



# Title: Dinámica de una cámara de envejecimiento de plástico con control de temperatura PI

**Authors:** MEDINA-MARTÍNEZ, Sergio Iván, JUÁREZ-TOLEDO, Carlos, MARTÍNEZ-CARRILLO, Irma and FLORES-VÁZQUEZ, Ana Lilia

Editorial label ECORFAN: 607-8695

BCIERMMI Control Number: 2021-01

BCIERMMI Classification (2021): 271021-0001

Pages: 13

RNA: 03-2010-032610115700-14

### ECORFAN-México, S.C.

143 – 50 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](http://www.ecorfan.org)

### Holdings

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

Introducción

Metodología

Resultados

Conclusiones

Agradecimientos

Referencias

# Introducción

El plástico es una materia prima indispensable en la vida del ser humano por las propiedades que posee, se utiliza para la fabricación de accesorios de automóvil, ropa, equipos electrónicos, construcción, medicina, herramientas, etc., con una producción anual en el 2019 de 369 millones de toneladas a nivel mundial .

Sin embargo, el plástico también representa un problema ambiental debido a que los residuos terminan en el mar o en vertederos causando una contaminación ambiental la cual produce gases de efectos invernadero y tóxicos llamados dioxinas que causan graves problemas a la salud humana.

Por lo que la Organización de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente celebró la cuarta asamblea en el 2019 buscando con otros países una producción de consumo sustentable utilizando una “Economía Circular” para la búsqueda de crear plásticos ligeros, versátiles y duraderos y así mismo desarrollar directrices que informen al consumidor final sobre el uso, producción, normas y etiquetas del plástico.

En la creación de nuevos polímeros se realizan pruebas de laboratorio para determinar el ciclo de vida útil, por medio de una cámara de envejecimiento la cual tiene un sistema térmico que provoca una degradación acelerada del plástico.

A la hora de controlar la temperatura en una cámara de envejecimiento se puede realizar de la siguiente forma:

Función de transferencia

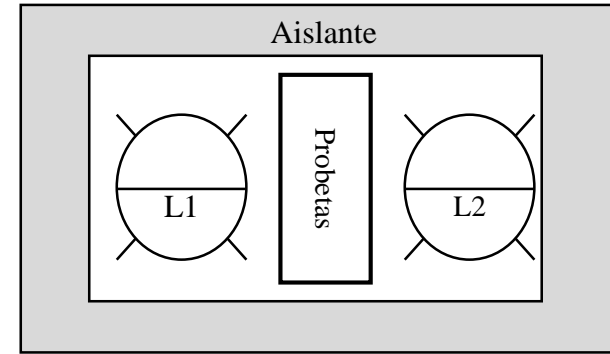
$$\frac{\Theta(s)}{H_i(s)} = \frac{R}{RCs+1}$$

Conociendo los materiales de construcción

$$P = \delta A \epsilon T^4$$
$$P_{lost} = k A \Delta T t$$

# Metodología

En este trabajo se propone el desarrollo e implementación de un controlador PI obteniendo la dinámica del sistema de temperatura de manera práctica siguiendo la normativa ASTM D-4329. en el cual se establece que un ciclo completo de envejecimiento el cual es dividido en 4 secuencias con diferentes: ciclos de encendido de las lámparas, temperaturas y porcentajes de accionamiento como se muestra en la Figura 1 y Tabla 1.



**Figura 1** Cámara de envejecimiento de plástico con dos luminarias infrarrojas.

Secuencia	Temperatura	% ciclo de envejecimiento	L1	L2
Amanecer	$60 \pm 3$ °C	22.22	On	Off
Medio día	$60 \pm 3$ °C	22.22	On	On
Atardecer	$60 \pm 3$ °C	22.22	Off	On
Anochecer	$50 \pm 3$ °C.	33.33	Off	Off

**Tabla 1** Características de un ciclo de la cámara.

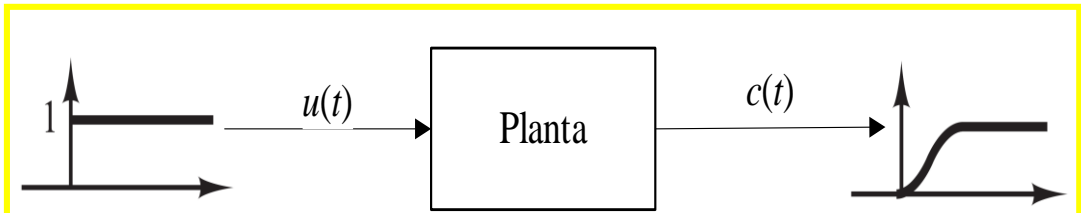
Para controlar la temperatura primero se tiene que obtener la caracterización en la cámara de envejecimiento como se muestra en la figura 2 y 3 a la hora de ingresarlo en el Toolbox de Matlab System Identification se obtiene los siguientes valores :

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts+1}$$

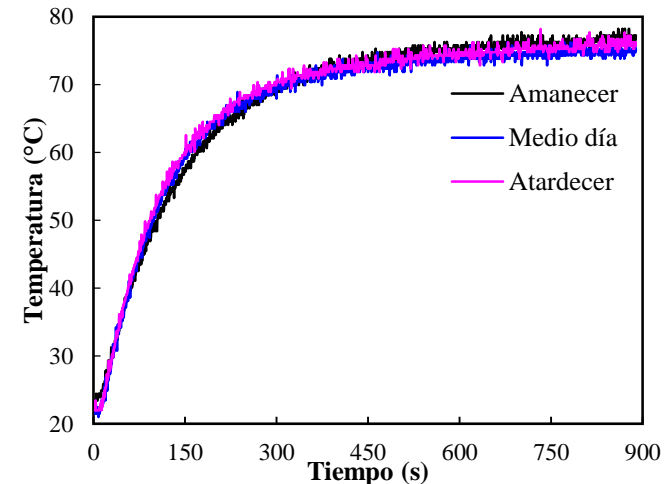
Secuencia	K	L	T
Amanecer	1.5	10.5	172.6
Medio día	3.15	6.4	137.68
Atardecer	1.5	12	172.6

**Tabla 2:** Parámetros de la FT de la secuencia de tiempo de temperatura requerida.

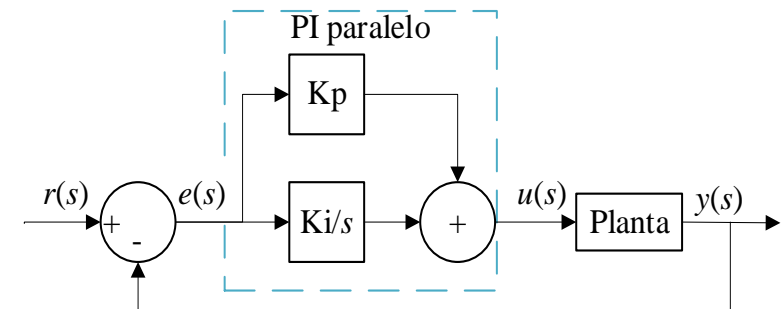
Una vez que se obtiene la función de transferencia se utiliza un controlador PI paralelo como se muestra en la figura 4:



**Figura 2** Respuesta a un escalón unitario de una planta.



**Figura 3** Caracterización del sistema térmico.



**Figura 4** Control PI paralelo.

La ecuación que representa el controlador PI es  $\frac{u(t)}{e(t)} = K_p + \frac{K_i}{s}$  los valores  $K_p$  y  $K_i$  se obtienen utilizando Matlab PID Tuner como se muestra en la tabla 4.

Los valores que se obtuvieron están en tiempo continuo se puede convertirlo a digital utilizando el método de Tustin para poder programarlo en el microcontrolador, el cual consiste sustituir  $s = \frac{2z-1}{T_s z+1}$  en el controlador PI los valores en tiempo discreto se muestra en la tabla 5.

Secuencia	$K_p$	$K_i$
Amanecer	3.76	0.0737
Medio día	1.52	0.0159
Atardecer	4.42	0.0350

**Tabla 4** Parámetros del controlador PI de la secuencia amanecer, atardecer y medio día.

Secuencia	$K_p$	$\frac{K_i T_s}{2}$
Amanecer	3.76	0.1837
Medio día	1.52	0.03975
Atardecer	4.42	0.0875

**Tabla 5** Controlador PI en tiempo discreto.

Los valores obtenidos del controlador discreto de por sí mismo no se puede ingresar a un microcontrolador por lo que se necesita convertirla a una ecuación de diferencias aplicando la transformada inversa  $z$  dando la siguiente ecuación

$u_k = u_{k-1} + k_p(e_k - e_{k-1}) + \frac{K_i T_s}{2}(e_k + e_{k-1})$  y los valores a ingresar al microcontrolador se muestran en la tabla 6:

Secuencia	Ecuación de diferencias
Amanecer	$u_k = u_{k-1} + 3.76(e_k - e_{k-1}) + 0.1837(e_k + e_{k-1})$
Medio día	$u_k = u_{k-1} + 1.52(e_k - e_{k-1}) + 0.0397(e_k + e_{k-1})$
Atardecer	$u_k = u_{k-1} + 4.42(e_k - e_{k-1}) + 0.0875(e_k + e_{k-1})$

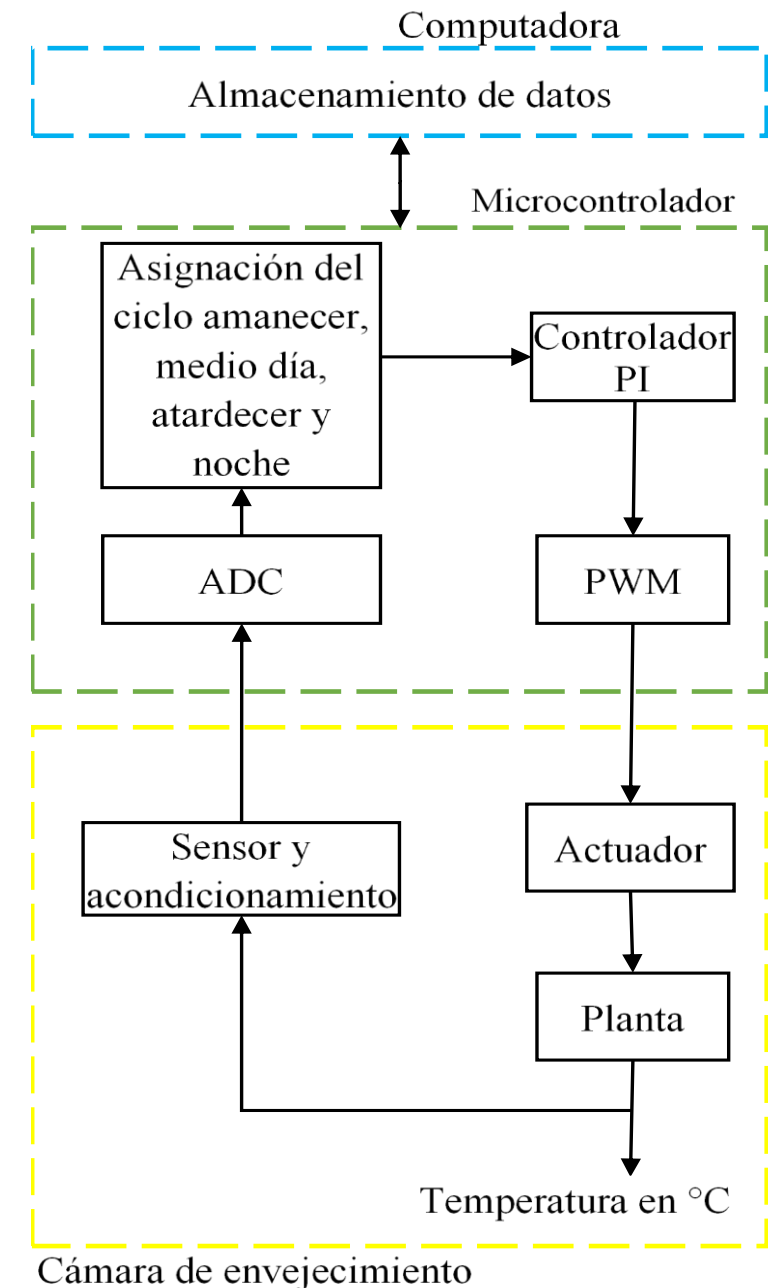
**Tabla 6** Ecuación de diferencias del controlador PI.



Una vez que se tiene la caracterización y las ecuaciones de diferencias. La implementación del controlador PI se observa en la figura 4 en donde se tiene el microcontrolador el cual es el encargado de obtener la información de la temperatura dentro de la cámara de envejecimiento y por medio de la asignación del ciclo se implementa la ecuación de diferencias en el controlador PI dando como resultado una señal PWM que controla al sistema.

Como puede observarse en la figura 5 el prototipo esta dividido en las tres fases siguientes:

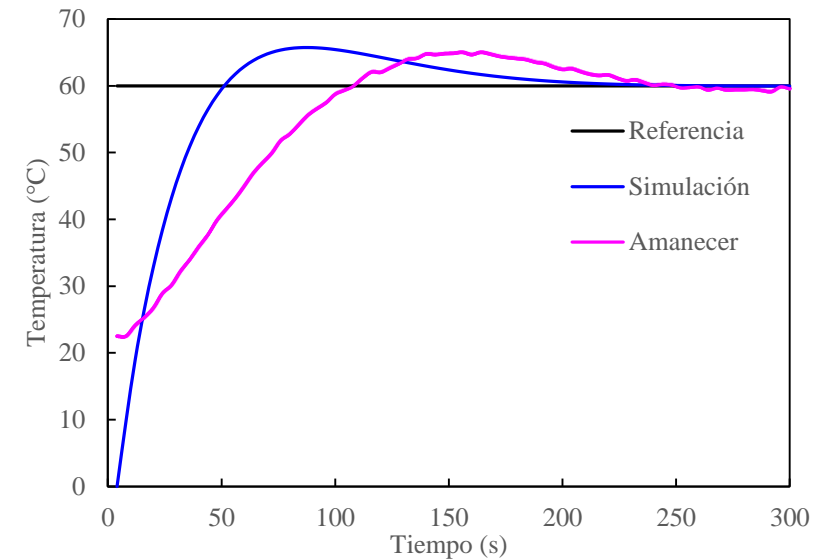
- 1. Almacenamiento:** donde se guarda un histórico de las temperaturas de la cámara
- 2. Control:** integrada por el microcontrolador
- 3. Fase de accionamiento:** consiste en la cámara de envejecimiento de plástico



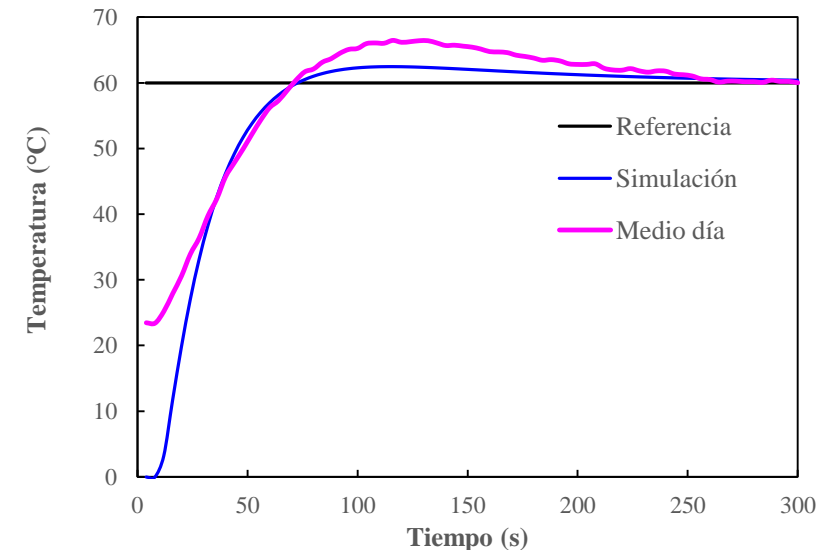
**Figura 5** Diagrama a bloques de la implementación del controlador PI.

# Resultados

Para verificar la efectividad del método que se implementa se compara de forma individual los resultados del control de la cámara de envejecimiento con respecto a la simulación, en donde se observa que tienen un comportamiento similar respecto a la simulación y alcanzando una temperatura de 60 °C en un tiempo aproximado de 250 segundos para la secuencia amanecer la temperatura en el tiempo de establecimiento tiene un error menor al 1% como se muestra en la figura 6, de forma similar sucede en el ciclo medio día como se muestra en la figura 7.



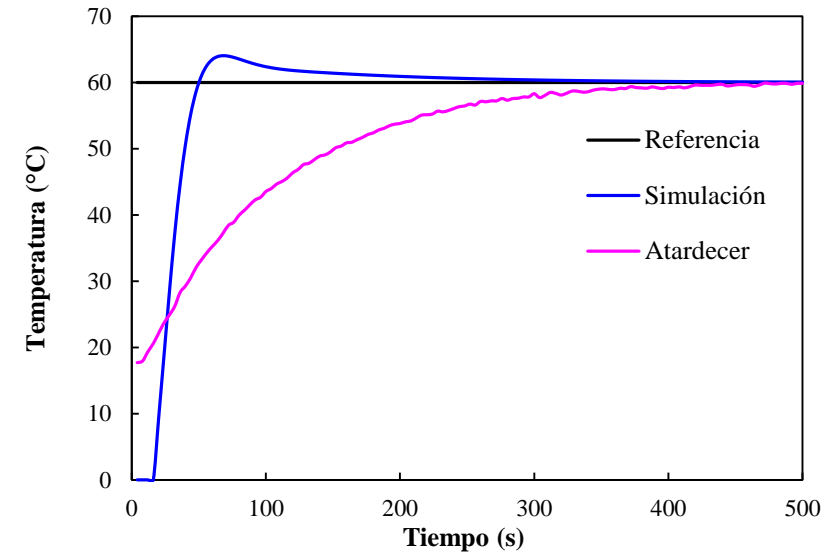
**Figura 6** Simulación vs sistema real del ciclo amanecer.



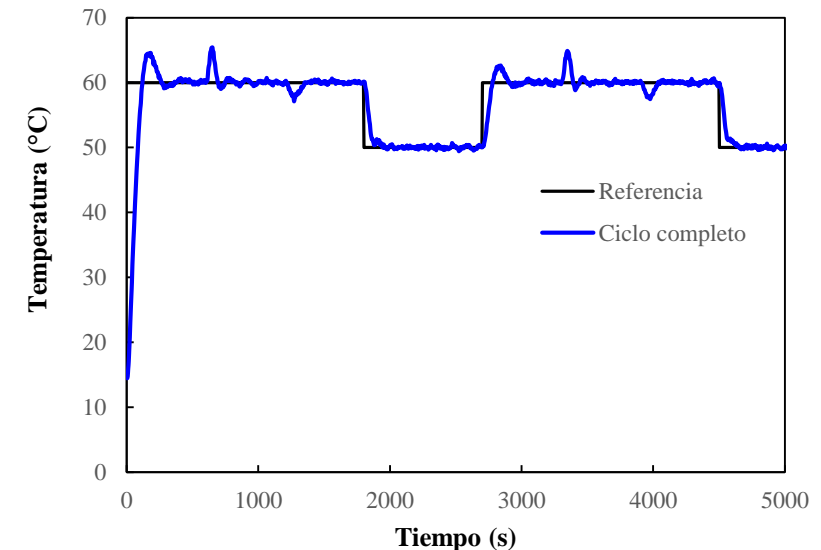
**Figura 7** Simulación vs sistema real del ciclo medio día.

De forma similar sucede en el ciclo medio día como se muestra en la figura 8 en el caso de la secuencia atardecer tiene un tiempo de establecimiento de 400 segundos como se observa en la figura 8 con un error de establecimiento similares a los casos anteriores.

Finalmente se implementa el control en la cámara de envejecimiento de plástico como se muestra en la figura 9 donde muestra la efectividad del método.



**Figura 8** Simulación vs sistema real del ciclo atardecer.



**Figura 9** Ciclo dentro de la cámara de envejecimiento.

# Conclusiones

En el trabajo se desarrolla un control PI para una cámara de envejecimiento de plástico bajo la norma ASTM D-4329, el cual consiste en el desarrollo de tres funciones de transferencia que van empleándose conforme el ciclo de trabajo se desarrolla.

Al tener una dinámica del sistema diferente para cada semi ciclo de trabajo (amanecer, medio día y atardecer) es necesario implementar en el microcontrolador tres acciones o controles de trabajo, esto es posible por medio de la conversión del controlador PI en tiempo discreto ( $z$ ) y por una expresión de diferencias que puede ser interpretada por el microcontrolador como un valor PWM de accionamiento de las luminarias.

# Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología  
(CONACYT) México.

Universidad Autónoma del Estado de México, UAP  
Tianguistenco.

# Referencias

- Bahl, S., Dolma, J., Jyot Singh, J., & Sehgal, S. (2020). Biodegradation of plastics: A state of the art review. *Materials Today: Proceedings*, 31-34.
- Ezike, S., Alabi, A., Ossai, A., & Aina, A. (2018). A Low-Cost Temperature-Controlled Chamber Fabricated for Materials Testing. *Designs*. doi:<https://doi.org/10.3390/designs2030025>
- Fuentes, J., Castro, S., Medina, B., Moreno, F., & Sepúlveda, S. (2018). Experimentación de controladores digitales clásicos en un sistema embebido aplicado en un proceso térmico. *UIS Ingenierías*, 81-92.
- International Institute for Sustainable Development. (2019). *Earth Negotiations Bulletin*. IISD Reporting Services.
- Kaewwiset, T., & Yodkhad, P. (2017). Automatic Temperature and Humidity control system by using Fuzzy Logic Algorithm for Mushroom nursery. *International Conference on Digital Arts, Media and Technology* (págs. 396-399). Chiang Mai, Thailand: IEEE.
- Kavita, T., Naga, B., Lavanya, M., & Arivalagan, M. (2015). Temperature Control Water bath system using PID Controller. *International Journal of Applied Engineering Research*, 3443-3446.
- MathWorks. (03 de 03 de 2021). *System Identification Toolbox*. Obtenido de idproc: [https://la.mathworks.com/help/ident/ref/idproc.html#btfmmi4-1\\_seealso](https://la.mathworks.com/help/ident/ref/idproc.html#btfmmi4-1_seealso)
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería De Control Moderna*. Madrid: Pearson Educación.
- Plastics Europe. (16 de Marzo de 2021). *Plastics the Facts 2019*. (Plastics Europe) Recuperado el 15 de 03 de 2021, de <https://www.plasticseurope.org/es/resources/publications/1804-plastics-facts-2019>
- PlasticsEurope. (16 de Marzo de 2021). *PlasticsEurope*. Recuperado el 16 de Marzo de 2021, de [plasticseurope.org: https://www.plasticseurope.org/es/focus-areas/circular-economy](https://www.plasticseurope.org/es/focus-areas/circular-economy)
- Sánchez, C., Dessì, P., Duffy, M., & Lens, P. (2020). OpenTCC: An open source low-cost temperature-control chamber. *HardwareX*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ohx.2020.e00099>
- Yue, H., Fuqiang, W., Lifeng, Q., Jun, G., & Benke, L. (2020). Application of Fuzzy PID Control Algorithm Based on Genetic Self-tuning in Constant Temperature Incubator. *Chinese Control And Decision Conference* (págs. 171-176). Hefei, China: IEEE.



**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](http://www.ecorfan.org/booklets))