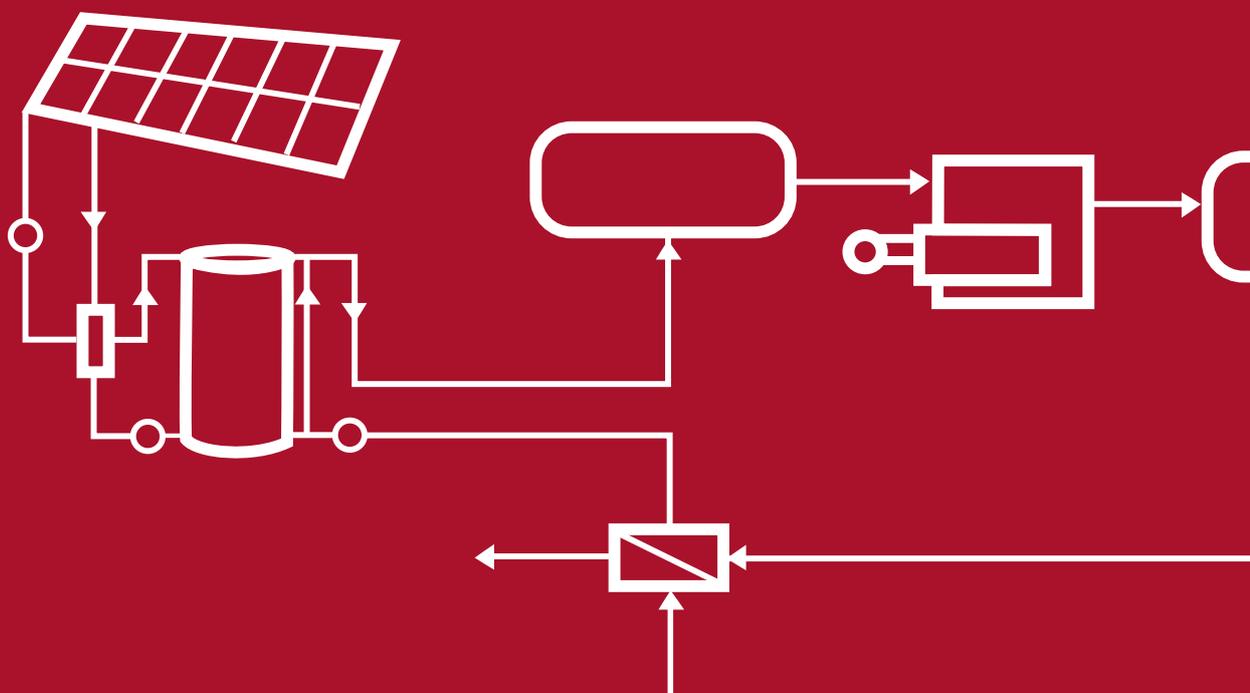




# PROCESOL II

Instalação de colectores solares térmicos em processos industriais:  
**recomendações de projecto e manutenção**

ALTENER no. 4.1030/Z/02-084/2002





# PROCESOL II

Instalação de colectores solares térmicos  
em processos industriais:  
**recomendações de projecto e manutenção**

ALTENER no. 4.1030/Z/02-084/2002

## **ÍNDICE**

<b>3</b>	<b>1. Introdução – Objectivos da brochura</b>
<b>4</b>	<b>2. Etapas preliminares de projecto</b>
<b>4</b>	2.1. Disponibilidade de espaço / no edifício – condições legais
<b>4</b>	2.2. Características do processo industrial
<b>5</b>	2.3. Optimização de processos industriais
<b>6</b>	<b>3. Configurações possíveis das instalações</b>
<b>9</b>	<b>4. Principais aspectos de projecto</b>
<b>9</b>	4.1. Considerações e cálculos necessários
<b>9</b>	4.1.1. Adequação da temperatura mínima disponível
<b>10</b>	4.1.2. Perfil térmico adequado
<b>10</b>	4.1.3. Cálculo da carga
<b>10</b>	4.2. Dimensionamento do campo de colectores solares
<b>10</b>	4.3. Dimensionamento dos depósitos
<b>12</b>	<b>5. Regras de manutenção</b>
<b>15</b>	<b>6. Referências</b>

## **ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS**

### **Figuras**

<b>6</b>	Figura 1 _ Circuito de vapor aberto com recuperação de calor.
<b>6</b>	Figura 2 _ Circuito de vapor aberto sem recuperação de calor.
<b>7</b>	Figura 3 _ Circuito de vapor fechado.
<b>7</b>	Figura 4 _ Água quente de processo – com armazenamento.
<b>7</b>	Figura 5 _ Água quente de processo – sem armazenamento (directo).
<b>7</b>	Figura 6 _ Água quente de processo / misturado.
<b>9</b>	Figura 7 _ Diagrama de dois processos industriais acoplados.

### **Tabelas**

<b>5</b>	Tabela 1 – Valores de recuperação de calor para processos seleccionados na indústria alimentar.
<b>8</b>	Tabela 2 – “Adequação solar” de algumas configurações dos processos industriais.
<b>12</b>	Tabela 3 – Lista das acções de manutenção e inspecções periódicas de instalações solares.

## 1 → INTRODUÇÃO \_ OBJECTIVOS DA BROCHURA

O objectivo principal desta brochura é apresentar de forma simples e sucinta algumas recomendações de projecto e manutenção de aplicações de sistemas solares térmicos no sector industrial.

Esta brochura foi preparada no âmbito do projecto PROCESOL II (contrato ALTENER 4.1030/Z/02-084/002 - Solar Thermal Process Heating coupled with Heat Recovery Technology in Industrial Applications).

O projecto PROCESOL II pretende contribuir para a implementação de sistemas solares térmicos acoplados a tecnologias de recuperação de calor nos sectores industriais dos países participantes (Grécia, Espanha, Portugal, Áustria, França e Bélgica). Os processos industriais considerados são todos aqueles nos quais é utilizada água quente com temperaturas não superiores a 90°C.

Esta brochura tem como principais destinatários, entre outros, os projectistas, consultores e decisores com formação técnica do sector industrial, os especialistas e técnicos em energia solar, etc

Porquê publicar uma brochura sobre instalações solares na indústria ?

- As instalações solares na indústria têm algumas características específicas. Por outro lado, o seu número tem vindo a crescer e, segundo o projecto PROCESOL II e a IEA Task 33 [IEA, em curso], o potencial de utilização é elevado.
- A experiência acumulada mostra que o projecto e manutenção incorrectas são a principal razão do insucesso das aplicações solares neste sector.

Convém referir que alguns dos mais importantes aspectos de projecto e manutenção são idênticos em todas as instalações solares térmicas centralizadas (especialmente quando de grande dimensão), sendo os mais cruciais de todos (estagnação e protecção contra congelação, por exemplo) tratados nesta brochura. Por outro lado, o presente trabalho não pretendia analisar todos os aspectos comuns de concepção dos sistemas solares térmicos (componentes hidráulicos convencionais como bombas, permutadores de calor, válvulas, estratégias de controlo típicas, etc). Estes aspectos comuns foram já amplamente analisados noutras fontes, como [Fink, 2004].

Finalmente, em conjunto com as recomendações de manutenção, apresenta-se uma lista de procedimentos de controlo periódicos. Quando respeitados, o esforço e os custos de manutenção são minimizados.

## 2 → ETAPAS PRELIMINARES DE PROJECTO

Na prática, para obter alguns dos dados necessários para o projecto, é necessário efectuar uma visita à instalação industrial. As principais acções (ou dados a recolher) podem ser divididas nas duas seguintes categorias :

### 2.1 → Disponibilidade de espaço / no edifício - condições legais

- a. Fazer um desenho do(s) edifício(s), assinalando as suas características principais. Este pode ser um simples esboço mostrando as principais dimensões do edifício, orientação, obstáculos, etc.
- b. Examinar a disponibilidade da cobertura e o seu estado de conservação (indicando as áreas indisponíveis), o possível sombreamento devido a edifícios próximos e outros obstáculos, bem como as possibilidades de acesso. Este último ponto inclui o acesso para o guincho (se necessário), a área disponível e as entradas para a instalação do depósito solar, etc.
- c. Finalmente, o projectista deve investigar se existem requisitos legais ou obstáculos a ultrapassar para a concretização da instalação solar.

### 2.2 → Características do processo industrial

- a. Recolher os elementos disponíveis sobre as cargas térmicas da indústria. Estes elementos deverão incluir o tipo de combustível utilizado e o seu preço, uma estimativa grosseira da eficiência do sistema de aquecimento e o perfil temporal da carga térmica, no mínimo, numa base sazonal.
- b. Obter um esquema geral de todos os processos para avaliar a viabilidade do acoplamento do sistema solar térmico a um ou mais processos industriais. Os diagramas de cada um dos processos são também úteis. São ainda necessários dados de distribuição da carga pelos diversos processos. Para além disso, deverão ser conhecidas as temperaturas de entrada e saída de cada processo.
- c. Identificar possíveis medidas de recuperação de calor prioritárias na indústria em causa. Alguns dos aspectos passíveis de investigação numa visita técnica são os seguintes:
  1. Estão já a ser aplicadas algumas medidas de recuperação de calor e quais as intenções futuras do proprietário nesse sentido ?
  2. Se for utilizado vapor como fluido de transferência, existe algum circuito de retorno dos condensados de vapor ?
  3. O isolamento do circuito de tubagens de calor está em boas condições ?
  4. Existe algum processo (limpeza de equipamentos ou pavimentos, por exemplo) no qual as medidas de recuperação de calor não são economicamente viáveis ?

### 2.3 → Optimização de processos industriais

A optimização dos processos de produção da indústria deve ser tida em consideração antes do projecto de sistemas solares térmicos. Existe um leque variado de estratégias de optimização de processos industriais. Para além disso, as técnicas e equipamentos de recuperação de calor dependem do próprio processo. Não se pretende nesta brochura detalhar um assunto tão vasto. No entanto, para demonstrar o elevado potencial das medidas de recuperação, na tabela 1 apresenta-se um exemplo relativo à indústria alimentar.

Processo	Cristalização	Pasteurização	Processo Físico/Químico	Esterilização
Produto	Queijo	Leite	Fabrico de Cerveja	Leite
Recuperação de calor	75%	65-92%	90%	90%

Tabela 1 – Valores de recuperação de calor para processos seleccionados na indústria alimentar (Fonte: ZAE).

Outra hipótese (para quase todos os processos industriais) com elevadas quantidades de calor recuperado é a recuperação de calor dos gases de exaustão.

Em concreto, o processo de optimização é objecto de uma "análise Pinch". Este conceito conduz à mínima quantidade de energia externa necessária a um sistema do processo, através da identificação de todas as medidas de recuperação de calor possíveis em todos os processos de aquecimento (e de arrefecimento) de uma indústria. Uma descrição da "teoria Pinch" pode ser encontrada em [Linnhoff, 1998] e [Gunderson, 2002].

Com ou sem uma "análise Pinch" completa, um ponto importante antes da tomada de decisão em investir numa instalação solar é fazer uma estimativa razoável do caudal e temperatura mínimos disponíveis após a implementação de todas as medidas de recuperação de calor.

### 3 → CONFIGURAÇÕES POSSÍVEIS DAS INSTALAÇÕES

As figuras 1 a 6 mostram várias configurações possíveis para o acoplamento de sistemas solares térmicos a processos de aquecimento industriais. A variedade de casos apresentada não pretende ser exaustiva. No entanto, pretendeu-se mostrar um leque abrangente de esquemas de instalação. Muitas outras configurações possíveis são apenas combinações ou pequenas variantes das apresentadas.

Na tabela 2, apresentam-se alguns comentários sobre as várias configurações no que diz respeito à sua adequação para a instalação de sistemas solares.

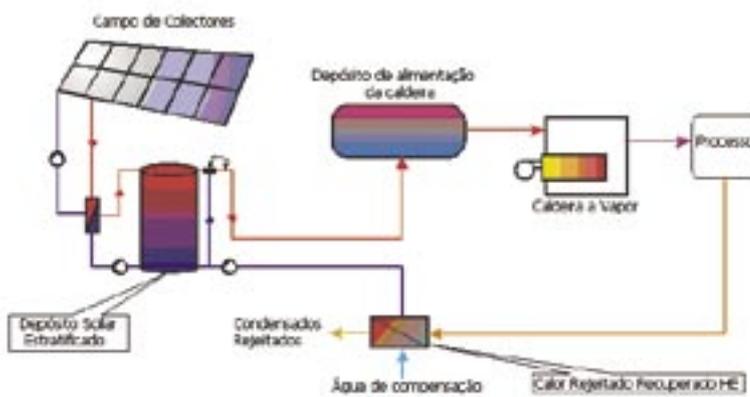


Figura 1 - Circuito de vapor aberto com recuperação de calor (Acrónimo: Aberto, HR). Fonte: ITW, CRES

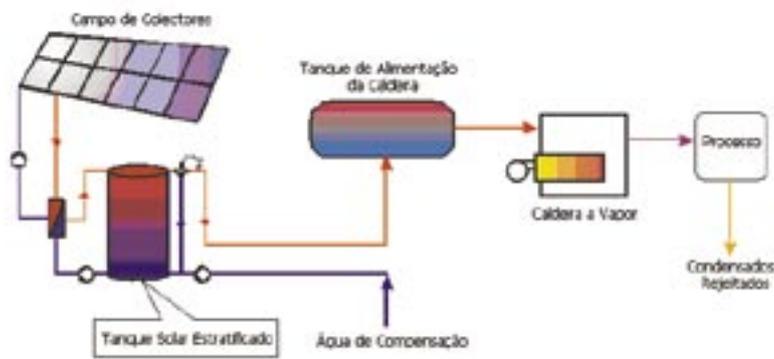


Figura 2 - Circuito de vapor aberto sem recuperação de calor (Acrónimo: Aberto, NO HR). Fonte: ITW, CRES

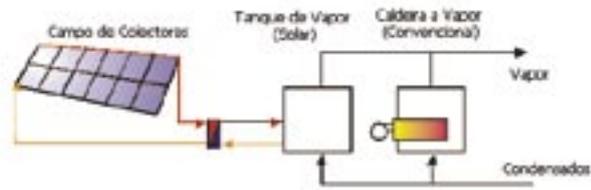


Figura 3 - Circuito de vapor fechado (Acrónimo: Fechado). Fonte: ITW, CRES

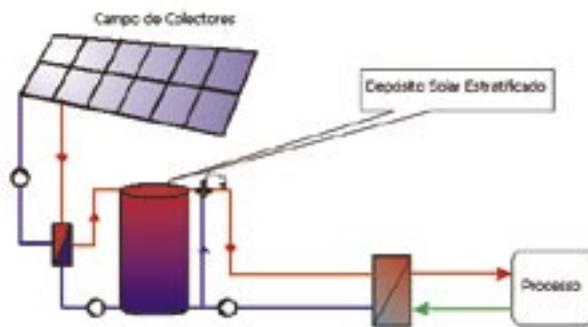


Figura 4 - Água quente de processo - com armazenamento (Acrónimo: HW, Armazenamento). Fonte: ITW, CRES

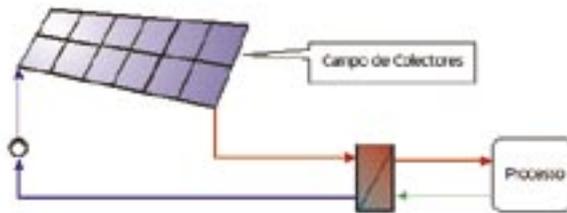


Figura 5 - Água quente de processo - sem armazenamento (directo) (Acrónimo: HW, Directo). Fonte: ITW, CRES

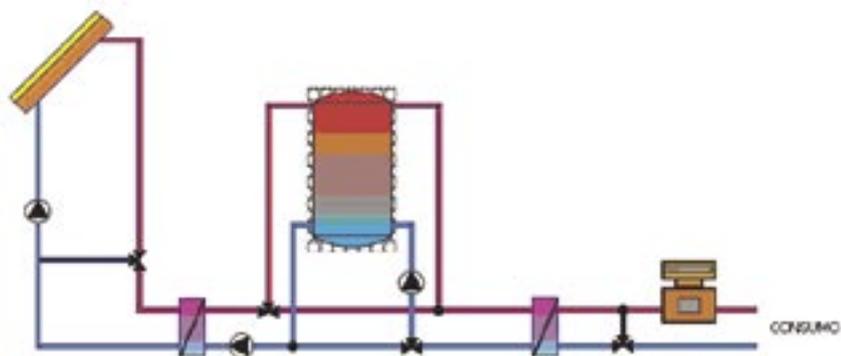


Figura 6 - Água quente de processo / misturado (Acrónimo: HW, Misturado). Fonte: ZAE

<b>Acrónimo da configuração</b> (ver figuras 1 a 6)	<b>Comentários sobre a “adequação solar”</b>
<b>Aberto, HR</b>	A adequação depende das temperaturas atingidas pelo processo de recuperação de calor ( $T_{HR}$ ). Se $T_{HR} < 50^{\circ}\text{C}$ , existe adequação.
<b>Aberto, NO HR</b>	Elevada adequação. A instalação solar pode aquecer (ou pré-aquecer) a água a partir de muito baixas temperaturas. No entanto, os casos na indústria em que as medidas de recuperação de calor (HR) não podem ser aplicadas são raros.
<b>Fechado</b>	Não adequação para colectores comuns. Necessidade de tipos de colectores especiais.
<b>HW, Armazenamento</b>	Muito elevada adequação. Água quente em vez de vapor é utilizada directamente no processo, fazendo com que a “carga disponível para o solar” seja realmente igual à carga total da indústria. O armazenamento é necessário para cobrir as flutuações de carga e/ou as necessidades de carga fora das horas de sol. Em alguns casos (quando uma parte substancial da carga ocorre durante as horas de sol), as necessidades de armazenamento nos reservatórios são menores. São possíveis fracções solares elevadas.
<b>HW, Directo</b>	Muito elevada adequação. Água quente em vez de vapor é utilizada directamente no processo, fazendo com que a “carga disponível para o solar” seja realmente igual à carga total da indústria. As fracções solares atingidas são geralmente inferiores, quando comparadas com o caso “HW, Armazenamento”.
<b>HW, Misturado</b>	Esta é apenas uma configuração com a possibilidade de funcionar tanto de forma directa (caso “HW, Directo”), como com armazenamento (caso “HW, Armazenamento”).

Tabela 2 – “Adequação solar” de algumas configurações dos processos industriais (HR: Recuperação de Calor e HW: Água Quente).

## 4 → PRINCIPAIS ASPECTOS DE PROJECTO

### 4.1 → Considerações e cálculos necessários

Uma vez recolhida toda a informação e dados descritos no capítulo “Etapas Preliminares de Projecto”, os aspectos a analisar são os seguintes:

#### 4.1.1 → Adequação da temperatura mínima disponível

Tal como anteriormente realçado, é essencial para a viabilidade da instalação solar estimar a “temperatura mínima disponível” após a (hipotética) aplicação de todas as medidas realísticas de recuperação de calor. Se esta temperatura for igual, por exemplo, a 80°C numa certa indústria, um sistema solar - pelo menos um sistema com colectores solares planos ! - não faz sentido nessa indústria. Por outro lado, se a temperatura for igual a 50°C, então existe um potencial concreto para a instalação de um sistema de colectores solares. Neste último caso, a instalação solar pode contribuir para o aquecimento da água desde os 50°C até à temperatura necessária pelo processo (ou até uma temperatura inferior se o sistema solar for projectado só para pré-aquecimento). A figura 9 mostra o caso de uma indústria com processos dos dois tipos: um aberto e outro fechado. Supondo que as medidas de recuperação de calor são aplicadas correctamente, observamos a possibilidade para a instalação de um sistema solar térmico que aquecerá a água acima dos 50°C.

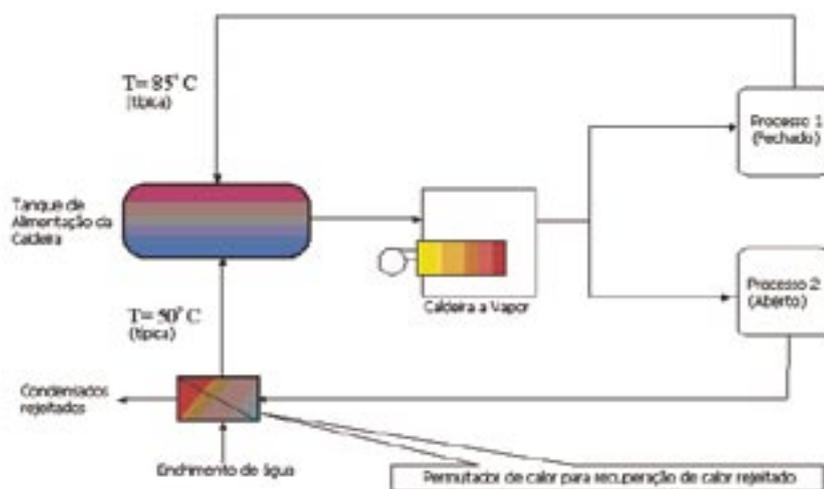


Figura 7 – Diagrama de dois processos industriais acoplados (Fonte: CRES).

#### 4.1.2 → Perfil térmico adequado

A adequação do perfil térmico deve ser analisada. Bons perfis são aqueles praticamente constantes numa base diária ou sazonal (claro que serão ainda melhores se, de algum modo, acompanharem o perfil da radiação solar, ou seja, se possuir um pico diário ao meio-dia e um pico sazonal no Verão). Na prática, a carga deve passar os seguintes testes:

- 1 → A carga deve durar mais de 3/4 do ano e deve incluir o Verão.
- 2 → A carga deve durar, pelo menos, 5 dias por semana.
- 3 → A carga média diária de Verão não deve ser inferior à carga média diária no resto do ano.

#### 4.1.3 → Cálculo da carga

A carga suprida pelo sistema solar deve ser calculada. Em caso de disponibilidade do historial de consumo de água da instalação, a sua análise deve ser feita de forma criteriosa. Na análise devem ser considerados aspectos relacionados com a temperatura da rede, a temperatura de utilização, os dados climatéricos do lugar e as características do colector solar.

Na ausência do historial de consumo de água, o projectista deve basear-se em cálculos analíticos por exemplo, utilizando a equação  $E = m \cdot C_p \cdot \Delta T$ . Por exemplo se o consumo médio diário numa dada indústria for estimada em 15 m<sup>3</sup>, aquecidos de 50°C à 90°C, a carga térmica média diária será a volta de 700 kWh, enquanto que a carga térmica anual será de 250 MWh, valor a partir do qual pode ser estimada uma área de captação para obter uma certa fracção solar. Seguindo este exemplo (e tomando como base de cálculo 500 kWh/m<sup>2</sup>), poder-se-á obter uma área de captação de cerca de 200 m<sup>2</sup>, se a fracção solar seleccionada for 40%.

#### 4.2 → Dimensionamento do campo de colectores solares

Existem vários métodos de cálculo de dimensionamento do campo dos colectores para uma determinada instalação solar térmica. No entanto, em Portugal, para a apresentação de candidaturas a programas de apoio financeiro, por parte do Estado, a Portaria 394/2004 de 19 de Abril, artigo 12º, impõe a utilização do programa de cálculo SOLTERM, do Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETI).

#### 4.3 → Dimensionamento dos depósitos

No que diz respeito aos depósitos de acumulação, normalmente, o valor típico de 50 litros/m<sup>2</sup> é suficiente. Por simulação, é possível demonstrar que volumes específicos superiores apenas aumentam ligeiramente os ganhos solares. No caso de baixas fracções solares, valores inferiores a 50 litros/m<sup>2</sup> podem também ser utilizados. O critério para o volume específico mínimo possível do depósito deverá ser o de evitar o seu sobre-aquecimento e, por este facto, a redução da eficiência dos colectores. No que diz respeito à configuração do armazenamento, os principais aspectos são os seguintes:

- Normalmente, a utilização de um único depósito é a melhor solução do ponto de vista económico e energético.
- Quando são necessários mais do que um depósito (devido à altura da sala em que serão colocados, por exemplo), não existem grandes diferenças entre as ligações “em série” e “em paralelo”.
- Um ponto importante que deve ser assegurado em todas as configurações é a promoção da estratificação no interior dos depósitos.

## 5 → REGRAS DE MANUTENÇÃO

Uma vez terminadas as fases de projecto e instalação, os sistemas de colectores solares térmicos requerem poucas (e de baixo custo) acções de manutenção para funcionarem eficientemente num tempo de vida útil estimado em cerca de 20 anos. Muito mais que intervenções de manutenção pura, a maioria das acções necessárias durante a operação do sistema solar correspondem a inspecções periódicas. Na tabela 3 apresentam-se estas acções, com a indicação da sua frequência.

COMPONENTE	INTERVENÇÃO	FREQUÊNCIA (Meses)	OBSERVAÇÕES
CAMPO DE COLECTORES	LIMPEZA	12	Com água e detergente. Realizar esta operação em horas de baixa insolação, ao amanhecer ou ao escurecer.
	ESTRUTURA	12	Recuperar partes da estrutura que apresentem indícios de corrosão, lixar e pintar, verificar o aperto dos parafusos.
	COLECTOR _ cobertura	6	Inspeção visual. Substituir em caso de rotura. Em caso de condensações acentuadas verificar a origem e corrigir.
	_ juntas	6	Inspeção visual (aderência, deformações e degradação).
	_ absorsora	6	Inspeção para detectar escamação de pintura, focos de corrosão; deposição de corpos estranhos, deformações. Substituir em caso de fugas.
	_ tubagem	6	Inspeção visual para a detecção de fugas.
	_ caixa	6	Inspeção visual para a detecção de deformações e oscilações.

Tabela 3 – Lista das acções de manutenção e inspecções periódicas de instalações solares.

COMPONENTE	INTERVENÇÃO	FREQUÊNCIA (Meses)	OBSERVAÇÕES
<b>CIRCUITO PRIMÁRIO</b>	FLUÍDO DE CIRCULAÇÃO	12	Comprovar, uma vez por ano, a sua densidade e pH (indicando o seu estado de degradação – pH<5 poderá implicar substituição).
		60	Substituição do fluído de circulação.
	ESTANQUECIDADE	24 (max.)	Efectuar provas de pressão a partir do segundo ano.
	ISOLAMENTO	12	Inspecção visual (humidade).
	PURGADORES _ automáticos	12	Limpar e confirmar o correcto funcionamento.
	_ manuais	0,5	Esvaziar o ar acumulado.
	SERPENTINA	60	Limpeza de desincrustação.
	BOMBA	12	Estanquecidade e lubrificação.
	TERMOSTATO	12	Limpeza, controlo de funcionamento e regulação. Utilizar sondas de temperatura.
	VASO DE EXPANSÃO	12	Comprovação da pressão.
PERMUTADOR	60	Limpeza e inspecção (12 meses para lugares com águas duras).	

Tabela 3 – Lista das acções de manutenção e inspecções periódicas de instalações solares (cont.).

COMPONENTE	INTERVENÇÃO	FREQUÊNCIA (Meses)	OBSERVAÇÕES
<b>CIRCUITO SECUNDÁRIO</b>	VÁLVULA DE CORTE	12	Lubrificar e apertar.
	VÁLVULA DE SEGURANÇA	12	Movimentar para evitar incrustação ou calcificação.
	ACUMULAÇÃO (DEPÓSITO)	60	Comprovar a pressão.
<b>COMPONENTES ELÉCTRICOS</b>	24 (max,)	24	Verificar o sistema de protecção corrosiva.
	INTERRUPTORES	12	Limpeza e aperto dos bornos.
	CONTADORES	12	Limpeza e aperto dos bornos.
	DIFERENCIAIS	12	Controlo de funcionamento. Verificação da ligação à terra.
	ARMÁRIO ELÉCTRICO	12	Limpeza.

Tabela 3 – Lista das acções de manutenção e inspecções periódicas de instalações solares (cont.).

Excepto para as acções de manutenção acima sugeridas para a instalação solar térmica, os restantes componentes convencionais da instalação (bombas, depósitos, válvulas, tubagens, sistemas de controlo, etc) devem seguir as instruções indicadas pelo respectivo fabricante para o seu correcto e mais prolongado funcionamento (tal como numa instalação hidráulica normal).

## 6 → REFERÊNCIAS

Fink Christian et all. "Solar-supported heating networks in multi-storey residential buildings - A planning handbook with a holistic approach", disponível na Internet , AEE INTEC 2004.

IEA Task 33, "Solar Heat for Industrial Processes", Operating Agent: Werner Weiss (AEE), <http://www.iea-ship.org>, em curso.

Pauschinger Thomas, "Material for Solar Thermal Design" [disponível em italiano no site <http://www.ambienteitalia.it>, Ambiente Italia, Itália, 2004.

Linnhoff B., March, "Introduction to Pinch Technology", Linnhoff March, Northwich, Reino Unido, 1998.

Gunderson T., "A Process Integration Primer, IEA Implementing Agreement on Process Integration", Trondheim, 2002.

## **Ficha Técnica**

**Título** \_Procesol II  
Instalação de colectores solares térmicos  
em processos industriais:  
recomendações de projecto e manutenção

**Edição**\_ADENE

**Design**\_2 & 3 D, design e Produção, Lda.

**Impressão**\_

**Tiragem**\_500 exemplares

**ISBN**\_972-8646-12-7

**Depósito Legal**\_

**1ª Edição**\_Lisboa, Maio 2005

**Publicação gratuita**

**Para mais informações**\_

ADENE - Agência para a Energia  
Área de Promoção e Relações Exteriores  
Estrada de Alfragide, Praceta 1, nº 47, Alfragide  
2610-181 Amadora  
Tel.: 214 722 840  
Fax: 214 722 898  
Website: [www.adene.pt](http://www.adene.pt)  
E-mail: [info@adene.pt](mailto:info@adene.pt)



coordenador do projecto



parceiros



Agência para  
a Energia



Agence de  
l'Environnement  
et de la Maitrise  
de l'Énergie



Arbeitsgemeinschaft  
Erneuerbare Energie



Bavarian Center  
for Applied Energy  
Research



Greek Solar Industries  
Association



Institut de Conseil  
et d'Études en  
Développement  
Durable



Sociedad para  
el Desarrollo  
Energetico de  
Andatucia, S.A.

Brochura editada no âmbito do projecto PROCESOL II (contrato 4.1030/Z/02-084/002 - Solar Thermal Process Heating coupled with Heat Recovery Technology in Industrial Applications) financiado pelo Programa Altener da Comissão Europeia e coordenado pelo Centre for Renewable Energy Sources (CRES, Grécia). A presente versão em português foi editada pela ADENE - Agência para a Energia, com o apoio da Direcção Geral de Geologia e Energia (DGGE).

#### **ADENE - Agência para a Energia**

Área de Promoção e Relações Exteriores  
Estrada de Alfragide, Praceta 1, nº47, Alfragide  
2610-181 Amadora  
Tel.: 214 722 840  
Fax: 214 722 898  
Website: [www.adene.pt](http://www.adene.pt)  
E-mail: [info@adene.pt](mailto:info@adene.pt)

#### **CRES - Centre for Renewable Energy Sources**

19th Km Marathonos Ave.  
190 09 Pikiermi, Grécia  
Tel.: +30210 66 03 300  
Fax: +30210 66 03 301  
Website: [www.cres.gr](http://www.cres.gr)  
E-mail: [cres@cres.gr](mailto:cres@cres.gr)