los comentarios del Capítulo IV-6, donde se hace mención a experiencias llevadas a cabo por Giner (1990).

Pero las secadoras francesas tienen otras características que compensan aquella desventaja. La base de comercialización del maíz en aquel país es de 15,5% de

**contenido de humedad, situación que les permite extraer el maíz de la secadora "todo calor" con 18% y por ende tener un mejor comportamiento en los silos de enfriamiento.**

### **c) Mantenimiento de la calidad del grano**

**Es conocido el hecho de 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 secadora sino en un silo separado y luego que el grano ha sufrido un período de reposo. Además, el enfriamiento es mucho más lento. Entonces, las tensiones se reducen considerablemente, la calidad del grano se altera 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 mayor, 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, aricares, etc.) y una pérdida de valor nutritivo (AIANBA, 1975).

Con respecto al trigo, tales temperaturas en el secado convencional ocasionan graves problemas a la industria molinera y panadera (AIANBA, 1983).

En el caso de la soja, si bien las altas temperaturas no afectan mayormente el rendimiento industrial, causan un sobresecado que origina importantes pérdidas de peso y daño mecánico (Figuras 69 y 70).

### [Figura 69. Soja partida](#)

## Figura 70. Daño de tegumento

### 2.4 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 práctica 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 acoplo 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.**

**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 la calidad y superar entonces esa antinomia entre los dos factores. Estas razones son las que impulsan a favorecer su difusión entre los usuarios.**

### **3. Diseño y funcionamiento**

#### **3.1 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 71).**

### **3.2 Modificaciones en la secadora**

**En las secadoras de flujo continuo tipo torre se puede 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 muchas máquinas modernas esta modificación se efectúa con facilidad pues ya vienen preparadas para esta operación; la técnica varía de acuerdo al diseño de cada secadora.**

**Sin embargo, en algunos casos no es aconsejable eliminar la separación entre las partes caliente y fría de la máquina, si es que se consigue una fuente de calor para la cámara de enfriado, que puede ser un quemador extra en la misma o una conexión o conducto que provenga de la entrada de aire caliente.**

**Con este procedimiento se puede trabajar con dos zonas de secado, modulando las temperaturas de acuerdo a lo recomendado en el Capítulo V - 6.**



## Figura 71. 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.

La secadora de la Figura 37 del Capítulo V constituye un diseño fácil de transformarla en "todo calor". Basta para ello eliminar la separación entre las secciones 4 y 5, si fuera suficiente la generación de calor de los quemadores existentes. En caso que no lo fuera, se puede agregar un quemador extra al ventilador inferior, sin necesidad entonces de eliminar la separación entre las secciones mencionadas.

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.

El generador de aire caliente debe poseer una reserva de potencia térmica para mantener una temperatura adecuada del aire, pues en caso contrario, ésta puede caer en forma apreciable y perder eficiencia la máquina. 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 secación a operación convencional y viceversa, pues no se necesita siempre eliminar la separación entre las partes fría y caliente.**

**Algunas secadoras actuales ya traen incorporado un quemador en la cámara de enfriado, que puede mantenerse apagado para trabajar convencionalmente.**

**En algunos tipos de secadora 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.**

**Otra solución empleada es aumentar el caudal del aire impulsado por los ventiladores, ya sea agregando, por ejemplo, un ventilador adicional, trabajando**

**quizás en aspiración, o aumentando el número de revoluciones de los ventiladores, si ello fuera factible.**

**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 máquina 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.**

**Las secadoras continuas con un solo ventilador para el aire caliente y el aire frío son más difíciles de convertir.**

### **3.3 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 18% de humedad, sólo 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.**

### **3.4 Modificaciones en las norias y otros equipos**

**La noria (elevador de granos de cangilones) 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.**

**Para trabajar 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, para guardar maíz húmedo hasta que pueda ser secado, es posible que se precise otra noria para llenarlos.**

**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 72 se muestra un esquema de una planta de acopio con secaaireación para un proceso continuo de secado durante las 24 horas del día y con cuatro silos de enfriamiento.**

**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 bajada deberán 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.

[Figura 72. Esquema de una planta de acopio con seca-aireación y proceso continuo las 24 horas.](#)

### 3.5 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 el 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 DO 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 mas 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 73).**

### **[Figura 73. Silo de fondo plano](#)**

**Los silos de fondo plano suelen tener una boca central de descarga, y un procedimiento simple de vaciado para dejar que se forme un cono del mismo grano, por donde fluye el resto del material. Algunos cerealistas consiguen este efecto llenando primero el fondo del silo con grano seco, limpio y en buen estado, y luego descargando para que se forme el cono. Entonces, puede ser llenado con grano caliente y húmedo de la secadora. Para silos de menos de 9 m de altura el cono puede reducir la capacidad del silo entre 15 y 20%.**

**Los silos con fondo de tolva canica 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.**

**Como de estos silos surge una gran cantidad de vapor, es conveniente que no se encuentren cercanos a silos de almacenamiento de la misma planta, o si no aislados de ellos por tabiques o paredes.**

**Los franceses han proyectado un silo de enfriamiento como el que aparece en la Figura 74. 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 suelo. Así las distancias del recorrido del aire serán muy parecidas entre sí, factor fundamental para una buena aireación.**

### **Figura 74. Silo de enfriamiento**

**No son adecuados para seca-aires los depósitos tipo celda, galpón o bodega de fondo plano, por las dificultades para diseñar un buen sistema de aireación y para un rápido manipuleo del grano. Su uso queda reservado como depósitos de almacenamiento para granos que ya han sido secados y enfriados.**



### 3.6 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. Tienden a compensar la acumulación de impurezas (borra) y suciedad en la parte central de los silos durante su llenado, impidiendo formar bloques que pueden endurecerse y que causan problemas al resto de la masa de granos durante la descarga.

La impureza (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.

### 3.7 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 de que la altura del grano no supere los 8 6 9 m, pues a mayores alturas se requieren potencias muy

elevadas, debido a la contrapresión originada.

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

---

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

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

---

### 3.8 Cantidad de silos de enfriamiento

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

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 éstos 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 (horas de iniciación y terminación, un solo silo):**

<b>- Secado y llenado del silo de enfriamiento</b>	8 a 16 boros
<b>, Reposo (simultáneo)</b>	8 a 16 horas
<b>- Aireación</b>	12 a 24 horas
<b>- Descarga</b>	24 a 8 horas
<b>Total</b>	24 horas

**El reposo se inicia después de empezar el llenado y la aireación puede comenzar cuatro horas mas tarde.**

### **Ejemplos:**

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

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 necesitar 25 CV.

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

**A) con dos silos de enfriamiento de 500 t cada uno.**

	<b>Silo 1</b>	<b>Silo 2</b>
Secado y llenado	8 a 20 hrs.	20 a 8 horas
Reposo	8 en adelante	20 en adelante
Aireación	2 a 13 hrs.	1 a 14 hrs.
Descarga	2 a 8 hrs.	14 a 20 hrs.

**B) con tres silos de 350 t cada uno**

	<b>Silo 1</b>	<b>Silo 2</b>	<b>Silo 3</b>

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

### C) con cuatro silos de 250 t cada uno

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

### Caso 1 Secadora trabajando 24 horas por día (960 t)

	Silo 1	Silo 2
Secado y llenado	8 a 14 horas	14 a 20 horas

Reposo	8 en adelante	14 en adelante
Aireación	4 a 16 horas	10 a 22 horas
Descarga	4 a 8 horas	10 a 14 horas

**Caso 2 Secadora trabajando 12 horas por día (480 t), con dos silos de 250 t cada uno**

### 3.9 Caudales de aire

Los caudales de aire pueden ser expresados en  $m^3$  por hora y los caudales unitarios en  $m^3$  por hora y por  $m^3$  de grano, o en  $m^3$  por minuto y por tonelada de grano (Cuadro 10).

De acuerdo a Lasseran (1977), en seca-aireación se requieren unos  $800 m^3$  de aire por cada tonelada de grano. Para un periodo de enfriamiento de unas 12 horas, corresponde un caudal unitario de unos  $67 m^3$  por hora y por tonelada, o sea  $1,1 m^3$  por minuto y por tonelada.

Caudales unitarios de  $0,5$  a  $1,2 m^3/min/t$  son los más empleados en secaaireación. Estos valores son de 2 a 5 veces mayores que los caudales normalmente empleados en

la aireación con. 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.

EQUIVALENCIAS			
m <sup>3</sup> /min/t	m <sup>3</sup> /min/t	m <sup>3</sup> /hora/m <sup>3</sup>	cm/bu
0,1	0,076	4,6	0,094
0,2	0,15	9,0	0,19
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
1,2	0,91	54,6	1,13
1,4	1,06	63,6	1,32
1,5	1,14	68,4	1,41
2.0	1.52	91.2	1.89

### Cuadro 10. Caudales de aire para aireación de granos

1 cim/bu (pie cúbico por minuto por bushel) - 1,06 m<sup>3</sup>/min/t. 1 m<sup>3</sup> - 1 000 litros

Debe advertirse que la potencia del ventilador se debe aumentar casi cinco veces cuando el caudal unitario se duplica.

Dentro de la amplitud recomendada (0,5 a 1,2 m<sup>3</sup>/min/t), 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.**

### **3.10 Temperatura del aire de secado**

**En seca-aireación, la temperatura del aire de secado tendrá algunas variaciones de acuerdo a los distintos tipos de secadoras y a las modificaciones efectuadas a las mismas, pero en general pueden ser unos 10 a 15°C superiores a las del método convencional.**

**Una razón para poder emplear esta mayor temperatura es que como el grano es descargado de la secadora con dos puntos más de humedad que en secado convencional, el grano está algo más fresco, y esto permite entonces, el mencionado aumento.**

**Pero otra razón, ya expresada en otra oportunidad, es que al aumentar un 50% el volumen de la cámara de secado (al suprimir la cámara de enfriamiento), el**

**generador de calor no alcanza a mantener la temperatura del aire y puede producirse una caída importante de la misma, lo cual se traduce en una pérdida elevada de eficiencia. Entonces, la solución es aumentar la temperatura del aire, que, como se sabe, representa también una ventaja desde el punto de vista energético y cuantitativo.**

### **3.11 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 período 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 McKenzie (1980), más a 53°C puede**

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

**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, sino a menor temperatura (40 ° a 50 °C).**

**Las causas de ello se originan en defectos de diseño de la secadora, o porque al trabajar a "todo calor" se reduce la temperatura del aire de secado porque se incrementa el volumen del aire.**

**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 les 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 40 - 60°C, respectivamente.**

### **3.12 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 común doméstico por unos dos o tres minutos. La muestra se enfría sin peligro de que pierda humedad por el poco tiempo de exposición y entonces se hace la medición. Si la muestra se agita, se enfría más rápido.**

**Se pueden construir dispositivos simples para enfriar rápidamente las muestras, como el que se describe en la Figura 75.**

### **[Figura 75. Dispositivos para enfriar muestras](#)**

**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 mejor dejar el grano caliente en el termo hasta el momento de tomar la muestra siguiente, para mantener el recipiente caliente.**

**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, y no directamente de la descarga, sino en algún conducto algo alejado, para que esté mejor mezclada la muestra.**

### **3.13 Reposo**

**El período 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 período 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. (Figura 76).**

**El revenido ha sido explicado en detalle en el Capítulo 1, inciso 3.**

**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 Pearl, R.M. (1972).**

**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 tenga suficiente tiempo de reposo antes que le llegue el frente frío (si la aireación se practica insuflando aire de abajo hacia arriba).**

### **[Figura 76. Revenido del grano](#)**

#### **3.14 Enfriamiento**

**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 secado que va avanzando**

**hacia arriba (Figura 77). Se considera que el periodo ha terminado cuando la temperatura del grano en la parte superior tiene aproximadamente la misma temperatura del aire cuando la aireación fue iniciada, 10-12 horas antes. No se debe pretender que el grano se enfrie a la temperatura que tiene el aire exterior en el momento que se mide la del grano.**

**Por otra parte, continuar aireando solo significar un desgaste de energía.**

**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 ocasionar 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.**

**[Figura 77. Frente de secado y enfriamiento](#)**



**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 m<sup>3</sup> por tonelada grano para completar el enfriamiento y secado en seca-aireación. Si se utiliza un caudal unitario de 1,2 m<sup>3</sup>/min/t, el tiempo (T) estará dado por la siguiente fórmula:**

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

**Si el caudal unitario fuera menor, por ejemplo, 0,9 m<sup>3</sup>/min/t, el tiempo será:**

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

**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.**

**Como al inicio de la aireación la altura del grano en el silo no es mucha, la primera**

**etapa de secado ser sumamente rápida, ya que el caudal de aire ha aumentado considerablemente, estabilizándose paulatinamente con posterioridad. Por esta razón, no siempre es fácil predecir los tiempos de enfriado.**

**Si la reducción de humedad durante el enfriamiento fuera menor del 1%, esto quiere decir que el tiempo de enfriamiento es insuficiente o que la masa en el silo es aireada en forma dispereja por la irregular altura de grano en el silo.**

### **3.15 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.**

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

**La humedad relativa del aire exterior no tiene casi ninguna influencia en la secación, por lo que no hay ningún peligro de airear con aire aun con el 100%**

## de humedad relativa.

### 3.16 Equipos 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 78).

#### [Figura 78. Equipo refrigerador de aire \(Doc. Sulzer\)](#)

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.**

### **3.17 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 más o menos rápido.

### Figura 79. A: extractores de aire

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 eléctricos. 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 79).

Una solución más racional es agregar en el techo un ventilador axial para absorber el aire húmedo que sale de la masa de cereal, y con caudal similar al del ventilador del sistema. El techo debe tener la suficiente resistencia para soportar ese peso adicional.

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 para evitar que los vapores húmedos se metan a los tubos o 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, y corrosión en partes metálicas (Figura 80).**

### **Figura 80. Tres tipos diferentes de trampas de humedad**

**Conducto cerrado**

**Salida de humedad**

**Válvula operada por pistón y cremallera**

**Las aberturas deben tener una superficie total de 1,5 veces la superficie de la boca de los ventiladores.**

**Aun tomando precauciones, es probable que se produzca una leve condensación de humedad en las paredes de la mayoría de los silos de secación 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 seca-aireación, si van a ser empleados como silos de almacenaje prolongado.**

**Cuando la temperatura exterior es inferior a 10°C, la condensación es más abundante, lo que puede acontecer en horas de la noche. Si la temperatura fuera muy**

**baja, y la condensación no se pudiera eliminar, podría hacerse el enfriamiento en horas más templadas.**

**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 más 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.**

### **3.18 Insuflar o aspirar el aire?**

**Entre los que usan la seca-aireación y aireación común, es objeto de discusión cuáles son 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 acopio que empleaban seca-aireación en Argentina y que fueron encuestadas, de Dios, C.A. y Puig, R.C. (1984) encontraron que más 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 foco 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 quedaría expuesto al fisurado (cuarteado), 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 más 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.**

**En el caso de los enfriadores continuos mencionados más adelante es imprescindible el empleo del aire impulsado hacia arriba, así como en cualquier sistema de enfriamiento en silo que trate de ser continuo con el rendimiento de la secadora.**

### **3.19 Termometría**

El uso de cables con termocuplas en los silos de enfriamiento es una práctica 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 el caso que el aire se aspire, el control sólo podrá efectuarse en el aire que sale por el ventilador y antes que pase por éste, aunque este procedimiento no resulta completamente confiable.

---

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

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

---

### 3.20 Cíenlos para el diseño de silos de seca-aireación

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

El Cuadro 11 muestra los datos más 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.

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 área perforada de los conductos (ductos) 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 superficial de los conductos (ductos) se calcula dividiendo el caudal total en m<sup>3</sup>/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 7,30 m de diámetro y lleno hasta 9 m de altura (382 m<sup>3</sup> con un caudal unitario de 48 m<sup>3</sup>/h.m<sup>3</sup>, se necesitan:

$$382 \text{ m}^3 \times 48 \text{ m}^3/\text{h.m}^3 = 18336 \text{ m}^3/\text{h} = 307.5 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\text{Superficie de los conductos} = \frac{307,5 \text{ m}^3 / \text{min}}{9 \text{ m} / \text{min}} = 34 \text{ m}^2$$

Para un tubo de 0,5 m de diámetro (1,57 m de circunferencia) corresponder una longitud de:

$$\frac{34 \text{ m}^2}{1,57 \text{ m}} = 21,6 \text{ m}$$

Calculando el 80% de superficie aprovechada, se necesitarán 27 m de tubo perforado.

El mencionado silo requerir una potencia de ventiladores de más de 38 CV que, aunque pudiera repartirse en dos o tres ventiladores, significa un alto consumo de energía.

Sería preferible un silo más ancho, por ejemplo de 10 m de diámetro, y llenando solo hasta 6 m (unas 360 t), que solo necesitar la mitad de la potencia.

De acuerdo al Cuadro 11, este silo deberá tener 42,4 m<sup>2</sup> de superficie perforada, 27 m de conductos de 0,50 m de diámetro, y un caudal de aire de 387,6 m<sup>3</sup>/min.

**Observarse en el mismo cuadro que cuando la altura del grano se duplica, para mantener el mismo caudal unitario de aire, la potencia necesaria se multiplica por 10.**

**Las velocidades del aire en los conductos (ductos) y tubos no deben exceder los 450 m por minuto. Si se divide el caudal total de aire por 450, se obtiene la sección de conductos (ductos) mas apropiada. Los cambios de dirección y las aberturas no debieran restringir el caudal de aire.**

**Cuadro 11. Cálculo de silos de enfriamiento para seca-aireación (cuadro traducido y adaptado de la obra "Dryeration and bin cooling systems for grain", de McKenzie y Foster). a) Datos de normas ASAE para maíz seco y limpio, aumentados UD 50% debido a material fino y compactación, más 1,3 cm por tolerancia por pérdidas de conductos; b) calculada sobre una base de eficiencia del ventilador del 50%; c) superficie mínima perforada de la superficie de conductos; - valores superiores a límites prácticos**

### **3.21 Enfriadores**

**Desde hace unos años se ha desarrollado en Francia (países que están 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 81, están formados por una cámara superior que recibe el grano proveniente de la secadora y donde este va descendiendo al tiempo que sufre el período de reposo. Luego llega a la zona de enfriamiento que tiene caballetes similares a los de una secadora, por lo que desciende el grano y recibe la corriente de aire en forma de contracorriente (de abajo hacia arriba).**

### **[Figura 81. Enfriador continuo \(Doc. ITCF\)](#)**

**Los vapores de condensación (vapos) son eliminados a través 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 de secadora, u otro similar. La capacidad de este enfriador en toneladas/hora, debe ser por supuesto igual a la capacidad de la secadora.**

**La gran ventaja de este equipo radica en que hace totalmente continuo el proceso de seca-aireación, trabajando al mismo ritmo de la secadora de manera que el sistema se acelera en forma considerable, y puede ser automatizado en su totalidad.**

En la seca-aireación clásica, el inconveniente radica en que, al emplear silos de enfriamiento de fondo cónico, en la descarga sale primero el grano de la parte superior, que está húmedo y caliente. Esto obliga a esperar a que todo el silo haya sido enfriado y secado para abrir la descarga. Los enfriadores mencionados tienen una descarga pareja, de forma tal que va saliendo el grano inferior, ya seco y frío, con lo que se consigue la simultaneidad con el rendimiento de la secadora.

Se necesita un solo enfriador por secadora de una capacidad similar a la misma. Ya que su tamaño y porte es parecido a una secadora, su costo puede ser igual o aún superior.

Sin embargo, los enfriadores de este tipo pueden ser usados también como silos de mantenimiento o prealmacenamiento de grano húmedo o como silos secadores con aire natural.

## 4. Ventajas e inconvenientes

### 4.1 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 tales 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 secaaireación entre el 15% y el 37% 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 aún 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 mucho, condición que obliga a buscar soluciones para reducir tales perjuicios económicos. La economía que proporciona en este sentido la seca-aireación resulta significativa.**

## **4.2 Problemas de calidad**

**En otras partes de este trabajo ya se ha mencionado que con la 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., Meiering, A.G. y Otten, L. (1979) demostraron que el maíz secado con secaaieación, analizado con un índice de remojo empleado en molienda hmeda, mostró valores superiores a 200, mejores que muestras provenientes del secado convencional.**

**Ensayos de Gustafson y Morey (1979) indicaron que la seca-aireación produjo un aumento de 1,2 kg en el peso hectométrico 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. (1980) en la campaña 1979-1980 permitieron comparar secaireación con el secado convencional en relación a la calidad de grano de maíz. Los resultados promedios obtenidos se observan en el Cuadro 12.

Sistema	Granos cuarteados %	Peso hectolétrico g/hl	Poder germinativo %
Secado convencional	61,89	74,86	28,75
Seca-aireación	13,03	76,11	49,11

**Cuadro 12. Calidad del maíz en comparación con el sistema de secado**

Como se puede observar, la seca-aireación 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 más restringidas.

El cuarteado o fisurado, las causas que lo originan, y los problemas que ocasiona, han

## sidio descritos en el Capitulo 4.

La otra observación importante fue la ganancia en el peso hectométrico, 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 t anuales con secación ocupará 658 m<sup>3</sup> 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.

### 4.3 Otras ventajas de la seca-aireación

El hecho de producir un grano más sano (con menos fisuras y por consiguiente poco expuesto a la rotura) significa que se tendrá una menor proporción de granos quebrados 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 la 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 paso de 1,15%.**

**Cuando se debe 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 una significativa ganancia de tiempo. Solamente se necesitarán dos pasadas cuando el grano tenga humedades de 35% o más.

Del mismo modo resulta ventajoso cuando deben secarse maces con diferentes porcentajes de humedad. En este caso, cuando se emplea el secado convencional, se producirá un sobresecado en los maces 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.

Suelen emplearse algunas variantes de seca-aireación, como el secado combinado, el secado por retorno, el secado con dos secadoras, todos los cuales se encuentran explicados en el Capítulo VI.

Igualmente, cuando se trata del secado de diversos granos en el Capítulo IX se hace referencia a la aplicación de seca-aireación.

#### 4.4 Algunos inconvenientes

**Son pocos los inconvenientes o desventajas que puede presentar la seca aireación. 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 la seca-aireación no es adecuada 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 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.

En el futuro es posible que todas estas operaciones se automaticen, pues ya existen dispositivos y sensores para estas tareas, como ya se ha detallado en otro capítulo.

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 maiz

caliente, debido al exceso de humedad y calor a que están sometidas, por lo que su duración es menor.

## Bibliografía

AIANBA (1975). (ornadas de Secado y Almacenaje de Granos. Pergamino, Argentina.

AIANBA (1983). Reunión Técnica sobre Calidad de Trigo. Pergamino, Argentina.

BLIN, M (1979). Installation de séchage "multitemperatures" associée avec la dryeration. Perspectives Agricoles, Mars, N°24: 49. ITCF, France.

BROWN, R.B., FULFORD, G.N., DAYNARD, T.B., MEIERING, A.G. y OTTEN, L. (1979). Effect of drying method on grain coroguality. Cereal Chemistry, val. 56, N°6: 529.

de DIOS, C.A. y PUIG, R.C. (1980). Comparación de dos sistemas de secado de maíz. II Congreso Nacional de Maíz AIANBA, Pergamino, Argentina.

de DIOS, C.A. y PUIG, R.C. (1984). Estado actual del sistema de secaaireación de



**granos de maíz. III Congreso Nacional de Maíz, AIANBA, Pergamino, Argentina.**

**GUSTAFSON, R.J. y MOREY, R.V. (1979). Study of factors affecting quality changes during high-temperature drying. Transactions of the ASAE, Vol 22 N°4: 926.**

**LASSERAN, J.C. (1977). La dryeration ou refroidissement lent différentiel. Perspectives Agricoles, Juin-Juillet N°6: 59.**

**MARSANS, G. (1984). Secado y Acondicionamiento de Granos. Junta Nacional de Granos. Centro de Acopladores de Cereales de Bragado.**

**MC KENZIE, B.A., FOSTER, G.H., NOYES, R.T. y THOMSON, R.A. (s.f.) Dryeration. Better corn quality with high speed drying. Cooperative Extension Service, Purdue University, Lafayette, Indiana, U.S.A., AE-72. 20p.**

**MC KENZIE, B.A., FOSTER, G.H., y FOREST, P.E. (1980). Dryeration and bin cooling systems for grain. Cooperative Extension Service, Purdue University, Lafayette, Indiana, U.S.A., AE-107. 18 p.**

**NEVES, M.J.B., FORTES, M., MOREIRA, S.M.C. y PINHEIRO FILHO, J. (1983). Simulação físico-matemática do processo de seca-aerado. Revista Brasileira de**

Armazenamento, Vo] 8 N°1 e 2: 3. Viçosa, Brasil.

SABBACH, M.A., FOSTER, G.H., HAUGH, G.C. y PEART, R.M. (1972). Effect of tempering after drying on cooling shelled coro. Transactions of the ASAE, Vol 15, N°4: 763. St. Joseph, Michigan, U.S.A.

---

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

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

---

## Capitulo VIII - Manejo y funcionamiento

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

Este capítulo trata sobre el manejo y funcionamiento de la secadora, que incluye los temas de la elección, la ubicación en la planta de acopio, las operaciones previas al secado, los equipos de movimiento de granos, la puesta en marcha, los principales problemas de manejo, los incendios y otros aspectos afines.

## 1. Elección de la secadora

El tamaño o la capacidad de la secadora no debe ser el principal factor de elección, cuando ya se ha seleccionado un tipo o marca determinada. Casi siempre, en las plantas modernas, se opta por secadoras de buena capacidad, por razones obvias.

Se debe tener en cuenta que el precio de la secadora representa alrededor del 50% de una instalación de secado, porque hay que pensar además en la noria elevadora, en el silo de grano húmedo, en la provisión de combustible, en los ciclones para polvo, etc.

Pero el costo del secado es un ítem considerable de la planta y hay que meditar seriamente en el consumo de energía y la selección de personal capacitado para su manejo.

La opción por un tipo u otro de secadora es importante porque existen diferencias entre ellos, con relación a uniformidad de secado, potencia requerida, adaptación a diferentes granos, etc. Por ello, recomendamos la lectura del inciso 2: ¿Secadoras de columnas o secadoras de caballetes?

Siendo el secado de granos una operación tan trascendente, la adquisición de una

**secadora debe realizarse con un asesoramiento apropiado. El comprador tiene que entender que su personal debe ser entrenado por el vendedor de las secadoras durante un período prudencial. Tan perjudicial como una secadora deficiente, lo es otra buena, manejada por personal incompetente.**

**Toda secadora nueva debe estar provista de un manual donde estén indicadas las especificaciones y medidas de la máquina, seguido (o en manual separado) de las instrucciones para su correcto uso y ajustes.**

**Los fabricantes de secadoras tienen que ser concientes de la trascendencia de contar con manuales de características de la secadora y su consumo de energía, datos que el fabricante debe suministrar para distintos tenores de humedad inicial del grano y para diferentes temperaturas del aire caliente y para varios tipos de granos.**

**Es asimismo innecesario comentar la importancia de un buen servicio por parte del fabricante durante la vida de la secadora, porque es bien sabido que las pérdidas que se ocasionan cuando se detiene una máquina en plepa temporada por algún inconveniente de orden mecánico, son considerables.**

## 2. ¿Secadoras de columnas o secadoras de caballetes?

Dentro de las secadoras de flujo continuo, tipo torre, los modelos más comunes en las plantas de acopio pertenecen a alguno de estos dos grupos.

Las de columnas predominan en Estados Unidos mientras que las de caballetes prevalecen en Europa, particularmente en Francia. En Argentina tenemos los dos tipos.

La cuestión que surge es cuál resulta más ventajosa o superior, o cuáles son las condiciones a las que más se adapta cada una.

A continuación se analizan varios [tenis que permitirán evaluar las características de cada tipo.

### a) Uniformidad de secado

Las secadoras de caballetes, al distribuir el grano en diversas capas de menor espesor, permiten un mejor intercambio entre aire y grano; además, por la forma y distribución de los caballetes, los granos son atacados por el aire caliente ya sea por flujo cruzado, por contracorriente y por acción concurrente, de manera que se mejora notablemente el contacto grano-aire. Por esta razón estas secadoras son conocidas

**también como "de flujo mixto".**

**Esta mejor distribución entre aire y grano permite reducir las diferencias entre las humedades de granos individuales, es decir, mejorar la uniformidad de secado.**

**Las secadoras de columnas no alcanzan una uniformidad tan satisfactoria pues en las columnas los granos que están más cercanos en contacto con la pared que recibe el aire caliente, se secan excesivamente, mientras que los que están en contacto con la pared del otro lado, no llegan a secarse adecuadamente. Es posible que granos que ingresan a la máquina con, digamos, 18% de humedad, tengan a la salida una humedad promedio de 14%, pero si se pudiera medir la humedad de granos individuales, muchos tendrían 17% de humedad y otros están sobresecados a 8-9%. Los primeros pueden causar problemas posteriores de conservación, y los segundos habrán perdido gran parte de sus buenas propiedades.**

## **b) Construcción**

**Las secadoras de columnas son de fabricación más simple y, por consiguiente, a igualdad de tamaño, más baratas. Por el contrario, las de caballete son más**

**complejas. Estas diferencias se refieren únicamente a la cámara de secado.**

### **c) Potencia requerida**

**Como el aire debe cruzar las columnas de secado y atravesar dos chapas perforadas correspondientes a las paredes, las secadoras de columnas absorben mayor potencia que las de caballetes.**

### **d) Capacidad de secado**

**A igualdad de tamaño, las de columnas pueden tener una capacidad algo mayor, pues el flujo de granos es más libre.**

### **e) Caudal de aire**

**Por las razones expuestas al mencionar la potencia requerida, los caudales necesarios**

**para las máquinas de columnas son mayores, y pueden llegar a 5000 m<sup>3</sup>/h y por m<sup>2</sup> de grano, mientras que las similares de caballetes tienen valores iguales a la mitad de aquellos.**

### **f) Peligro de incendio**

**Al tener menos obstrucciones en su recorrido, el grano está menos expuesto al peligro de incendios en las secadoras de columnas que en las de caballetes. Estas últimas, si no se diseñan bien los caballetes y su distribución, pueden acumular materiales en algunos puntos, los que se recalientan y pueden iniciar un fuego.**

### **g) Obstrucciones**

**En las secadoras de columnas pueden taparse los agujeros de las paredes por la basura de los granos si éstos no están suficientemente limpios antes de entrar a la máquina. Esto reduce el rendimiento y obliga a limpiar periódicamente.**

**En los caballetes pueden producirse atascamientos por el mal diseño de los mismos o**



## **por trabajar con granos muy sucios.**

### **h) Adaptación a diferentes granos**

**Las máquinas de caballetes se adaptan para procesar granos de diferente poso y tamaño, pero hay que tener la precaución de reducir los caudales de aire cuando se trata de semillas livianas o pequeñas, por el peligro que las arrastre el aire hacia el exterior.**

**Las de columnas también se adaptan para diferentes granos, siempre que las semillas no sean más pequeñas que los agujeros de las paredes.**

### **i) Temperatura de secado**

**Como las secadoras de caballetes hacen una más completa mezcla de aire caliente y grano, pueden utilizar temperaturas de secado más elevadas que las de columnas. En estas últimas las temperaturas deben ser algo menores para evitar daños excesivos a los granos.**

## **j) Eficiencia de secado**

**Es mayor en las máquinas de caballetes, por las razones expuestas anteriormente. Ello significa que requieren menos kilocalorías por cada kg de agua evaporada que las de columnas. También pueden tener un menor consumo energético.**

## **k) Contaminación al exterior**

**Ocasionan menor contaminación las secadoras de columnas porque arrojan una menor cantidad de basura al exterior, pues queda retenida en las paredes de las columnas. Las de caballetes, como no tienen paredes, los caballetes libres impulsan más material hacia afuera.**

## **l) Limpieza final del grano**

**Por los mismos motivos recién expuestos al mencionar la contaminación al exterior,**

**las secadoras de caballetes entregan el grano con mayor limpieza que las de columnas.**

### **m) Fisurado del grano**

**Es posible que las secadoras de columnas originen más fisurado de granos que las de caballetes, a causa de que emplean un mayor caudal de aire, que ocasiona al grano tensiones más severas.**

### **n) Pérdidas de calor**

**En las secadoras de caballetes, las pérdidas pueden ser mayores en el plenum de calor, pues las paredes laterales están en contacto con el aire ambiente por el lado externo. En cambio en las secadoras de columnas, las pérdidas son menores, porque el sentido de circulación del aire caliente es de adentro hacia afuera.**

### **o) Limpieza de la máquina**

**Se hace más fácil en secadoras de caballetes, pues no tienen paredes perforadas. Estas paredes perforadas necesitan más tiempo para ser limpiadas.**

### **o) Volumen de grano**

**Las secadoras de caballetes tienen un mayor volumen de grano en su interior que las de columnas de similar tamaño, lo cual les permite un secado más lento por medio de una mayor exposición al aire de secado.**

## **3. Cálculo de la capacidad necesaria de secado**

**Vamos a tratar dos casos para calcular la capacidad óptima que debiera tener una secadora. El primero se refiere a un productor y el segundo, a plantas de acopio.**

### **Caso 1: Productor**

**Un productor agrícola que quiera poseer su propia secadora, puede calcular la**

**capacidad necesaria de secado, en base a sus operaciones de cosecha. Con este fin debe aplicar esta fórmula.**

**Capacidad = [Capacidad cosechadora (t/h) x horas diarias de cosecha x 1.20] / Horas diarias de secado**

**Este valor 1,20 permite un 20% de tolerancia por mayor rendimiento del cultivo o de la máquina.**

**Ejemplo:**

**Capacidad cosechadoras: 15 t/hora**

**Horas diarias de cosecha: 8 horas**

**Horas diarias de secada: 16 boros**

**Capacidad secadora = [15 x 8 x 1.20] / 16 = 9 t/h**

**Será suficiente una secadora de 9 t por hora para ir secando, por ejemplo, durante la noche la producción diaria. Debe tenerse presente que la capacidad de una secadora está dada para extraer humedad ente 18 y 13,5% o cifras aproximadas.**

**Cuando las humedades son mayores, la capacidad de la secadora se resiente bastante.**

## Caso 2: Planta de acopio

No puede pretenderse instalar una capacidad de secado igual o mayor que las máximas recepciones diarias de grano húmedo, pues significaría una inversión excesiva.

Conviene calcular el promedio de recepción diaria de grano húmedo en toda la temporada, y fijar una capacidad de secado mayor a ese dato.

También, se puede tomar el promedio de las recepciones diarias de grano húmedo de los tres días consecutivos de mayor recepción, y fijar una capacidad de secado algo menor.

Ejemplo: Una planta recibe en los tres días de máxima recepción un promedio de 15 camiones de 30 t con humedad de maíz del 24%. Son 450 t diarias y si la secadora trabaja 16 horas, resulta una capacidad de 28 t/h. A esas humedades se requiere una secadora de 50 t/h (datos de fábrica, capacidad nominal), pudiéndose elegir una máquina de 40-45 t/h.

Hay que tener presente que hoy en día solo tres cosechadoras, recolectando maíz con cabezales de 6 surcos, a 6 km/hora, pueden juntar unas 6 ha por hora, que

**pueden significar 36 t de maíz por hora, o sea la capacidad de una secadora de maíz de 50 t/hora (dato de fábrica) para secar maíz de 22% de humedad.**

## **4. Manejo de plantas de grano**

**Basta con echar una mirada a lo que está sucediendo en los países desarrollados, que a su vez son grandes productores de granos, para formarse una idea hacia dónde avanza el manejo postcosecha en aquellas plantas de acopio de granos que procesan volúmenes considerables.**

**Ya no es suficiente que esté a cargo de un gerente o encargado general con tres o cuatro ayudantes, entre ellos el operario de la secadora, porque la complejidad de las cuestiones y los problemas que se suscitan, escapan a la capacidad y buena voluntad de aquel personal. Hoy se considera que todo ello debe ser encarado con un equipo más completo y perfectamente organizado que actúe sobre todas las cuestiones técnicas, económicas, organizativas, de mantenimiento, etc.**

**Un conjunto de esa naturaleza tendrá que estar constituido por varios niveles, como los que se mencionan a continuación:**

- **Una gerencia comercial, que realiza las transacciones comerciales, que analiza costos e inversiones, que estudia los clientes y los mercados de granos.**
- **Una gerencia técnica, que se ocupa de las instalaciones y los transportes, que selecciona y monta los equipos de secado, almacenamiento y otros, y que analiza y archiva toda la información técnica. De ella dependen:**
  - **Un jefe de planta, que est  a cargo de todos los procesos, desde la recepción de los granos hasta su despacho, y que hace funcionar los equipos;**
  - **Un encargado de las secadoras;**
  - **Un jefe de mantenimiento de toda la planta.**

**Todo este equipo debiera reunirse periódicamente, quizá todos los días en épocas de recepción de granos, bajo la batuta del gerente técnico.**

**En el caso específico del manejo del proceso de secado, a estos niveles, se necesita una persona de amplios conocimientos técnicos, ampliamente capacitada, en particular en el campo de los procesos térmicos. Cada vez se justifica menos que el encargado de las secadoras sea un operario práctico con poca base técnica o científica, teniendo en cuenta los grandes volúmenes procesados y los valiosos**



**capitales que están en juego.**

## **5. El ejemplo de Francia**

**Francia es hoy en día el primer país productor de granos de Europa, y uno de los más importantes del mundo. Su producción anual se acerca a los 60 000 000 t, de las cuales unas 30 000 000 corresponden al trigo y casi 14 000 000 al maíz.**

**Este crecimiento francés se ha experimentado en las últimas décadas, y ha sido causa para que se haya adoptado una tecnología moderna para el manejo postcosecha de los granos.**

**Esto se verifica principalmente, en las instalaciones de almacenamiento y dentro de ellas, por las eficientes técnicas de secado.**

**El maíz se cosecha en Francia con elevados contenidos de humedad que, en algunas regiones, puede llegar al 40%. La mayoría de la producción se cosecha entre 30 y 35%. Entonces, el secado constituye una preocupación fundamental para el acopio, por la alta acumulación de partículas húmedas en la época de recolección, y por los**

**elevados consumos de energía que requiere la operación.**

**Ante tal circunstancia se ha ingeniado para diseñar secadoras de elevada eficiencia energética, que pueden procesar grandes volúmenes en poco tiempo y que al mismo tiempo no afectan demasiado la calidad del grano.**

**Gracias a la acción mancomunada de fabricantes de secadoras, de grandes acopladores y cooperativas, y con el apoyo de instituciones de investigación, se ha logrado tener hoy en el mercado francesas secadoras modernas que ellos llaman de la "nueva generación y que posiblemente, sean las mejores a nivel internacional.**

**Entre los institutos de investigación que han trabajado en estos aspectos debe destacarse al ITCF (Institut Technique des Céréales et Fourrages), en su Estación Experimental de Boigneville.**

**Muchas de las innovaciones que se detallan en este libro tienen su origen en aquella experiencia francesa, haciéndose referencia en cada oportunidad a la fuente respectiva.**

**Es interesante describir la política que siguen en Francia muchos acopladores en la época de cosecha de maíz. Como la temporada de cosecha se ha acortado mucho**

en los últimos tiempos en dicho país, la concentración en las plantas de acopio de las partidas de ese grano se ha agudizado en forma considerable. Como la mayoría del maíz arriba húmedo, el secado se ha convertido en un cuello de botella para dichas empresas.

A fin de paliar este inconveniente optan por emplear relativamente bajas temperaturas de secado al principio de la temporada, cuando todavía los arribos son escasos, lo que les permite obtener lotes de maíz de buena calidad, que destinan, generalmente, a la molienda húmeda.

Pero cuando se presenta el pico de llegadas, aumentan las temperaturas de secado para que se incremente la capacidad de las secadoras, lo cual significa conseguir maces de menor calidad. Estos maces destinados a la industria de alimentos balanceados.

Pasado el periodo de urgencias, cuando se comienza a reducir la cantidad de ingresos a la planta, vuelven a reducir las temperaturas de secado, obteniendo de nuevo mejor calidad de granos. De esta forma pueden disponer, como mínimo, de dos calidades de maces, con precios diferenciales para determinados consumidores.

Algunos acopladores, para alentar a los productores a entregar su maíz en épocas

**tempranas, o más tardas, fijan una tarifa más reducida de secado para esos periodos, valor que aumenta en los momentos de mayor recepción.**

## **6. Ubicación y cobertura de las secadoras**

**Si bien al desarrollar otros temas se menciona la necesidad de colocar la secadora en una posición algo alejada del resto de las instalaciones, hace falta agrupar aquí las razones invocadas, que serán de utilidad para quienes tengan que estudiar un proyecto para una nueva planta de acopio.**

**Se aconseja ubicarlas como mínimo a unos 5-6 m del resto de los silos, con el fin de conjurar el peligro de los incendios a que están expuestas y para evitar que los abundantes volúmenes de vapor de agua que generan puedan afectar a depósitos de granos, limpiadoras y otras partes de la planta.**

**Otra advertencia es que se mantenga alejada de lugares donde abundan impurezas en el aire, como en las cercanías de fosas de recepción, de limpiadoras, ciclones, aire usado de otras secadoras, etc., para evitar que sean absorbidas por los ventiladores. También hay que tener en cuenta la acción de los vientos dominantes.**

**La secadora no debiera ser ubicada dentro de un edificio o galpón donde se desarrollen otras actividades, excepto que estuviera construido especialmente para abrirla, y con las aberturas adecuadas para el ingreso de aire y para eliminar gases y los vapores de humedad.**

**A fin de no reducir la eficiencia de los ventiladores, las aberturas para el ingreso del aire deberian tener una superficie de por lo menos 2,5 veces la superficie de las bocas de aspiración de los ventiladores.**

**En algunos países las secadoras de granos están protegidas por una instalación o estructura que las cubre totalmente y que forma parte de la misma secadora.**

**Muchas de ellas, vistas desde afuera, aparecen como un bloque compacto, de gran altura (ver Figura 82).**

### **[Figura 82. Secadora totalmente cubierta \(Doc. Law\)](#)**

**Esta cobertura tiene varios objetivos. Uno de ellos sería una protección general de la máquina contra las inclemencias del tiempo (lluvia, nieve, vientos). Otro tiene por finalidad reducir los niveles de contaminación del aire y de ruido.**

En países europeos existen reglamentaciones que prohíben arrojar al aire los residuos y basura de los granos que transporta el aire usado, los cuales, con esa cobertura pueden ser acumulados, dándoles después algún uso particular. También se disminuyen los niveles de ruido, que son elevados en la mayoría de las secadoras, producidos por los ventiladores, y que igualmente sufren restricciones reglamentarias, sobre todo en áreas urbanas. Además, proporcionan un mejor aislamiento térmico.

En Francia, por ejemplo, se limita el contenido de polvo y basura arrojado por la máquina a 30 miligramos/m<sup>3</sup>, para instalaciones contiguas a poblaciones, mientras que para aquellas ubicadas a más de 400 m de estas, se puede admitir hasta 150 mg/m<sup>3</sup>, siempre que el flujo total de polvo y basuras emitido sea inferior a 10 kg/hora en un promedio de 24 horas (Gauthier et al, 1989).

En las máquinas con descarga intermitente del grano, se puede producir emisión de polvo y partículas en el momento de las extracciones. Para evitarlo algunas secadoras poseen persianas colocadas sobre los ventiladores que justo se cierran en dicho instante e impiden el paso del aire hacia el interior de la máquina. Cuando finaliza la descarga, se abren de nuevo para restablecer la circulación del aire. La operación dura pocos segundos, no afectando prácticamente el caudal del aire.

Con respecto al nivel de ruido, en ese mismo país se fija un valor base de 45 decibeles corregido por dos índices en función de la hora del día y del tipo de zona donde está instalada la secadora. En áreas semiurbanas se pretende no superar un nivel de 50 dB a 50 m de distancia, lo cual no siempre es fácil.

Un procedimiento práctico para reducir el nivel de ruido emitido por secadoras, es ubicarlas de forma que estén rodeadas de galpones, celdas o depósitos que puedan actuar como barreras del ruido.

Otra ventaja de la cobertura es que en secadoras de caballetes es fácil saber si el aire está arrastrando demasiados granos.

## 7. Prealmacenamiento de maíz húmedo

Uno de los problemas más serios que enfrentan los acopladores es la gran recepción de granos húmedos que llegan en el momento máximo de la cosecha gruesa. Las secadoras no alcanzan a procesar con velocidad todas esas partidas, e importantes volúmenes de grano quedan almacenados a la espera de su turno, o deben ser rechazados con gran disgusto de los productores. En muchos casos los acopladores

**están obligados a utilizar muy altas temperaturas de secado, que aumentan la capacidad de la secadora, pero afectan en forma excesiva la calidad final de la mercadería.**

**No es económicamente factible tener tantas secadoras en una planta de acopio para evitar estos problemas, pues los costos de amortización se elevan en forma considerable.**

**Más lógico es contar con silos de almacenamiento de maíz: húmedo, equipados con bien diseñados equipos de aireación y de control de temperatura, que permitan mantener, por cortos periodos, los granos suficientemente frescos y aireados para reducir los peligros de calentamiento, ataque de hongos, etc.**

**No solo disminuyen posibles pérdidas por aquellas causas, sino que permiten mantener una aceptable calidad. Igualmente, una aireación previa al secado puede reducir en algún punto la humedad inicial, y al mismo tiempo uniformar las humedades de partidas con diferentes porcentajes, todo lo cual favorece por supuesto el trabajo de la secadora.**

**Un correcto prealmacenamiento impide el desarrollo de micotoxinas por causa de aparición de hongos, ya que dicho periodo es el momento más peligroso, pues la**



**producción de dichos productos tóxicos encuentra las mejores condiciones de crecimiento. Mantener los granos fríos y eliminar los focos de calor pueden evitar estos inconvenientes.**

**Vale la pena aclarar que no se recomienda almacenar partidas de granos que tengan más de 4-5 puntos de diferencia de humedad entre si, sobre todo para conseguir un secado más uniforme y mejor calidad de grano.**

**Lo ideal sería contar con varios silos de prealmacenamiento donde se depositarían granos con humedades más aproximadas entre si. Esta posibilidad va a facultar una mejor regulación de la secadora. Una medida recomendable es mantener prealmacenados los granos con bajo contenido de humedad, hasta tener una cierta cantidad, y luego pasarlos por la secadora todos de una vez. Esto permitiría secar enseguida los granos húmedos.**

**No está demás recordar que la aireación requerida en estas condiciones tiene que tener valores de caudales de aire superiores a los de una aireación común, y un diseño muy racional de los conductos perforados, para que toda la masa reciba similares cantidades de aire.**

**Mientras que para grano seco es suficiente un caudal de 6,5 m<sup>3</sup> por hora y por t de**

**grano, para granos con 20% de humedad se requieren caudales de 25 m<sup>3</sup>/hora/t y con 30% de humedad, más de 50 m<sup>3</sup>/hora/t.**

**Pero debe insistirse en que cuanto más húmedo esté un maíz, mayor será el peligro del rápido deterioro que puede sufrir, por lo que los períodos de prealmacenamiento en estos casos deberán ser muy cortos.**

**Tampoco se recomienda que la altura del grano en el silo supere los 10-12 m. Es evidente que estas instalaciones son costosas, pero un buen administrador debe sopesar las ventajas y desventajas de cada sistema. Una aireación de más de 50 m<sup>3</sup>/hora/t puede necesitar una potencia eléctrica unas 200 veces superior a la aireación clásica.**

## **8. Algunos problemas**

**Es posible que una aireación como la señalada origine una pérdida de peso en la mercadería porque provoca una mayor respiración de los granos pues aumenta la provisión de oxígeno; esta pérdida es ocasionada por la elevada producción de anhídrido carbónico, pero será casi inadvertida en aireaciones cortas, aunque es**

**más evidente si el proceso se prolonga. Para mases con más de 30% de humedad, un lote almacenado durante 7 días puede sufrir una pérdida del 2% de materia seca.**

**También hay que recordar que cuando se llena un silo con maíz húmedo, el primer maíz cargado será en general el último en salir, en silos de descarga inferior. Conviene que el silo se descargue completamente antes de volver a ser llenado. En caso contrario, gran parte de ese primer grano saldrá recién al terminar la campaña, con el peligro que se arruine y cause serios problemas.**

**Un maíz almacenado húmedo (más de 25%) sin aireación, sufre también una considerable pérdida de su calidad industrial en la molienda húmeda, luego de más de 24 horas, pues el índice de recuperación de almidón puede registrar una caída de cinco puntos, además de una reducción de las buenas propiedades de ese almidón. El monto de esta pérdida dependerá en definitiva de la temperatura a la que se mantenga el grano.**

**Le Bras (1984) dice, refiriéndose a la calidad para molienda húmeda, que un maíz húmedo puede soportar hasta 3 semanas de prealmacenamiento con una buena aireación reforzada, por lo menos con un caudal de 50 m<sup>3</sup> de aire por hora y por t de grano.**

**Pero si el caudal es mucho menor la aireación puede ser todavía peor que sin aireación, pues aporta oxígeno que alimenta la respiración sin evacuar el calor, lo que contribuye a aumentar la velocidad de deterioro.**

**El mismo autor recomienda que para maces muy húmedos (35 - 40%), muy comunes en Francia, el prealmacenamiento no debiera superar las 48 horas, sino con una aireación reforzada.**

**La mayoría de las recomendaciones indicadas para el maíz pueden ser aplicadas a otros granos. Algunos cerealistas en Argentina no se preocupan mucho porque ciertos granos, como el girasol o el sorgo, incrementen su temperatura durante ese periodo, porque saben que esa elevación favorece el trabajo posterior de la secadora aumentando su eficiencia. Sin embargo, esta práctica debe ser manejada con suma prudencia para evitar daños posteriores irreparables.**

## **9. Atmósfera controlada**

**Esta técnica es la más apropiada para mantener almacenados granos húmedos. Es costosa actualmente, pero es muy posible que sea un procedimiento común en un**

**futuro no muy lejano.**

**El método reside en emplear silos o depósitos perfectamente herméticos que se llenan de granos, al cual se le introduce un gas inerte que desplace al oxígeno, gas que puede ser anhídrido carbónico o nitrógeno. De esta manera, se eliminan casi totalmente los ataques de hongos e insectos, y se reducen al mínimo los procesos biológicos de respiración y fermentación (Figura 83).**

**Se han observado algunos problemas con esta técnica, por ejemplo, ciertas fermentaciones que pueden modificar el olor y producir un oscurecimiento de los granos, pero ello sólo durante períodos muy prolongados (varios meses y aun años) y en granos secos.**

**Se recomienda muy especialmente la tecnología australiana sobre este tema (ACIAR, 1989).**

**[Figura 83. Equipo generador de gases inertes para atmósfera controlada \(Doc. Gas Atmospheres\)](#)**

## 10. Ácidos orgánicos

Otra técnica para conservar granos húmedos es la aplicación de algunos ácidos orgánicos, como el ácido propiónico y el acético, que actúan como antisépticos para impedir el desarrollo de hongos y bacterias.

La aplicación de esta técnica ha tenido poca difusión porque en varios países se prohíbe para granos destinados a la alimentación humana, y sólo se admite para uso forrajero. Por otra parte, se consigna que los ácidos pueden atacar las partes metálicas de silos, excepto que estén recubiertos interiormente con pinturas resistentes. También se sabe que pueden ser nocivos para la piel y los ojos, salvo que se empleen guantes y gafas protectoras.

Sin embargo, su efectividad como preservativo ha sido demostrada en muchas ocasiones, tanto es así que se fabrican equipos especiales para su aplicación en forma de aspersión a una corriente de granos (Figura 84).

[Figura 84. Aplicador de ácidos orgánicos \(Doc. BP Chemicals\)](#)

## 11. Prelimpieza

Se entiende por "prelimpieza" la limpieza de los granos enseguida de su recepción, o mejor, antes de su secado.

Esta operación puede llevarse a cabo con máquinas especiales, llamadas justamente "prelimpiadoras", de las que existen varios modelos. Las más usadas son del tipo de aspiración o neumáticas, pues se procura que en ese momento se eliminen los materiales livianos (hojas, cáscaras, basura, pedazos de marlos, etc.), ya que estos cuerpos son los que afectan más el proceso de secado. También son recomendadas las limpiadoras con zarandas y aspiración, como la ilustrada en la Figura 85. Las máquinas provistas de cernidores rotativos de grillas (Figura 86) también son utilizadas, pero deben ser objeto de mayor atención pues son propensas a quedar bloqueadas por los residuos.

[Figura 85. Prelimpiadora \(Doc. ITCF\) Entrada de grano sucio. Aspiración de basura liviana. Salida del grano prelimpiado](#)

[Figura 86. Limpiadora rotativa \(Doc. Margarita\)](#)

He aquí una lista de beneficios que acarrea la prelimpieza:

- 1. Costos de secado más reducidos pues no se seca material innecesario (ahorro de combustible). Las impurezas suelen tener más humedad que el grano. Cuando se ha secado 1 tonelada de impurezas a 65% de humedad, se hubieran podido secar 3 t de maíz a 35% con la misma cantidad de energía.**
- 2. Se mejora el pasaje del aire para el secado y la aireación.**
- 3. Se facilita la limpieza final, y se consigue un almacenamiento más seguro, pues se reduce considerablemente la posibilidad de infestación de insectos.**
- 4. La calidad del grano obtenido es mucho más uniforme.**
- 5. Se disminuye grandemente el peligro de incendio y explosiones, sobre todo en secadoras de caballetes.**
- 6. El escurrimiento y movimiento del grano es favorecido.**
- 7. Se aumenta la capacidad de almacenaje, pues se acrecienta el peso hectolétrico del grano.**
- 8. Se tapan menos los agujeros de los conductos de aireación, de manera que se rebajan los trabajos de limpieza de los mismos.**
- 9. Mejores probabilidades de acceder a mercados especializados por la mejor calidad de granos, por ejemplo, molinos de trigo y de maíz, con precios superiores, que pueden compensar con creces el costo extra de la limpieza.**
- 10. En el caso de girasol y algún otro grano se facilita la eliminación de gases combustibles producidos por fermentaciones de materiales húmedos.**



**Son tan evidentes las ventajas de la prelimpieza que uno debe preguntarse como es que no está difundida todavía en todas las plantas de acopio.**

**Desde el punto de vista de la instalación, la prelimpiadora debe tener una capacidad de trabajo ligeramente superior a la máxima capacidad de la secadora para no afectar el trabajo de esta última. Pero en el caso de que los granos llegaran limpios, tiene que haber un mecanismo de desviación para evitar el paso por la limpiadora.**

**La ubicación más adecuada sería directamente encima de la secadora, por lo que se debería tener en cuenta la estabilidad de la estructura destinada a sostenerla.**

**También pueden emplearse limpiadoras convencionales para esta operación, recordando que los materiales húmedos reducen la capacidad de los equipos de transporte como norias, tubos, etc.**

**La ubicación de aspiradoras y ciclones en la cabeza de la noria elevadora que alimenta la secadora puede ser suficiente para una prelimpieza, siempre que estén correctamente dimensionados y construidos y para granos no excesivamente sucios.**

**No está de más recordar que el material removido puede ser recogido y vendido para algunos usos especiales. En algunos países los residuos de la limpieza no**

**pueden ser arrojados al aire libre, sino obligatoriamente almacenados en depósitos apropiados.**

## **12. Equipos para el transporte y movimiento de granos**

**El caudal o capacidad horaria de los equipos de movimiento y procesamiento de granos que se encuentran antes y después de la secadora debe ser tenido en cuenta para no entorpecer el sistema. Si se produce una disminución del caudal de grano que llega a la secadora, por comenzar el secado, por ejemplo, de un cultivo diferente, más liviano, se debe reducir la temperatura de secado, para que la capacidad de la secadora disminuya y coincida con la del equipo de transporte del grano.**

**Del mismo modo, al secar granos con poca humedad inicial, se va a producir un aumento del caudal de granos en la máquina, situación que tiene que preverse para que los equipos de movimiento de granos que alimentan y reciben el grano de la secadora puedan manejar tales mayores volúmenes. Por lo menos dichos equipos deben tener el doble de la capacidad nominal de la secadora.**

**Existen buenas norias elevadoras a dos velocidades para paliar aquellas situaciones, lo**

que también permite conservar un consumo eléctrico más económico.

Otra forma de aumentar la capacidad de las norias es cambiar los cangilones por otros más grandes o agregando más, siempre que la estructura y el mando de la noria lo permitan.

Trabajando con una secadora continua, se necesitan como mínimo dos norias, una para llenar la secadora y la otra para transportar el grano seco al almacenamiento. La primera puede ser de mayor capacidad y la segunda, de una capacidad algo menor.

En todo caso es aconsejable contar con un sistema de derrame en la parte superior de la noria alimentadora de la secadora, que actúa como derivador de exceso de grano hacia un silo de grano húmedo (Figura 87).

[Figura 87. Ubicación del derrame o rebase para carga de secadora \(Doc. Toftdahl Olesen\)](#)

Si la recepción de grano húmedo fuera muy abundante, se requeriría además una tercera noria, para transportar el grano húmedo hacia los silos de prealmacenamiento. Esta noria podría no ser necesaria si se instalara un silo o depósito de prealmacenamiento encima de la secadora, con la suficiente capacidad

**para no detener la recepción de los granos.**

**Con secadoras en tandas es posible arreglarse con una sola noria; también puede emplearse un elevador inclinado para llenar esta secadora y dejar la noria para la descarga y transporte a los silos de almacenamiento.**

**Estas secadoras en tandas o las secadoras horizontales de columnas hexagonales tienen la ventaja de necesitar bajas alturas de elevación de grano, pues la máquina en si no es alta, por lo cual hay un menor costo de movimiento de grano.**

**Sin embargo, estas secadoras, como la ilustrada en la Figura 16, deben disponer de un transportador (generalmente de rosca) en la tolva superior para desparramar y nivelar correctamente la carga de grano.**

**Cuando una secadora ha sido fabricada en países de clima frío, y va a ser usada en zonas cálidas, su capacidad de secado puede aumentar apreciablemente sobre la capacidad fijada por el fabricante, por lo que conviene tener en cuenta este aspecto en la elección de los equipos de movimiento de granos.**

---

**[Índice](#) - [◀ Precedente](#) - [Siguiente ▶](#)**