



Conference: Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables -
Mantenimiento Industrial - Mecatrónica e Informática

Booklets



RENIECYT - LATINDEX - Research Gate - DULCINEA - CLASE - Sudoc - HISPANA - SHERPA UNIVERSIA - E-Revistas - Google Scholar
DOI - REDIB - Mendeley - DIALNET - ROAD - ORCID

Title: Diseño de un algoritmo para la evaluación económico-energética de captadores solares

Author: Alejandro, PACHECO-REYES

Editorial label ECORFAN: 607-8534
BCIERMMI Control Number: 2018-03
BCIERMMI Classification (2018): 251018-0301

Pages: 24
RNA: 03-2010-032610115700-14

ECORFAN-México, S.C.

244 – 2 Itzopan Street
La Florida, Ecatepec Municipality
Mexico State, 55120 Zipcode
Phone: +52 1 55 6159 2296
Skype: ecorfan-mexico.s.c.
E-mail: contacto@ecorfan.org
Facebook: ECORFAN-México S. C.

Twitter: @EcorfanC

www.ecorfan.org

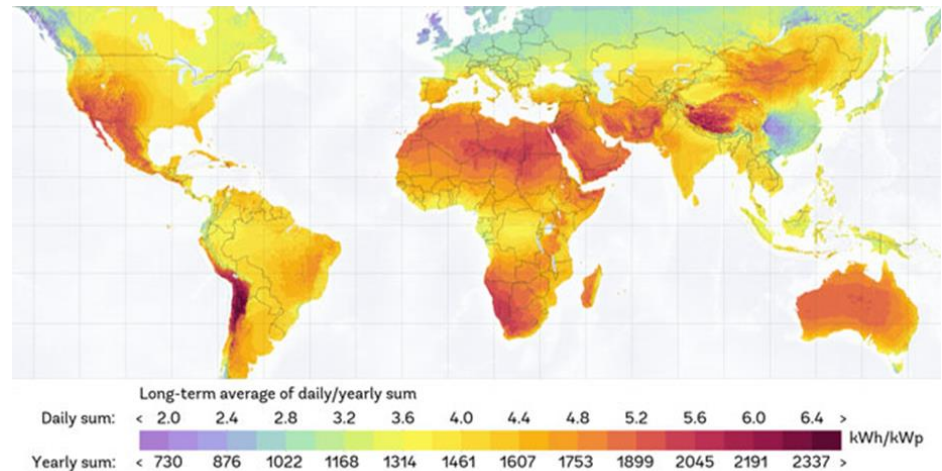
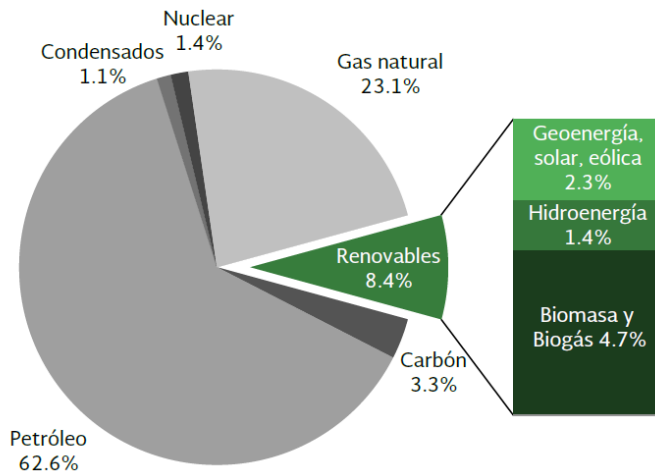
Holdings

Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic Republic
Spain	El Salvador	of Congo
Ecuador	Taiwan	Nicaragua
Peru	Paraguay	

- 1.- Introducción.
- 2.- Sistemas de calentamiento de agua.
- 3.- Metodología.
- 4.- Desarrollo.
- 5.- Resultados.
- 6.- Conclusiones.
- 7.- Referencias.

Introducción.

Desde hace ya algunos años se ha hecho notoria la problemática ambiental que afecta a todo el mundo, un ejemplo son los altos índices de contaminación debido al uso de fuentes convencionales de energía (quema de combustibles fósiles), para satisfacer la creciente demanda energética de la sociedad en sus distintos ámbitos.



Sistemas de calentamiento de agua.

Un calentador solar es un equipo que aprovecha la radiación solar para el calentamiento de algún fluido, este fluido puede tener diferentes aplicaciones, la más conocida es el calentamiento de agua para usos sanitario. Existen diferentes tipos de calentadores los más comunes son los de tubos evacuados y los de placa plana, las figuras a y b muestran cada uno respectivamente.



a)



b)

Sistemas de calentamiento de agua.

Las partes principales de un calentador solar son:

- **Termotanque:** dispositivo que se encuentra aislado térmicamente, en éste se almacena el agua caliente.
- **Colector solar:** superficie donde incide la radiación solar y calienta el fluido de trabajo.
- **Estructura:** partes metálicas que sirven para la sujeción, inclinación y colocación del sistema.

Curvas de rendimiento:

Para evaluar las curvas de rendimiento de un sistema de calentamiento de agua se debe hacer mediante lo establecido en la norma NMX-ES-0014-NORMEX-2010, esta norma indica las condiciones ambientales bajo las cuales las mediciones que se registran son válidas. Las mediciones son: temperatura inicial y final del agua contenida en el sistema, así como la temperatura ambiente promedio durante el día y la noche. Con estas mediciones se obtiene la curva de rendimiento diurna y nocturna, respectivamente.

Ecuaciones para curva diurna y nocturna.

Ecuaciones para la curva diurna:

Para la curva de rendimiento diurno se obtienen los puntos mediante las ecuaciones 1 y 2

$$X_d = \frac{T_{in} - T_{am}}{H} \quad 1)$$

$$Y_d = \frac{mC(T_F - T_{in})}{H} \quad 2)$$

T_{in} : Temperatura inicial del sistema en el día.

T_{am} : Temperatura ambiente promedio durante el día.

H : Irradiancia.

C : Calor específico del agua.

T_F : Temperatura final.

X_d : Abscisa de la curva diurna.

Y_d : Ordenada de la curva diurna.

m : Masa del sistema (150 Kg).

Ecuaciones para la curva nocturna:

Los puntos para la curva nocturna se obtienen mediante las expresiones 3 y 4:

$$X_n = T_{inn} - T_{amn} \quad \mathbf{3)}$$

$$Y_n = mC(T_{inn} - T_{Fd}) \quad \mathbf{4)}$$

Donde:

X_n : Abscisa de la curva nocturna.

Y_n : Ordenada de la curva nocturna.

T_{inn} : Temperatura inicial del sistema en la noche.

T_{amn} : Temperatura ambiente promedio durante la noche.

C : Calor específico del agua.

T_{Fd} : Temperatura final.

Las tablas 1 y 2 muestran los valores usados para determinar las curvas diurna y nocturna, respectivamente. Se consideró una masa de 150 kg y un calor específico de 4.18 KJ/kg °C.

Tabla 1

T_{am} (°C)	H	T_{in} (°C)	T_F (°C)	X_d	Y_d
26.75	18.25	52.5	71	1.411	0.6356
24.75	8.3	49.8	56.85	3.018	0.5326
27.35	22.52	42.4	74.7	0.668	0.8993
26.78	23.83	30.55	64.95	0.158	0.9051
26.57	17.17	55.5	73.4	1.685	0.6537
25.88	17.42	53.15	71.65	1.565	0.6659
25.51	21.15	52.5	76.6	1.276	0.7145
26.75	21.69	27.55	59.35	0.037	0.9193

Tabla 2

T_{amn}	T_{inn}	T_{Fd}	X_n	Y_n
21.17	56.85	42.4	35.68	9.0602
20.83	74.7	51.65	53.87	14.4524
22.58	76.95	55.5	54.37	13.4492
21.39	73.4	53.15	52.01	12.6968
20.51	71.65	52.5	51.14	12.0071
20.11	76.6	54.15	56.49	14.0762

Algoritmo computacional:

- El algoritmo computacional evalúa sistemas instalados en la región de Pachuca Hidalgo ya que opera con una base de datos específica de la región
- El software realiza un análisis energético el cual está basado principalmente en las curvas que caracterizan al sistema de calentamiento, así como en datos específicos a los que operará (número de personas de la vivienda, personas que se bañan por la noche, personas que se bañan por la mañana, etc.).
- El análisis económico que realiza el software está basado en las ecuaciones reportadas en la literatura para determinar valor presente neto VPN y tasa interna de retorno.

Algoritmo computacional:

El usuario puede ingresar la siguiente información, mostrada en la pantalla de inicio, y está se toma como datos de entrada para la evaluación del sistema.

1.- Datos de la vivienda.

- Número de personas de la vivienda.
- Cuantas personas se bañan en la noche.
- Cuantas personas se bañan en la mañana.

2.- Datos técnicos.

- Tipo de contenedor.
- Eficiencia del boiler.
- Volumen del sistema.

3.- Datos económicos.

- Costo de la inversión.
- Tasa anual de inflación

El algoritmo inicia al considerar que el sistema alcanza las condiciones para operar, es decir, cuando tiene la energía necesaria para hacerlo.

$$Q_S = -0.1453x + 0.919 \quad (5)$$

$$x = T_{ar} - T_{max}$$

$$Q_{rn} = m_p C (45^\circ C - T_{ar}) \quad (6)$$

Caso 1

En este punto el algoritmo compara los valores obtenidos por las ecuaciones (5) y (6), y si $Q_s \leq Q_{rn}$ se tiene el primer caso, el sistema no puede cubrir toda la demanda de energía por lo cual se debe suministrar energía mediante un sistema de respaldo.

$$Q_b = Q_{rn} - Q_s \quad (7)$$

Se determina la nueva temperatura del agua del sistema:

$$T_n = T_{red} + \left(\frac{Q_s - Q_{rn} + Q_b}{m_s \times C} \right) \quad (8)$$

Se determinan las pérdidas que el sistema tiene durante la noche:

$$Q_{loss} = .02481x_1 + .0706 \quad (9)$$

$$x_1 = T_n - T_{no}$$

La energía disponible al día siguiente se determina con la ecuación (10), si el usuario requiere utilizar agua caliente del sistema la ecuación (11) sirve para determinar esta energía. Dado que el sistema no pudo cubrir la demanda de energía, desde el día anterior, la energía requerida para la mañana debe ser suministrada por el sistema de respaldo, la ecuación (12) determina esta energía:

$$Q_{ds} = Q_s - Q_{rn} - Q_{loss} + Q_b \quad (10)$$

$$Q_{rm} = mC(45^\circ C - T_{red}) \quad (11)$$

$$Q_b = Q_{rm} - Q_{ds} \quad (12)$$

$$T_n = T_{red} + \left(\frac{Q_s - Q_{rn} + Q_b - Q_{loss} - Q_{rm} + Q_b}{m_s \times C} \right) \quad (13)$$

Caso 2

Donde la energía del sistema es mayor a la energía requerida $Q_s > Q_{rn}$, el calor requerido durante la noche se determina con la expresión (6), el usuario hace uso de la energía del sistema y se calcula la temperatura final de este con la ecuación (14):

$$T_n = T_{red} + \left(\frac{Q_s - Q_{rn}}{m_s \times C} \right) \quad (14)$$

La energía que el sistema tiene al día siguiente se expresa con la ecuación (15):

$$Q_{ds} = Q_s - Q_{rn} - Q_{loss} \quad (15)$$

En esta parte el usuario puede requerir energía nuevamente por lo cual el sistema compara Q_{ds} y Q_{rm} y se generan dos casos más:

Caso 2a

Cuando $Q_{rm} \leq Q_{ds}$, en este caso la energía sobrante es suficiente para satisfacer la demanda de energía al día siguiente, y se determina la temperatura de inicio del nuevo ciclo con la ecuación (16):

$$T_n = T_{red} + \left(\frac{Q_s - Q_{rn} - Q_{loss} - Q_{rm}}{m_s \times C} \right) \quad (16)$$

Caso 2b

Cuando $Q_{rm} > Q_{ds}$, en este caso la energía sobrante no es suficiente por lo que el sistema de respaldo debe compensar esa falta de energía, la ecuación (17) expresa la energía del sistema de respaldo:

$$Q_b = Q_{rm} - Q_{ds} \quad (17)$$

Después de que la energía es usada, se determina la temperatura de inicio para el siguiente ciclo de calentamiento con la ecuación (18):

$$T_n = T_{red} + \left(\frac{Q_s - Q_{rn} - Q_{loss} - Q_{rm} + Q_b}{m_s \times C} \right) \quad (18)$$

Para los cálculos referentes al consumo de combustible se debe tomar en cuenta la eficiencia del sistema de respaldo (E_p), la cual se muestra en la placa de especificaciones, cabe mencionar que este valor es a condiciones específicas por lo cual se debe hacer uso de factores de corrección que nos permitan determinar la eficiencia del sistema de respaldo en la región donde se encuentra instalado (E_r). Las ecuaciones (19) y (20) determinan la corrección a través de la altura del lugar (h_l), tomando como referencia el nivel del mar.

$$E_r = \frac{E_p}{F_c} \quad (19)$$

$$F_c = 1 + \left(h_l \times \frac{0.04}{300} \right) \quad (20)$$

Con la eficiencia corregida el algoritmo determina la masa de combustible ahorrado, ecuación (21), así como el valor presente neto y la tasa interna de retorno, ecuaciones (22) y (23), respectivamente.

$$Ca = \frac{Q/Er}{Pc} \quad (21)$$

$$VPN = -I + \sum_{n=1}^{10} \frac{Cos.comb.}{(1+i)^n} \quad (22)$$

$$0 = -I + \sum_{n=1}^{10} \frac{Cos.comb.}{(1-TIR)^n} \quad (23)$$

Los gráficos 1 y 2 muestran las curvas diurna y nocturna

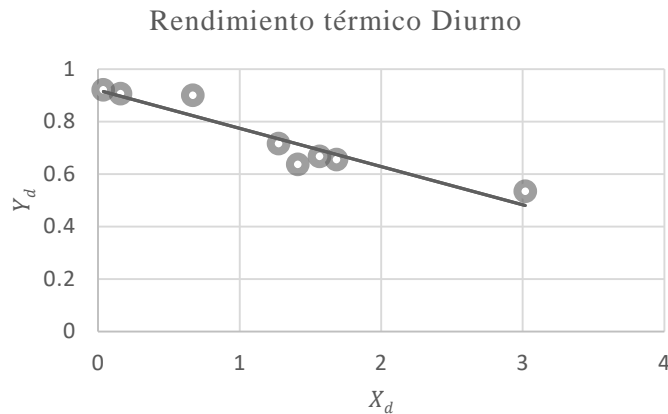


Gráfico 1. Rendimiento térmico Diurno.

$$Y_1 = -0.1453x + 0.919$$

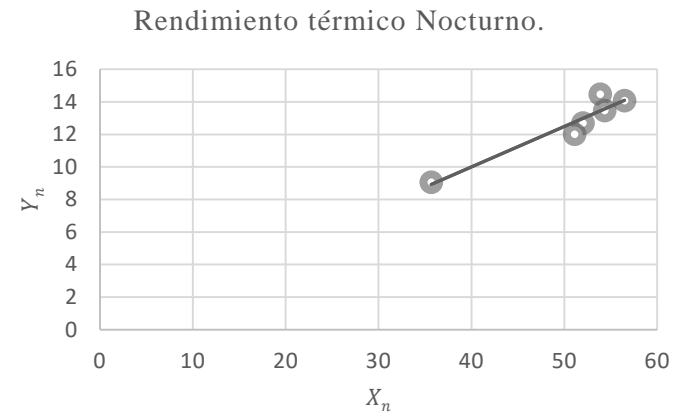


Gráfico 2. Rendimiento térmico Nocturno.

$$Y_2 = .02481x + .0706$$

Nota: los puntos tomados para generar la gráfica fueron obtenidos experimentalmente conforme lo indica la NMX-ES-004-NORMEX-201.

Resultados.

Para probar el algoritmo se evaluó un caso donde se tiene un sistema de calentamiento de agua para 4 personas; dos lo utilizan por la noche y dos por la mañana. La siguiente figura muestra la pantalla del software con los datos ingresados.

En las tablas se presentan los datos arrojados referente al análisis energético para cada mes del año, y los resultados correspondientes a la evaluación económica.

```

C:\Users\Alejandro\Downloads\Calculadora\Calculadora.exe
Datos de la vivienda
Número de personas en la vivienda:      4
Número de personas que se bañan en el día:  2
Número de personas que se bañan en la noche: 2

Datos técnicos
Tipo de combustible utilizado:           Gas LP
Tipo de contenedor utilizado:           Cilindro
Eficiencia del boiler:                   0.87
Volumen del sistema:                     150

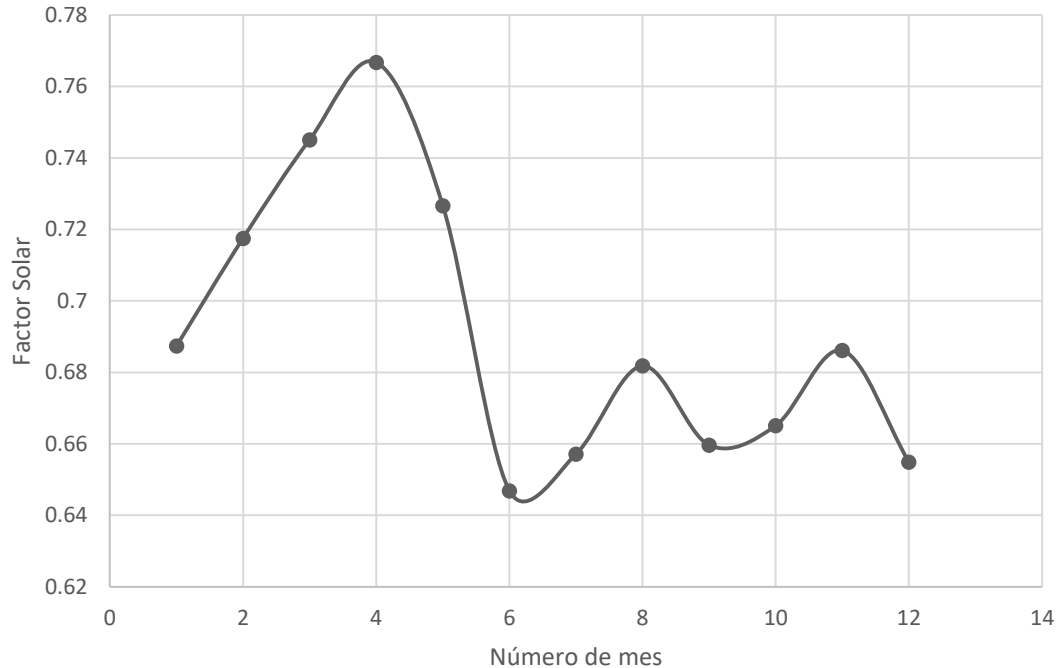
Datos económicos
Inversión del sistema:                   14000
Tasa la inflación anual:                 12
  
```

MES	QRU	QSU	QB	MA	MG	FSR	CO2
ENERO	698.695	480.265	218.430	15.4465	5.057	0.6873	45.195
FEBRERO	616.098	442.074	174.023	14.2182	4.029	0.7175	41.601
MARZO	636.496	474.254	162.242	15.2532	3.7567	0.7451	44.629
ABRIL	577.843	443.084	134.758	14.2507	3.12	0.7667	41.696
MAYO	588.811	427.872	160.939	13.7614	3.726	0.7266	40.264
JUNUI	587.875	380.287	207.588	12.2310	4.806	0.6468	35.786
JULIO	621.984	408.734	213.249	13.1459	4.937	0.6571	38.463
AGOSTO	626.130	426.907	199.222	13.7304	4.613	0.6818	40.117
SEPTIEMBRE	611.952	403.677	208.274	12.9833	4.822	0.6596	37.987
OCTUBRE	651.099	432.994	218.015	13.9262	5.048	0.6651	40.746
NOVIEMBRE	660.105	452.908	207.196	14.5667	4.797	0.6861	42.620
DICIEMBRE	692.475	453.530	238.945	14.5866	5.532	0.6549	42.679
ANUAL	7569.478			168.100	54.25		491.845

VPN	TIR	Retorno
14438	29.37%	48 meses

Resultados.

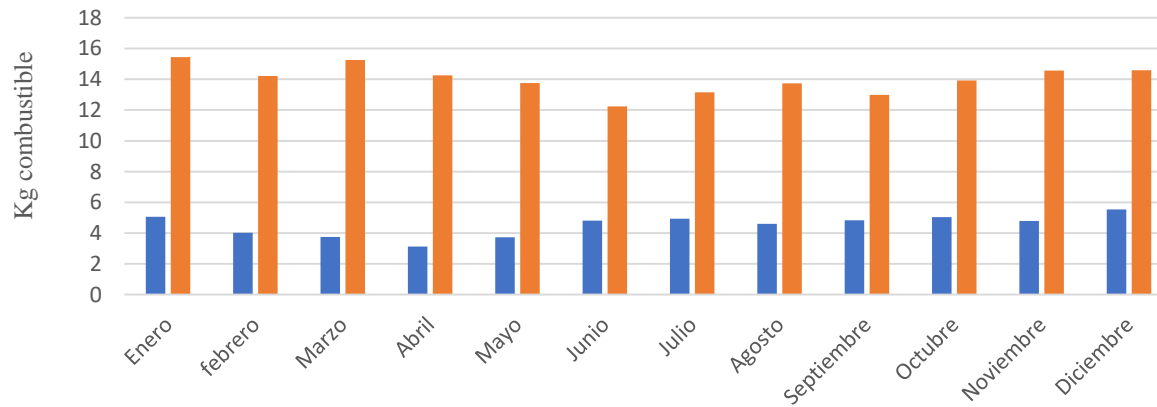
El gráfico muestra el comportamiento mensual del factor solar, que refiere al porcentaje de energía que suministra el sistema de calentamiento respecto a la energía requerida por el usuario.



Resultados.

En el gráfico se muestra la comparativa mensual entre combustible ahorrado y combustible gastado al tener instalado el calentador solar

Kg de Combustible gastado vs Kg de Combustible ahorrado.



Conclusiones.

- El contar con un software que evalúe los sistemas de calentamiento solar, de forma energética y económica, permite determinar si el uso de estos sistemas es rentable o no.
- Contar con equipos certificados permite ofrecer a los usuarios sistemas de calidad.
- Dado que el algoritmo, que se presenta en este trabajo, se desarrolló en base a la norma NMX-ES-004-NORMEX-201 puede contribuir a la certificación o verificación de sistemas comerciales.
- El uso de sistemas de calentamiento permite a los usuarios reducir costos por el uso de combustible, además de que reduce las emisiones de dióxido de carbono al ambiente.

[1] NMX-ES-004-NORMEX-201

[2] (Energía, 2017).

[3] (Pemex, 2017).

[4] Baca Urbina, G. (2013). *Evaluación de proyectos (7a.* McGraw Hill México.

[5] Çengel, Y. A., Boles, M. A., & Buesa, I. A. (2006). *termodinámica* (Vol. 10). São Paulo: McGraw-Hill.

[6] Van Wylen, G. J., & Sonntag, R. E. (1967). *Fundamentos de termodinámica* (No. 536.7). Limusa.

[7] Marina, U. E. PROYECTO de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-027-ENER/SCFI-2016, Rendimiento térmico, ahorro de gas y requisitos de seguridad de los calentadores de agua solares y de los calentadores de agua solares con respaldo de un calentador de agua que utiliza como combustible gas LP o gas natural. Especificaciones, métodos de prueba y etiquetado.

[8] Burbano, J. C., Restrepo, Á. H., & Sabogal, Ó. J. (2006). Diseño y construcción de un calentador solar de agua operando por termosifón. *Scientia et technica*, 2(31).

Los estudiantes Apolo Rojas Avila y Alejandro Pacheco Reyes agradecen al CONACYT por el apoyo brindado para la elaboración del presente trabajo, por medio de becas PNPC.



ECORFAN®

© ECORFAN-Mexico, S.C.

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCIERMMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- (www.ecorfan.org/ booklets)