

Prototipo físico para llevar a cabo monitoreo de contaminantes

A. Sosapavón, A. G. González, L. G. Barriada ¹

M.C. Guadalupe Friné González Carranza ².

Instituto Tecnológico de Durango

División de estudios de post grado en Ingeniería Química.

Boulevard Felipe Pescador 1830 Ote., 34080 Durango, Dgo.

Tel +52 (618)8290918; correo electrónico: FLCL11@hotmail.com

RESUMEN.

El presente trabajo pretende mostrar la descripción de la arquitectura utilizada para el diseño de un proceso de cuantificación de temperatura, resistencia eléctrica (como una medición indirecta de la presencia de cloruro de sodio), y la presión hidrostática de un fluido de trabajo existente dentro de un prototipo utilizado para fines didácticos; utilizando para ello sondas transductoras basadas en semiconductores electrónicos.

Se estudian algunas consideraciones concernientes a la implantación de un algoritmo de control clásico del tipo proporcional – integral – derivativo (PID); utilizando los recursos existentes en el proceso de cuantificación.

Así mismo, se analiza el procedimiento seguido en la calibración del instrumental, así como la respuesta del instrumental destinado a ejecutar las acciones provenientes del algoritmo PID.

-
1. Beneficiario del programa Becas – Crédito DGIT.
 2. Catedrática del Instituto Tecnológico de Durango y directora de proyecto de investigación

JUSTIFICACION.

- ¿Por que automatizar un sistema de monitoreo dentro de un entorno de investigación? –

La instrumentación digital de procesos, se ha convertido en uno de los puntos de mayor interés en un amplio rango de aplicaciones, por lo cual, hoy en día está presente en diversos sistemas de investigación altamente especializados como lo son los médicos, los ambientales, análisis en tiempo real de procesos industriales, sólo por mencionar algunos.

Al automatizar un proceso, cualquiera que éste sea, las condiciones del entorno en que se desarrollan las actividades de un programa de investigación pueden ser amenizadas. Por ejemplo pueden instalarse máquinas que realicen las tareas más difíciles o altamente repetitivas, o bien, las que se llevan a cabo bajo condiciones de entorno extremas como por ejemplo: altas temperaturas, altos niveles de ruido o de contaminación. El integrante del programa de investigación puede así concentrarse cada vez más en el controlar, supervisar o planear el proceso de la investigación, y de esta manera minimizar el esfuerzo humano, y las posibles complicaciones que implica la presencia del mismo.

OBJETIVO.

Desarrollar una herramienta tecnológica, destinada al monitoreo de la temperatura, la presencia de cloruro de sodio y la presión hidrostática de un fluido dentro de un proceso (teniendo en cuenta que un valor no deseado de las dos primeras variables, serán consideradas como una “presencia contaminante” dentro del mismo).

Objetivos específicos.

- Desarrollar las herramientas tecnológicas (transductores), destinadas al monitoreo de las variables de:

Temperatura, dentro de un rango de 20 °C – 70 °C.

Presencia de cloruro de sodio, de entre 0 gr/L - 20 gr/L.

Presión hidrostática, en un rango de entre 0 Pa – 2 KPa.

- Desarrollar la interfase informática, mediante la programación en Microsoft Visual Basic 6.0 para poder así poder dar el siguiente tratamiento a la información recolectada de los transductores:

- Emular, hacia una escala de medición reconocida, el comportamiento de la información del proceso recopilada por los transductores



- Implantar un algoritmo de control del tipo PID, que responda al estado que guarda el proceso mediante la información que e recopilada del mismo mediante loas transductores.

- Desarrollar el instrumental necesario para ejecutar las acciones calculadas por el algoritmo PID.

HIPOTESIS.

Mediante el uso de dispositivos electrónicos discretos, así como el uso de las herramientas comunes de software y hardware, es posible el desarrollar una unidad electrónica capaz de monitorear el comportamiento de una serie de variables dentro de un proceso cualquiera.

METODOLOGIA.

De acuerdo a la arquitectura del proceso, encontramos que existen tres ejes metodológicos que es preciso considerar:

- ***Obtención de las funciones de transferencia del equipo instrumental.***

- El primer paso en cualquier metodología que tenga por objeto el calibrar las lecturas ofrecidas por un transductor cualquiera, es el poder realizar un procedimiento de comparación en contra de un instrumental que sea capaz de registrar la misma variable a sensar, pero que este provea de resultados de acuerdo a un sistema de unidades bien establecido y de fácil manejo. Tomando en cuenta la idea anterior, es necesario contrastar la información proveniente del instrumental en contra de un instrumental de laboratorio debidamente calibrado en alguna escala de unidades, por ejemplo, en la siguiente figura, observamos el contraste



realizado entre el transductor de temperatura y un termómetro de mercurio calibrado en una escala Celsius.

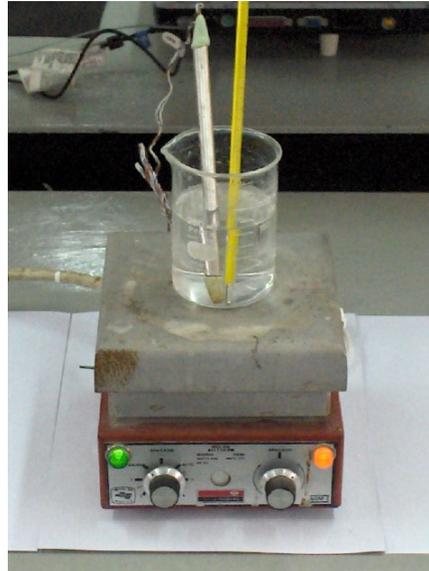


Figura 1. Sistema de contraste entre un termómetro comercial y el transductor térmico utilizado

- Tomando en cuenta las especificaciones del fabricante de la sonda utilizada en el transductor, en caso de contar con ella, se eligen una serie de puntos de medida elegidos de forma aleatoria y dentro del rango de interés, bastando con 4 puntos para reconocer un posible comportamiento del transductor, pero siendo recomendable el elegir varios puntos más para corroborar dicho comportamiento (este procedimiento es obtener la función de transferencia en términos que son de interés para el proceso, por ejemplo, en lugar de obtener una función de transferencia en términos de milivolts, obtener una función en términos de una ecuación cuadrática).
- Se procede a repetir el procedimiento, anteriormente expuesto, cuantas veces sea necesario de acuerdo a los lineamientos del diseño de experimentos seguidos para asegurar la aleatoriedad

del proceso o el seguimiento de calidad del mismo.

- **Obtención de los parámetros de operación del algoritmo de control PID.**

Para obtener los parámetros necesarios para implantar el algoritmo PID en el proceso en que se trabajó, se hizo uso del método de *de la curva de reacción de Ziegler-Nichols*; es decir se pretendió modelar la respuesta del sistema, a lazo abierto, como si se tratase de un modelo de primer orden más un tiempo muerto (POMTM), mediante el siguiente procedimiento:

1. Se conducen, manualmente, las variables de interés del proceso a un punto de operación normal manipulando, que denominaremos $u(t)$. Supongamos que el proceso se estabiliza en $y(t) = y_0$ cuando $u(t) = u_0$.
2. En un instante inicial (t_0), se introduce al sistema una perturbación del tipo escalón, tal y como se muestra en la Figura 2, de modo que la salida del sistema cambie de un valor inicial u_0 a un valor final $u(t)$

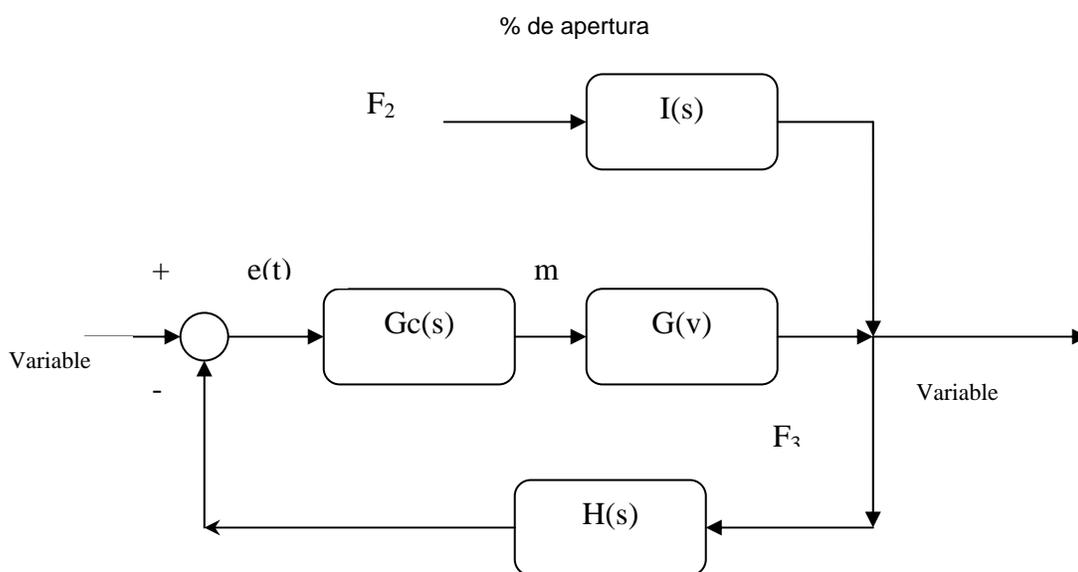


Figura 2. Esquema del proceso utilizado en el método de la curva de reacción de Ziegler-Nichols

Donde:

$H(S)$ = función de transferencia del transductor

$I(s)$ = Función de transferencia de la perturbación

$G(v)$ = Función de transferencia de la válvula

$G(s)$ = Función de transferencia del proceso

3. Se monitorea el proceso para observar, esperando que la respuesta de la salida del proceso se estabilice en el nuevo punto de operación. La Figura 3 muestra una curva típica para este tipo de procedimiento:

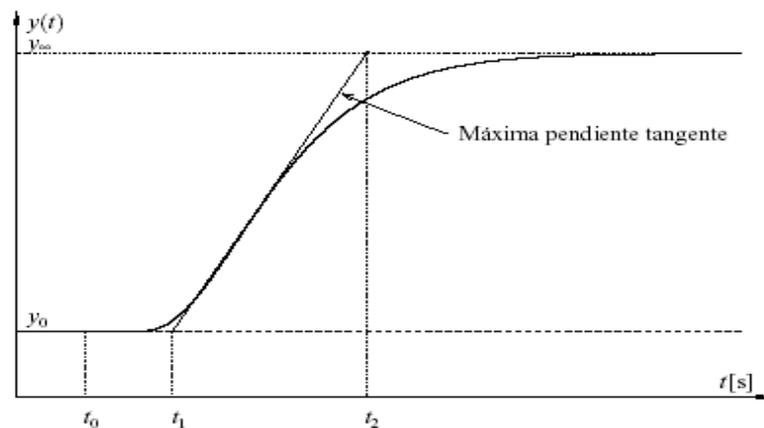


Figura 3. Respuesta esperada del proceso a lazo abierto ante la perturbación escalón en el método de la curva de reacción de Ziegler-Nichols

4. Se calculan los parámetros del modelo según el siguiente criterio:

Error! Objects cannot be created from editing field codes.

Error! Objects cannot be created from editing field codes.

Error! Objects cannot be created from editing field codes.

5. Los parámetros del controlador PID por medio de este método se obtienen según el criterio expuesto en la Tabla 1

Tabla 1. Parámetros de controladores PID según el método de la curva de reacción de Ziegler-Nichols.

	k_p	t_i	t_d
P	Error! Objects cannot be created from editing field codes. / [ko Error! Objects cannot be created from editing field codes.]		
PI	0.9 Error! Objects cannot be created from editing field codes. / [ko Error! Objects cannot be created from editing field codes.]	3 Error! Objects cannot be created from editing field codes.o	
PID	1.2 Error! Objects cannot be created from editing field codes. / [ko	2 Error! Objects cannot be created	0.5 Error! Objects cannot be

	Error! Objects cannot be created from editing field codes.]	from editing field codes.o	created from editing field codes.o
--	---	-----------------------------------	---

- ***Obtención de las características de la interfase informática deseadas/requeridas por parte del proceso***

En este apartado, no es posible describir una metodología rígida acerca de cómo programar el software necesario para la aplicación, bastara decir que dicho software responde únicamente a las necesidades del programador así como a la destreza del mismo.

RESULTADOS.

- *Función de transferencia*

Transductor de temperatura, referencia de unidades de salida en mili - volts (mV):



$$V_{ot} + [VO_{tox} [T / T_0]]$$

Donde:

V_{ot} = Voltaje de salida registrado en este punto de temperatura.

V_{otox} = Voltaje de salida a la temperatura de referencia.

T, es la temperatura desconocida.

T_0 , es la temperatura de referencia en grados Kelvins (k).; normalmente, la salida del sensor esta calibrada en 10mV / K.

Transductor de temperatura, referencia de unidades decimales de salida.

$$y = 0,4212x + 119,29$$

Donde:

y = Lectura decimal recopilada por el transductor

x = temperatura en grados Celsius (°C)

Transductor de presión:

$$V_{out} = V_s [P(0.009 + 0.04) \pm [(A)(B)(0.009)(V_s)]]$$

Donde:

V_{out} = Señal de la salida del sensor

V_s = Voltaje de alimentación; 5 V +/- 0.05 de la presión registrada.

P = presión registrada

B = Error en la medición de presión.

A = Compensación de temperatura

Transductor de presión, referencia de unidades decimales de salida.

$$y = 107,03x + 22,4$$

Donde:

y = Lectura decimal recopilada por el transductor

x = pascales

Transductor de resistividad eléctrica:

$$V \approx 1.7[0.025(7 - pH)] \approx 0.0425(7 - pH)$$

Donde:

V = voltaje (mV) de salida registrado por la sonda y referido a la conductividad eléctrica de la solución sensada.

pH = potencial hidrógeno de la solución sensada

Transductor de resistividad eléctrica, referencia de unidades decimales de salida.

$$y = -0,801x^4 + 9,7849x^3 - 43,036x^2 + 81,404x + 36,333$$

Donde:

y = Lectura decimal recopilada por el transductor

x = gramos de cloruro de sodio por cada 100 ml de agua.

- **No linealidad**

Transductor de temperatura: $r^2 = 0.9969$

Transductor de presión hidrostática: $r^2 = 0.9528$

Posgrado en Ingeniería Química
Seminario de investigación 2008



Transductor de temperatura:

$$r^2 = 0.872$$

Control proporcional – integral – derivativo (PID)

Parámetros de control sistema térmico:

Tabla2. Parámetros de k_c , t_i y t_d ; utilizados en el controlador ante la presencia de una perturbación térmica del proceso.

	Abertura total de la válvula de perturbación (F_2)	Abertura del 14.28% de la válvula de perturbación (F_2)
k_c	0.0510	84.865
t_i	310.083	212.992
t_d	77.0523	53.248
t_0	155.041	106.496
T	92	102.124

Parámetros de control sistema resistivo (presencia de cloruro de sodio en el fluido de proceso):

Tabla2. Parámetros de k_c , t_i y t_d ; utilizados en el controlador ante la presencia de una perturbación en la resistencia eléctrica del fluido de proceso (cambios en la concentración de cloruro de sodio en el proceso).

	Abertura total de la válvula de perturbación (F_2)	Abertura del 14.28% de la válvula de perturbación (F_2)
k_c	1.171	4.6993
t_i	4.25	132.509
t_d	1.062	33.127
t_0	2.125	66.2529
T	1.375	49.161

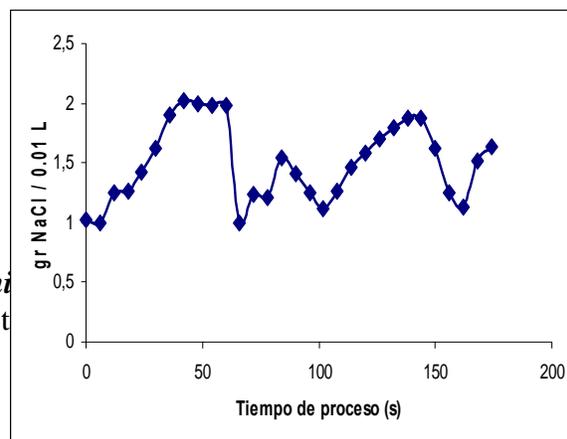
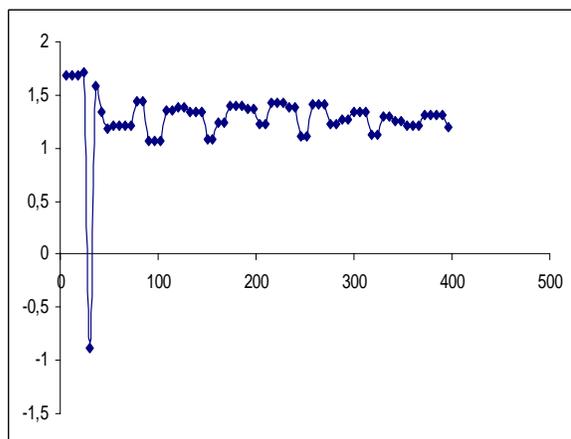


Figura 4. Respuesta del proceso ante la acción del controlador PID ante una abertura del 14.28% de la válvula de perturbación. Proceso resistivo (presencia de NaCl en el fluido de proceso)

Figura 5. Respuesta del proceso ante la acción del controlador PID ante una abertura del 100% de la válvula de perturbación. Proceso resistivo (presencia de NaCl en el fluido de proceso)

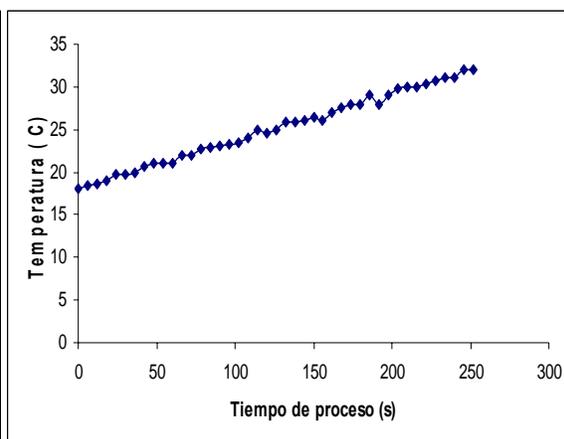
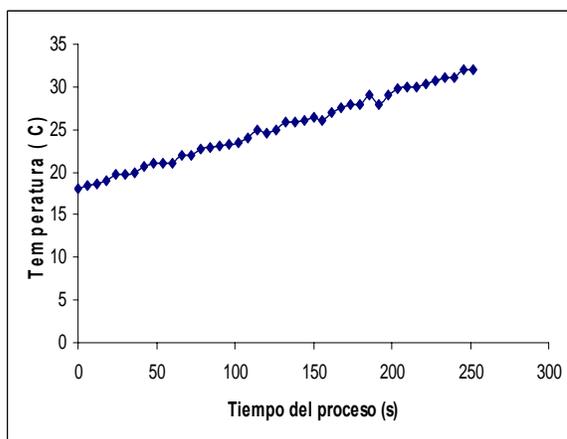


Figura 6. Respuesta del proceso ante la acción del controlador PID ante una abertura del 14.28% de la válvula de perturbación. Proceso térmico

Figura 7. Respuesta del proceso ante la acción del controlador PID ante una abertura del 100 % de la válvula de perturbación. Proceso térmico

Conclusiones.

Se logro desarrollar con éxito el proceso de diseño, construcción y puesta en operación, de los transductores necesarios para poder monitorear, en tiempo real, las variables mencionadas con anterioridad en este trabajo; se encontró que varias características a considerar en instrumentales profesionales tales como, *rango*, *umbral*, *resolución*, *deriva* e *histéresis*; debería ser analizadas con mayor detenimiento para asegurar un óptimo manejo de dichos dispositivos, pero que

debido a la complejidad que lleva, de forma implícita, el realizar las pruebas para comprobar dichas características, solo se comprobaron aquellas características (*curva de calibración y no linealidad*) necesarias para garantizar que dichos dispositivos sean capaces registrar información de forma constante y que dicha captura de información pueda ser reproducible en experimentos posteriores bajo las mismas condiciones de experimentación.

En lo correspondiente a la programación del código fuente, mediante la librería dinámica "IO.dll" [2], se logro desarrollar una capaz de controlar 8 transductores de 8 bits de resolución en paralelo y de 20 transductores de cualquier resolución, de forma serial.

En cuanto a los resultados obtenidos de implantar una estrategia de control del tipo PID, usando los recursos de software e instrumentales desarrollados en el proceso de instrumentación del proceso, se concluyo que la dicha estrategia presentaba los siguientes defectos:

- De acuerdo con los resultados anteriormente expuestos, el tiempo de respuesta PID, posee valores extremadamente altos, muy característicos de proceso que manejan grandes volúmenes de carga.
- El comportamiento oscilatorio que se logro implantar, correspondiente a la presencia de cloruro de sodio dentro del proceso, mediante esta estrategia de control; se debe a que si bien las acciones de respuesta integral y derivativa no ofrecen las acciones correctivas a la acción proporcional tal y como cabria de esperarse, no impiden que la parte proporcional de dicha estrategia propicie un movimiento de cierre total – abertura total de las válvulas, logrando mantener en un margen definido la concentración de dicha sal (Figuras 4,5,6 y 7).
- Aunado a la explicación ofrecida en el apartado anterior; las válvulas no poseen la velocidad necesaria para responder de forma adecuada a las necesidades del algoritmo PID siendo un 500% mas lentas que las acciones de control encomendadas por el algoritmo. Así mismo, el excesivo tiempo de operación, y el cambio tan drástico de dichas condiciones, propician un desgaste excesivo en todo el instrumental que alimenta, controla y direcciona a las válvulas.
- El algoritmo PID es incapaz de realizar acciones correctivas sobre perturbaciones térmicas.

[2] Erik Valdemar Cuevas Jiménez.; Universidad de Guadalajara 2006



BIBLIOGRAFIA.

- “Laboratorios remotos para las prácticas de ingeniería de sistemas y automática en la universidad Miguel Hernández”; I.m. Jiménez, O. Reinoso, R. Puerto, J.M. Azorín; Universidad de Miguel Hernández, España (1998).
- “Distance Learning Applied to Control Engineering Laboratories.”; Aktan B., C.A. Bohus, LA. Crowl, and M.H. Shor; IEEE Transaction on Education, vol. 39, pp. 320-326, Aug. 1996.
- “Diseño e implementación de un modulo de proceso de monitoreo y control de nivel y flujo basado en pc bajo plataforma labview, para el laboratorio de ingeniería electrónica de la universitaria de Santander”; Luis Martín Barrera Pino; Hugo Fernando Puentes Arango; Universidad de Santander España (1996).
- “Construcción de un módulo didáctico para el control del nivel de líquidos”; Benítez Cadena Víctor Manuel, Zalamea Balladares José Mauricio; Escuela Politécnica Nacional (2003).
- “Using the Web in Your Courses: What Can you Do? What Should You Do?”; Poindexter S.E, Heck B.S; IEEE Control System, pp. 83-92, Feb. 1999.
- “Process control and supervision through internet”.; Paya, L., J.M. Azorin, N.M. Garcia, J.M. Sabater, C. Perez and R.P. Ñeco; Proceedings of the International Conference on Engineering Education, Valencia, Spain (2003).
- “Controles de sistemas continuos, problemas resueltos”; Editorial McGraw-Hill (1996).
- “Doe fundamentals handbook, instrumentation and control”; Volume U.S. Department of Energy Washington, D.C. 20585.
- “Doe fundamentals handbook, instrumentation and control”; Volume 2 U.S. Department of Energy Washington, D.C. 2058.
- “Medidor de Presión Digital”; H. E. Aldrete, F. Sandoval, J. Santana; CINVESTAV-Unidad Guadalajara.
- “Modelado e Implementación de control a lazo cerrado por medio de redes de comunicación de datos”; Mario Modesti, Leonardo Salgado, Pablo Savanco.
- “Medidor de pH para acuarios”; José Manuel García 2008
- J. Bouwens, *Digital Instrumentation*, (Ed, McGraw-Hill, USA), cap. 3 y 7 (1984).
- E. Aldrete-Vidrio, F. Sandoval-Ibarra, y Juan Santana, Modelo *Eléctrico Equivalente para Sensores de Presión de Efecto Piezorresistivo*, Memorias CONCI'2000, ITP Puebla, pp: 15- 19, Mayo 2000.
- MOTOROLA, Inc., Semiconductor Technical Data, *Integrated Silicon Pressure Sensor On-Chip Signal Conditioned, Temperature Compensated and Calibrated*, Rev 6 (1998).
- C. Winkler & J. Baum, MOTOROLA, Inc., Semiconductor Application Note, *Barometric Pressure Measurement Using Semiconductor Pressure Sensors*, Rev 1, (1997).
- L. M. Faulkenberry, *Introducción a los amplificadores operacionales con aplicaciones a IC lineales*, (Ed. Limusa, Noriega Editores, México), 464, (1994).
- Reodique and Warren Schultz, MOTOROLA, Inc., *Semiconductor Application Note*, “Noise



Considerations for Integrated Pressure Sensors, Rev 1, (1998).

- W. Stanley & R. F. M. Smith, *Guía para Mediciones Electrónicas y Practicas de Laboratorio*,(Ed. Prentice Hall Hispanoamericana, México), (1992).
- [E. Pasahow, *Principles of Integrated Electronics*, (Ed. Breton Publishers, USA), cap. 5,1982).
- MOTOROLA, Inc., Semiconductor Application Note, *Analog to Digital Converter Resolution Extension Using a Motorola Pressure Sensor*, Rev 6, (1998).
- www.electron.es.vg
- www.TutorialsobreMotoresPasoPaso.htm
- www.todopic.com.ar

