

# INGENIERIA BERNOULLI

FLUIDODINÁMICA Y VACÍO. TECNOLOGIA DE CAPA FINA

## EVAPORADORES CONTÍNUOS DE PELÍCULA FINA AGITADA PARA SECAGEM DE LECITINA

Artículo aparecido na revista "Óleos e Gorduras"

Autor José María Pedroni



Av. Maipú 3534 piso 1 - B1636HHQ - Olivos -Vicente Lopez - Pcia. de Bs.As.- Argentina

Tel.: 54-011-4792-0392

e-mail: [info@ibernoulli.com](mailto:info@ibernoulli.com)

[www.ibernoulli.com](http://www.ibernoulli.com)

O evaporador de película fina agitada (Fig. 1) é a resposta da tecnologia moderna aos difíceis problemas de concentração de produtos orgânicos pesados, de alta viscosidade, e muito sensíveis à exposição a elevadas temperaturas, como a lecitina.



Figura 1 : SECADOR DE LECITINA DE PELÍCULA FINA-AGITADA DE 20 m<sup>2</sup>

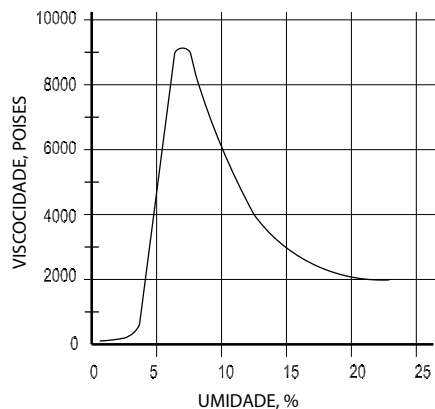


Figura 2: REOLOGIA DO LECITINA A 70 °C.

O evaporador de película fina agitada possui um distribuidor giratório (Fig. 3) que impulsiona, por força centrífuga, a lecitina com uma umidade de 30 a 50% (gomos), contra a parede vertical da camisa aquecida com vapor e desce por gravidade em forma de película. Um agitador dinamicamente equilibrado, acionado por um moto-reductor, fica pendurado por um rolamento superior, e na extremidade inferior é centrado por um coxim de grafite (bucha) refrigerado com água. Tem uma série de pás que giram com um pequeno afastamento da superfície de aquecimento, e formam, com as gomos, uma fina película e um rolo turbulento. Este dispositivo é particularmente apto para líquidos viscosos e não newtonianos, como a lecitina, a qual possui determinadas características reológicas, mostradas na (Fig.2), na qual observamos um incremento desproporcionado da viscosidade quando a concentração está entre 5 e 15%, que posteriormente se reduza valores normais.

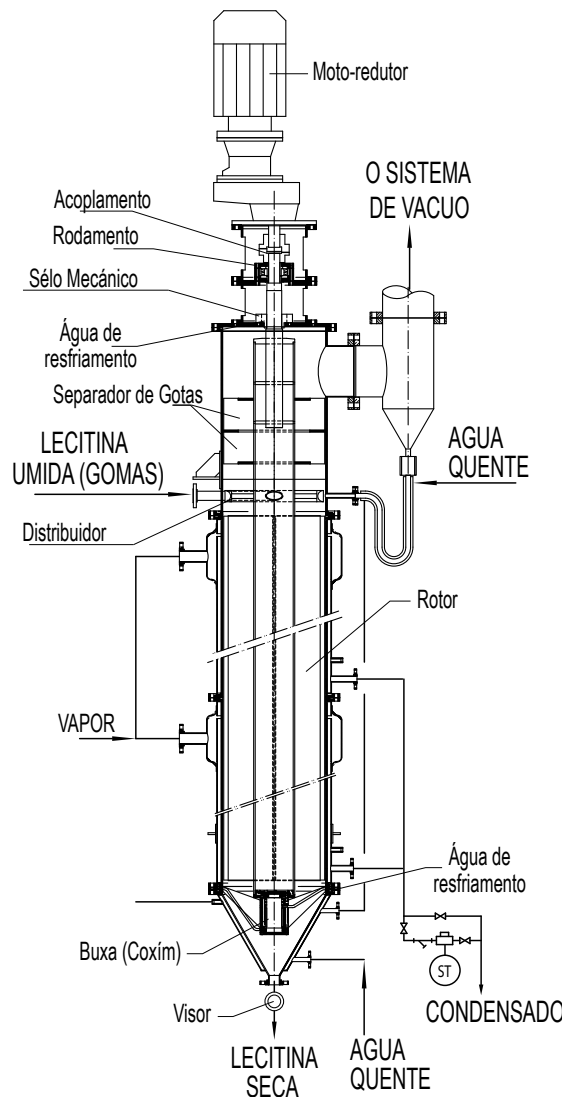


Figura 3: SECADOR DE PELÍCULA DELGADA – AGITADA (DETALHE EM CORTE)

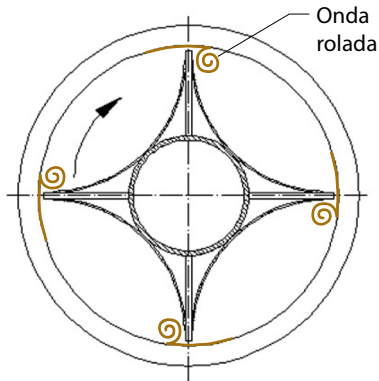


Figura 4.a: ROTOR DE PAS RIGIDAS E AFASTAMENTO FIXO PARA LECITINA

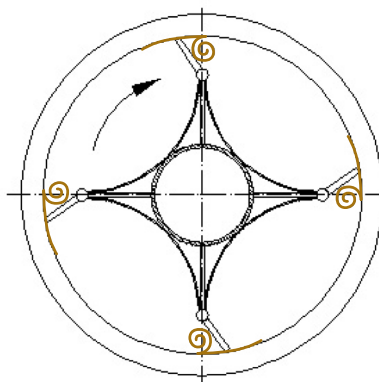


Figura 4.b :ROTOR DE PÁS COM DOBRADIÇAS E VARREDORES DE TEFLON PARA PRODUTOS COM FIBRA OU CRISTAIS GRANDES

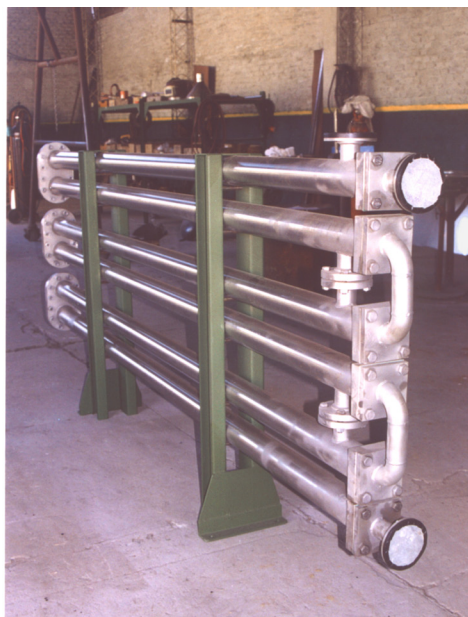


Figura 5 : PRE-AQUECEDOR DAS GOMAS DO TIPO FORQUILHA.

No cono inferior, o evaporador tem um sensor de nível e um encravamento que para a bomba de alimentação si a lecitina não se e inundá-lo. O equipamento não pode trabalhar cheio: só vazio. O supervisor deve ter cuidado que o dispositivo de seguridade esteja ativo. As bombas tem um dispositivo similar para prevenir que não funcionem secas e esquente-se demais.

A umidade da lecitina produzida é 0,5% ou menos. Os vapores formados passam por um separador de gotas de impacto e centrífugo e são aspirados pelo sistema de vácuo.

O evaporador de película fina agitada origina uma capa de pouca espessura atrás das pás, que giram velozmente, e mantêm limpa a superfície, e uma onda enrolada de especial turbulência na frente delas (Fig.4.a),o que aumenta notavelmente o coeficiente de transferência de calor, se comparado com sistemas convencionais. Existem outros tipos de pás, (Fig.4.b), para evaporação de produtos com fibras ou cristais grandes, come ser, o caso da glicerina com sal.

Sob outras considerações, o tempo de residência do produto em contato com a superfície aquecida é mínimo, menos de um minuto, o que é muito importante no caso de materiais orgânicos sensíveis à temperaturas moderadas. Na parte superior do casco têm um separador de arrastes, constituído por uma série de pás giratórias, que impactam e projetam as gotas contra a superfície do corpo, por força centrífuga, e retornam na camisa.

As gomas chegam a baixa temperatura e, por isso, com muito alta viscosidade. Para conseguir uma produção máxima da lecitina seca é conveniente pré-aquecê-las com água quente (não com vapor) até 80°C, o que permite ingressar maior vazão, e mostra que os maiores problemas são mecânicos, não térmicos. Faz-se em um trocador de calor do tipo forquilha, (Fig.5), que trabalha em contracorrente pura.

O evaporador opera sob vácuo, gerado por um sistema de ejetores de 2 ou 3 etapas, para a temperatura da película delgada não passar dos 90°C. O número de etapas do sistema de vácuo, que preferentemente é um dos denominados limpos e determinados conforme a temperatura da água de resfriamento disponível, considerada a época do ano: 2 em inverno e 3 em verão, o necessário para que seja possível ter 40 torr no evaporador. O coeficiente total de transferência de calor do secador, no caso do vapor-lecitina é da ordem de 500 W/m<sup>2</sup>K, ou seja, que, com uma pressão na camisa do vapor de 6 barg ( temperatura 165°C) e evaporando sob vácuo , perto de 40 Torr, a temperatura da lecitina úmida fica de 90 °C , podem-se conseguir as seguintes produções de lecitina seca por dia nos modelos de diferentes áreas de troca:

Área de troca , m <sup>2</sup>	2,6	5	10	20	40
Potência do motor, kW	7,5	15	30	55	110
Potência do resfriador, kW	2,2	4	7,5	11	2 de 11
Ton. por dia de lecitina seca	5	10	20	40	80

Nos casos de grandes produções, o normal é pôr dois ou mais secadores em paralelo, como se mostra na (Fig. 6), onde os dois ficam conectados a um só sistema de vácuo. No fluxograma se mostra a instrumentação básica.

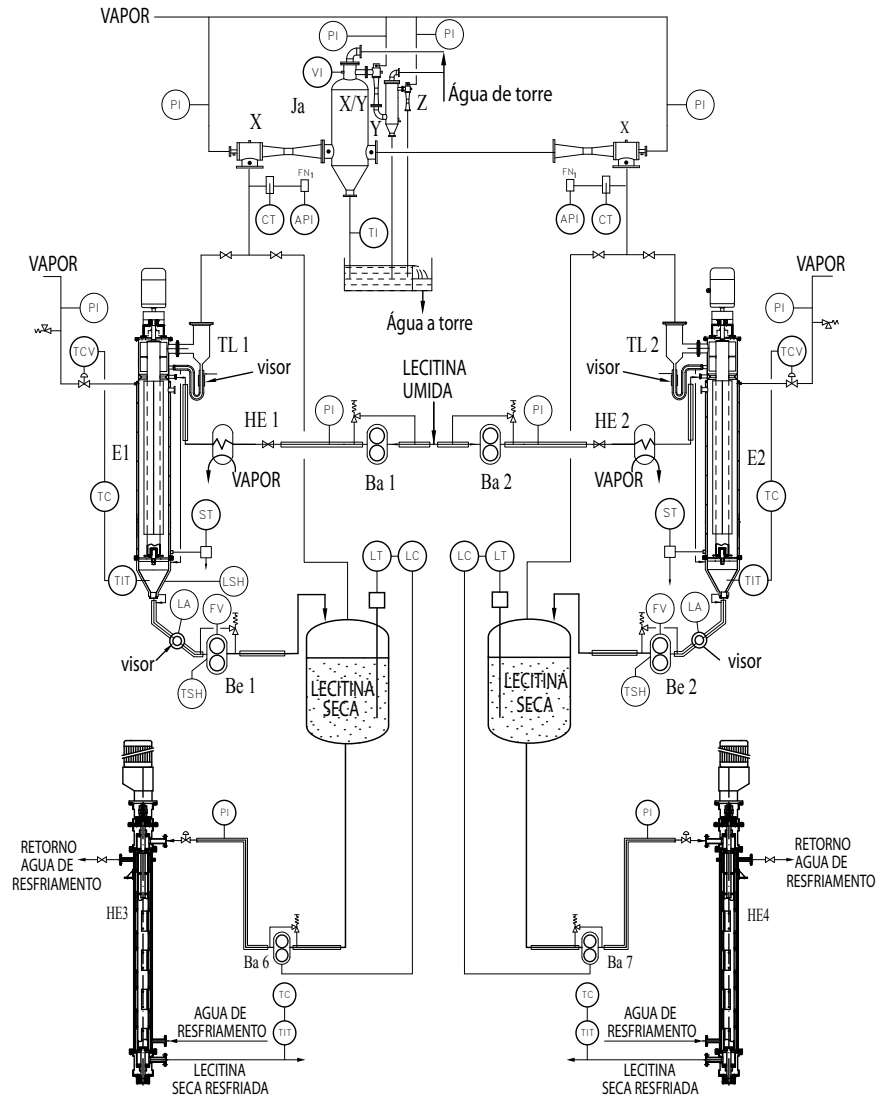
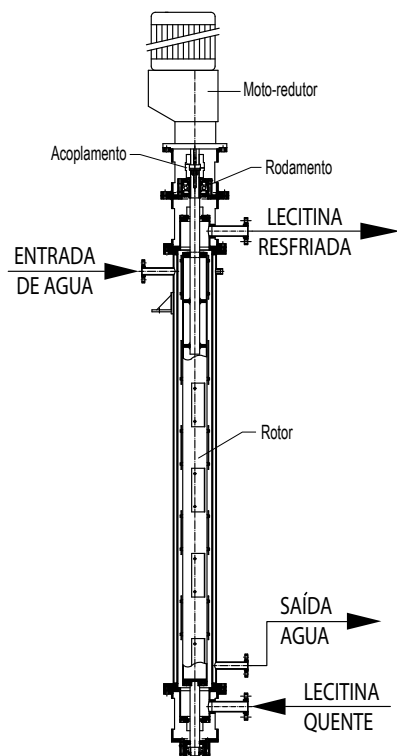


Figura 6: SECADORES DE LECITINA EM PARALELO, SISTEMA DE VÁCUO E AUXILIARES.



Normalmente, na saída do evaporador é instalado um resfriador de superfície raspada (Fig. 7), para diminuir a temperatura da lecitina até um valor que evita a oxidação e escurecimento, 60 a 65° C, com água como refrigerante. Funciona a baixa velocidade e cheio de líquido. Tem uma série de pás raspadeiras, articuladas, inclinadas e dispostas alternadamente, que no deslocamento encostam na camisa fria, pela reação da massa de líquido. As pás têm furos para baixar a reação ao estritamente necessário. O coeficiente de transferência de calor, sendo baixo, perto de 300 W/m<sup>2</sup>K, é bem maior que o conseguido por qualquer outro tipo de trocador.

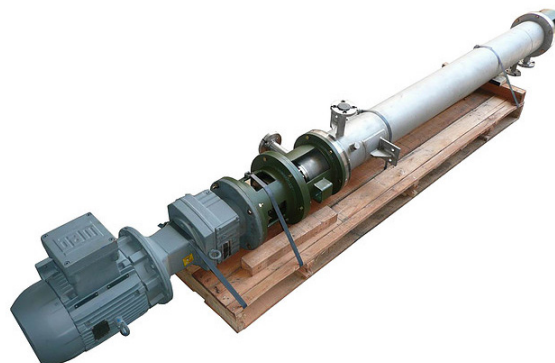


Figura 7: RESFRIADOR DE LECITINA DE SUPERFICIE RASPADA.

Um dos problemas mais complicados do evaporador é o equilíbrio dinâmico do rotor que gira com uma velocidade periférica perto de 12 m/s, o que produz uma força centrífuga considerável. Se as massas estão perfeita e simetricamente distribuídas, o andamento é suave e livre de vibrações, mas as soldas não têm exatamente a mesma espessura nas pás, sempre há excentricidades e por isso o rotor deve ser balanceado dinamicamente. Ainda assim o equilíbrio conseguido não é perfeito, as excentricidades não se podem eliminar totalmente: quando o rotor gira, se produz uma flecha. Se  $k$  é a constante elástica do rotor, ou seja, a força necessária para produzir uma flecha (deformação máxima) determinada, o rotor fica em outro equilíbrio: no sistema internacional (SI):

$$F_c = m \omega^2(e+f) = k f = F_r \quad (1)$$

$F_c$ : força centrífuga, N  
 $\omega$ : velocidade angular, rad/s  
 $f$ : flecha, m  
 $F_r$ : força de restituição do sistema elástico, N  
 $m$ : massa do rotor, kg  
 $e$ : excentricidade, m  
 $k$ : constante elástica do rotor, N/m

De (1): 
$$f = \frac{m e \omega^2}{k - m \omega^2} \quad (2)$$

Pode-se observar que se  $m\omega^2$  chega perto do  $k$ , a flecha aumenta muito, e, quando são iguais, o sistema entra em ressonância, a vibração é muito grande e haverá danos mecânicos. A frequência crítica e o número de revoluções crítico fica:

$$\omega_c = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (3.a)$$

$$n_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (3.b)$$

$\omega_c$ : velocidade angular crítica, rad/s  
 $n_c$ : número de revoluções crítico, 1/s

A avaliação da constante elástica  $K$  é a única dificuldade. Uma simplificação possível é considerar o rotor como uma barra cilíndrica de igual momento de inércia que ele, com carga uniformem-te repartida, simplesmente apoiada nos extremos, pois o rolamento superior e o coxim de fricção inferior, não podem ser considerados embutidos; neste caso, a flecha se calcula com a conhecida fórmula da resistência dos materiais:

$$f = \frac{5 F_c L^3}{384 EI} \quad (4)$$

$L$ : comprimento do rotor, m  
 $I$ : momento de inércia da secção da barra.  $m^4$   
 $E$ : módulo de elasticidade do material do rotor,  $N/m^2$

Segundo a fórmula (1): 
$$k = \frac{F_c}{f}$$

Substituindo  $k$  na fórmula (3): 
$$n_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{384 EI}{5 m L^3}} \quad (5)$$

Se quiséramos expressar, como é comum na resistência de materiais:

$E$ : o módulo de elasticidade em  $daN/cm^2$  (aproximadamente,  $kgf/cm^2$ ).  
 $L$ : Comprimento do rotor, cm  
 $I$ : Momento de inércia em  $cm^4$   
 $N_c$ : Número de revoluções por minuto

A fórmula (5) muda para a seguinte: 
$$N_c = \frac{60}{2\pi} \sqrt{\frac{384000 EI}{5mL^3}} \quad (6)$$

Exemplo: Num evaporador de película delgada-agitada de 10 m<sup>2</sup> para secagem de lecitina, a massa do rotor: 1300 kg, o comprimento, 5,3 m (530 cm), o momento de inércia da secção transversal 93390 cm<sup>4</sup> e gira a 285 rpm. O material é aço inoxidável AISI 304, cujo módulo de elasticidade é 1900000 daN/cm<sup>2</sup>. Segundo a fórmula (6), o número de revoluções crítico é:

$$N_c = \frac{60}{2 \times 3,14} \sqrt{\frac{384000 \times 1900000 \times 93390}{5 \times 1300 \times 530^3}} = 2535 \text{ rpm}$$

O número de giros por minuto de desenho fica suficientemente afastado do regime crítico.

A capacidade da maior unidade é de 40 ton/dia de lecitina seca de soja. Para maiores capacidades se utilizam duas ou mais unidades em paralelo (Fig. 6).

As instalações com evaporadores de película fina agitada têm varias vantagens sobre as tradicionais instalações por batelada:

- Mínimo tempo de residência (menos que 1 minuto) em contato com a superfície aquecida, o que resulta em uma superior qualidade do produto.
- Funcionamento contínuo, com notável economia de tempo, visto que não existem operações de carga e descarga, e a evaporação horária é bem superior.
- A instalação poderá ser totalmente automatizada, com mínima mão de obra de operação.
- Área ocupada reduzida
- Menor investimento inicial.
- Poupança de energia
- Menor custo por tonelada de lecitina seca produzida.

Os defensores dos sistemas por batelada argumentam que a vantagem é a temperatura menor de secagem, o que se, analisado simplesmente por isto, constitui um equívoco. O que interessa são os efeitos da temperatura em relação ao tempo de exposição. Vejamos o exemplo da pasteurização do leite, um caso parecido. Antigamente era aquecido a 60°C por meia hora, e atualmente só uns poucos segundos a 140°C. A qualidade do produto melhorou notavelmente com o processo ultrarrápido e contínuo. O mesmo passa com a secagem de lecitina. O tempo de residência no evaporador é menos de 1 minuto, muito menor que 30 minutos de uma batelada, o que permite operar a temperaturas maiores, obtendo melhor qualidade.

Estas vantagens fizeram que o evaporador de capa fina agitada tenha ganhado rapidamente as preferências nas indústrias de óleos nos países desenvolvidos, onde todos os processos são contínuos e automáticos e os sistemas por bateladas ficaram obsoletos por anti-econômicos e pouco práticos. A maior fabricante de óleos de soja do mundo fica em Argentina, e possui quinze secadores contínuos de película fina agitada em funcionamento.

O mesmo acontece com outros grandes produtores.