



# Instituto Tecnológico de Durango

Maestría en Ingeniería Química

Prototipo físico para  
llevar a cabo el monitoreo de contaminantes  
dentro de un proceso

Gerardo Barriada Bernal  
Adrián G. González Acosta  
Ing. Andrés Sosapavón

Directora de Tesis  
M.C. Guadalupe Friné Gozález Carranza

# Propósito de la investigación

- ¿ Por qué automatizar ?

- **Las investigaciones de este tipo obtienen resultados muy importantes. Por ejemplo la cantidad de la producción se puede mejorar mediante la automatización, debido a que se suprimen deficiencias humanas, el trabajo pesativo y cansado, las exposiciones de los operarios a los riesgos de accidentes físicos, como los resaca, las caídas, etc. Al mismo tiempo se evita el uso de la fuerza humana, se evita el uso de herramientas pesadas y se evita el uso de materiales peligrosos. En el trabajo de precisión se evita el uso de herramientas pesadas y se evita el uso de materiales peligrosos. Ahora bien, el automatizar significa realizar una combinación sinérgica de distintas ramas de la ingeniería, entre las que destacan: la mecánica de precisión, la electrónica, la informática y los sistemas de control. Su principal propósito es el análisis y diseño de productos y/o procesos libres de la presencia del esfuerzo humano.**



Seguridad

Reducción de costos de operación

Humanización

Mejora en condiciones de trabajo

Calidad

Eliminar riesgos de operación

Racionalización

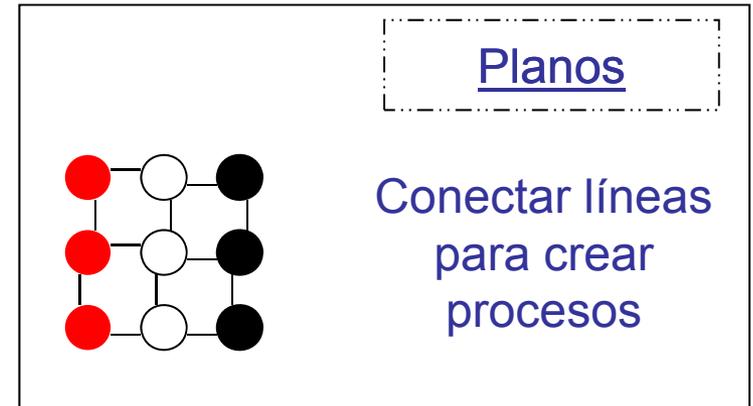
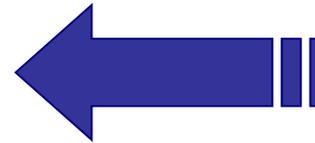
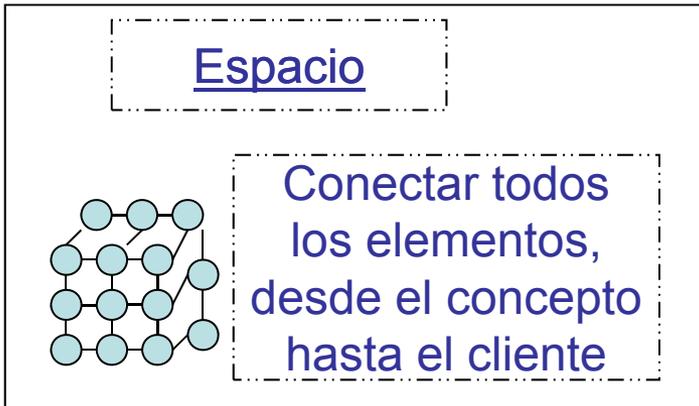
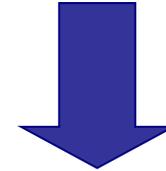
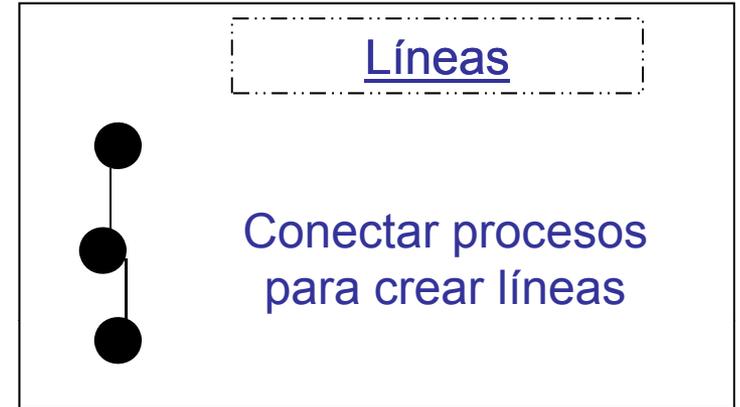
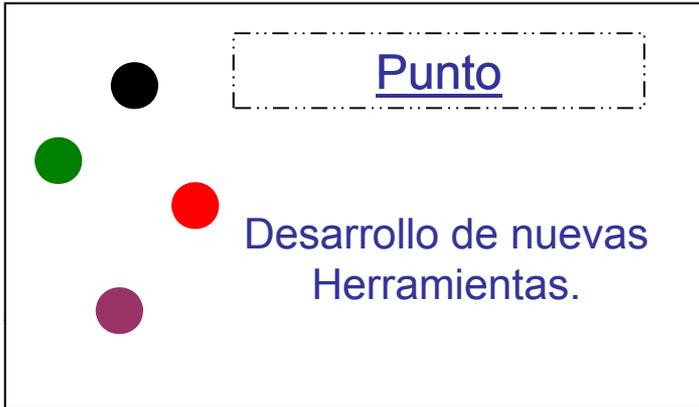
Aumento de productividad

- **Reduciendo el contenido de mano de obra directa.**
- **Reduciendo el porcentaje de productos defectuosos y recuperando el coste de materiales y del tiempo de reproceso.**

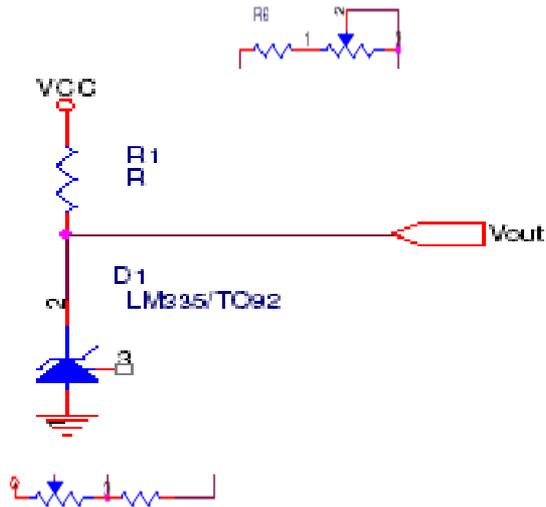
# Objetivos Específicos

- **Desarrollar la interfase tecnológica destinada a la adquisición de los datos.**
- **Desarrollar la interfase informática para poder tratar a dichos datos.**
- **Desarrollar elementos de control capaces de actuar de forma eficiente dentro de dicho proceso.**

# Procedimientos utilizados



# Diseño de Herramientas



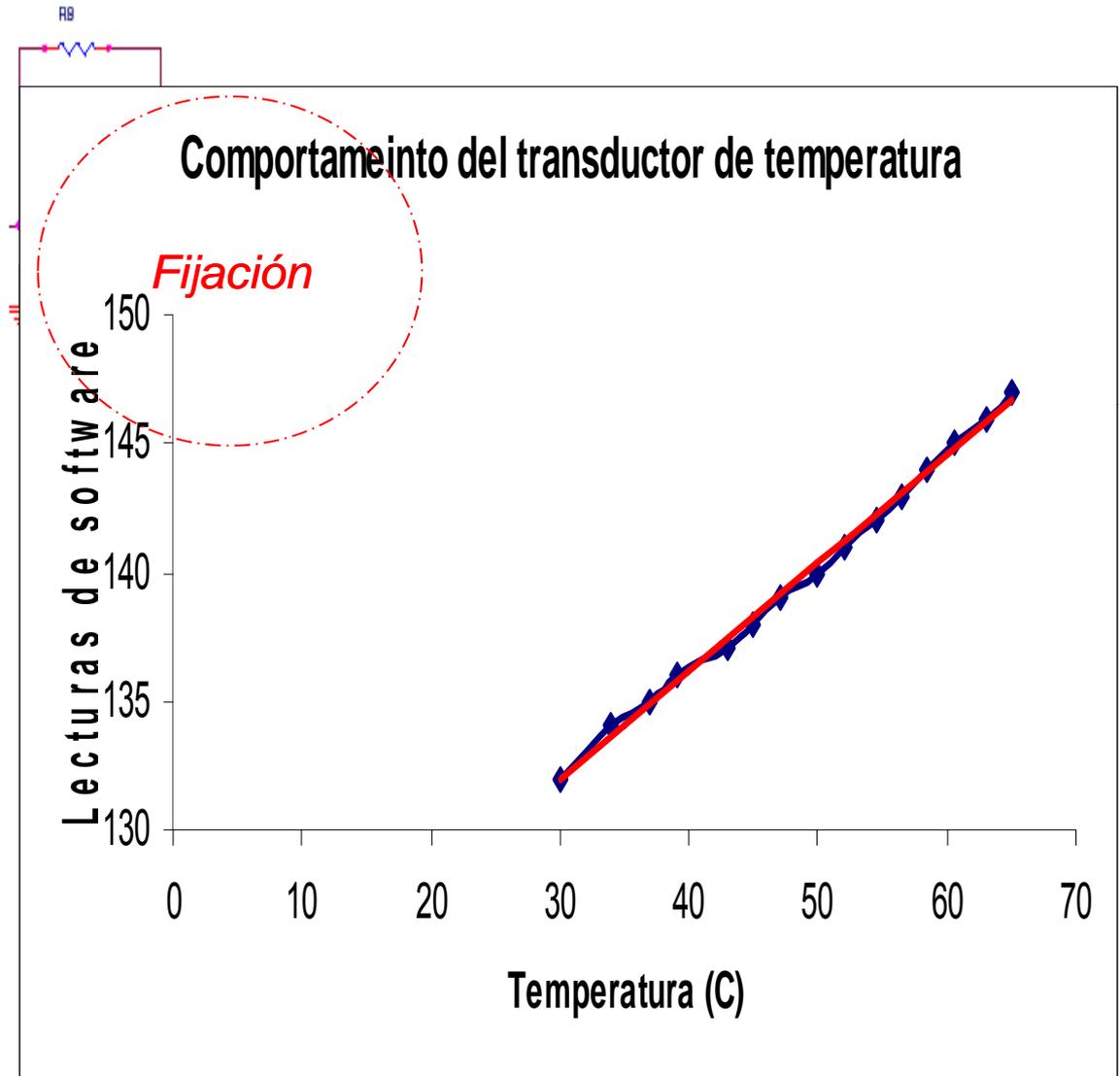
Transductor de temperatura

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

Ec. de modelado

$$r^2 = 0.9969$$

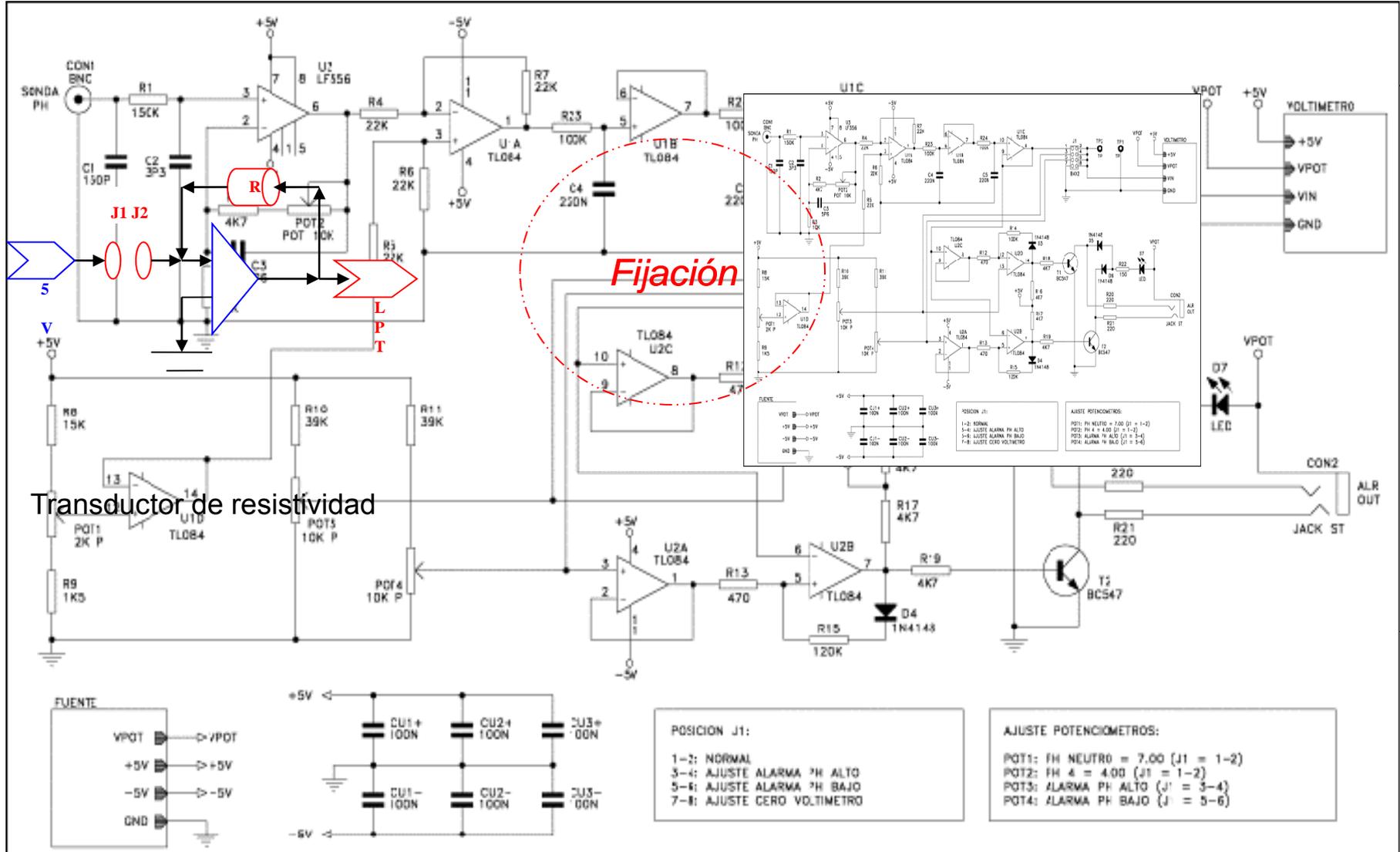
Correlación de los datos  
obtenidos mediante software

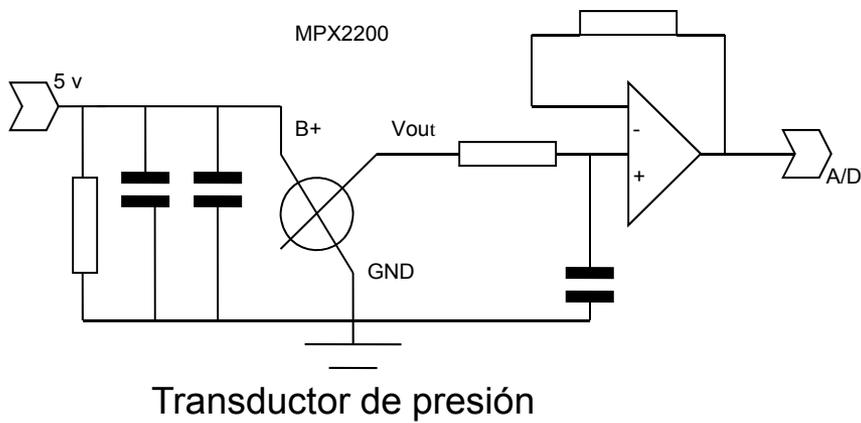


$$y = -0,801x^4 + 9,7849x^3 - 43,036x^2 + 81,404x + 36,333$$

Ec. de modelado

$r^2 = 1.0$   
Correlación de los datos  
obtenidos mediante software





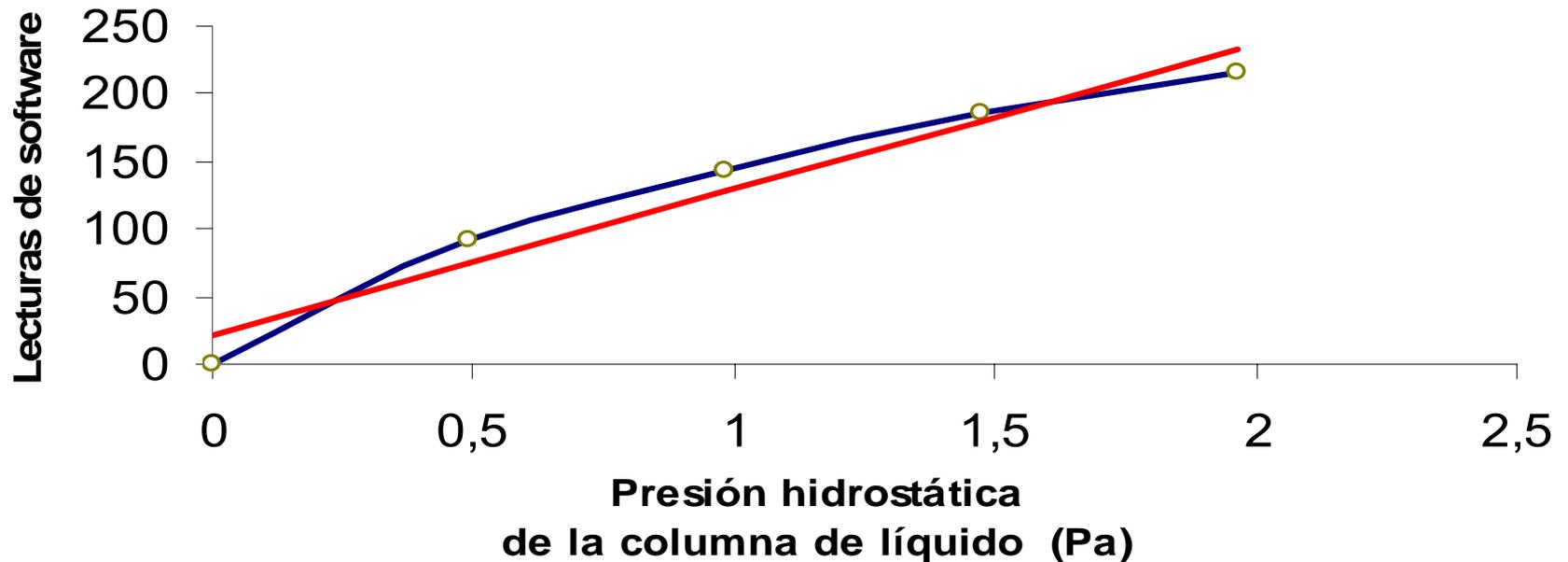
$$y = 107,03x + 22,4$$

Ec. de modelado

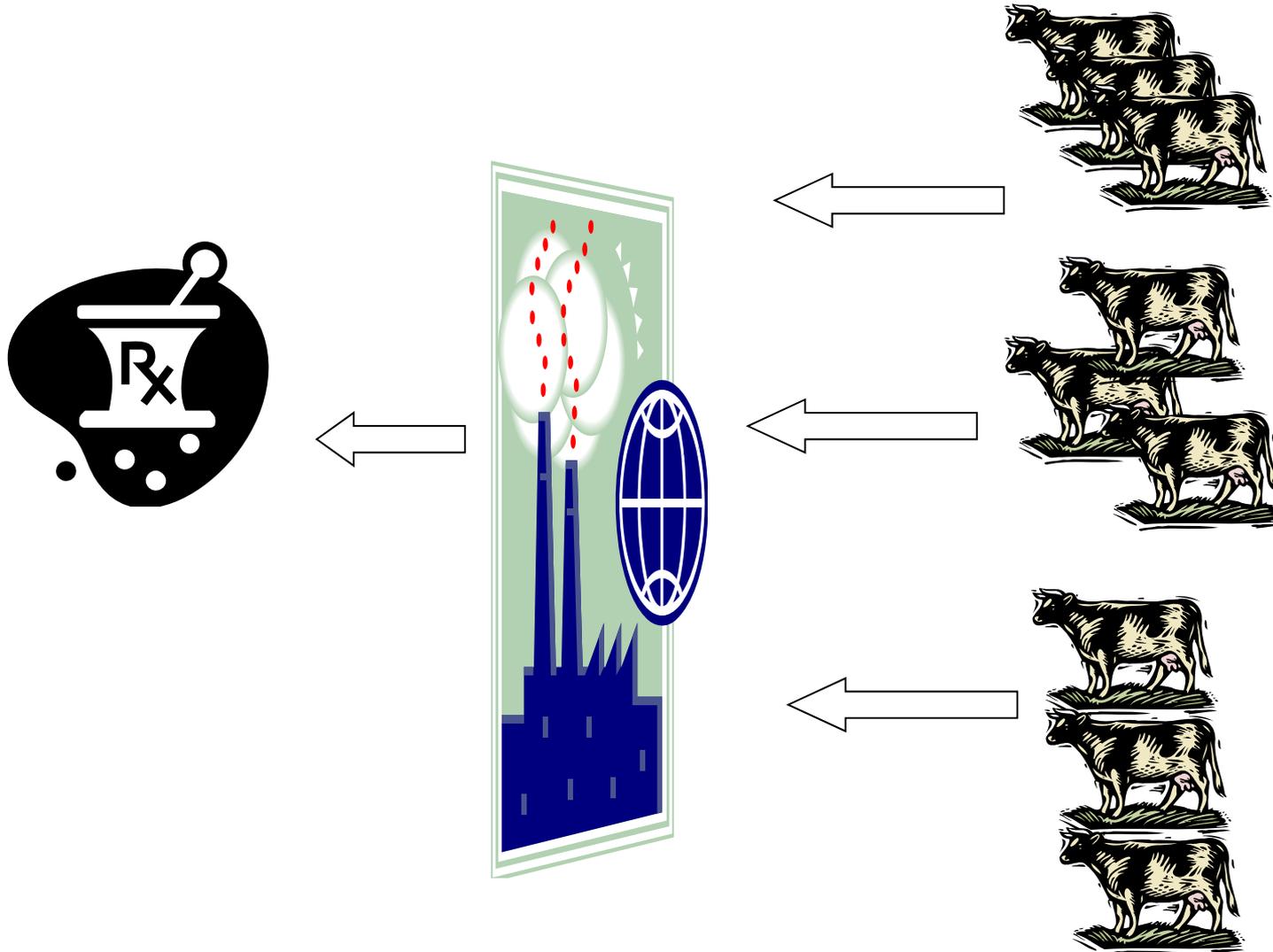
$$r^2 = 0.9528$$

Correlación de los datos  
obtenidos mediante software

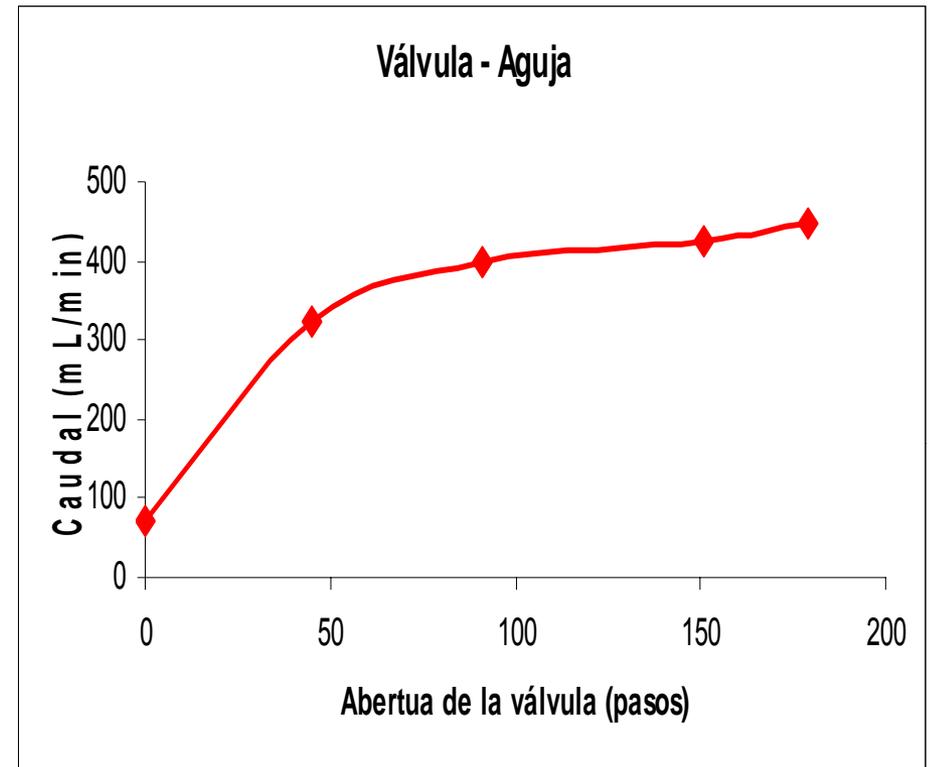
## Comportamiento de transductor de nivel



# Diseño de Herramientas



# Diseño de Herramientas



$$y = -0,0191x^2 + 5,3094x + 86,659$$

Ecuación de modelado

180 (en condiciones de operación)  
Número de pasos totales de  
apertura / cierre

3 pasos / s  
Velocidad de acción

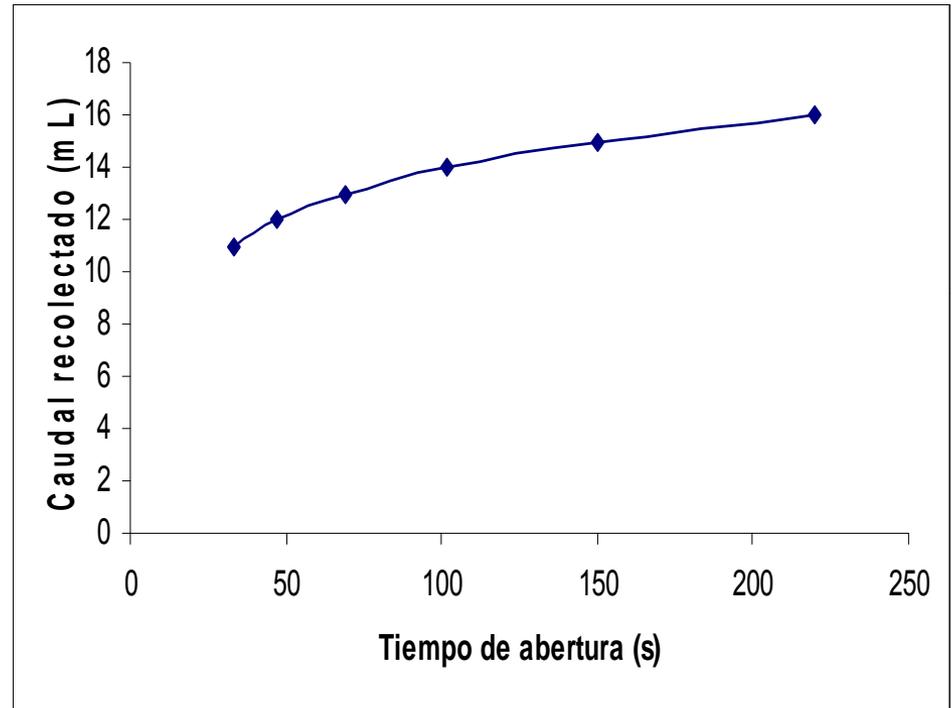
**Descarga  
Centrado  
Retorno**

# Diseño de Herramientas



$$y = -0,0001x^2 + 0,057x + 9,4661$$

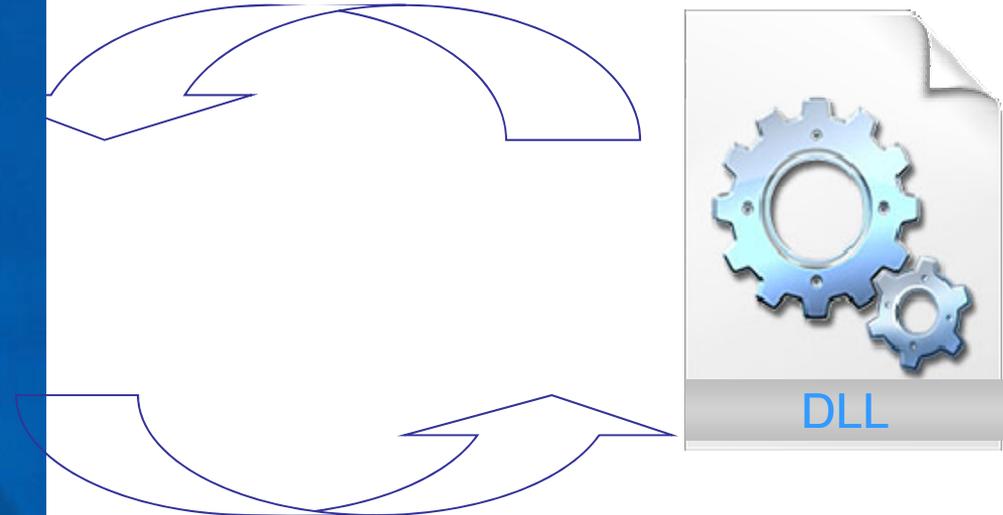
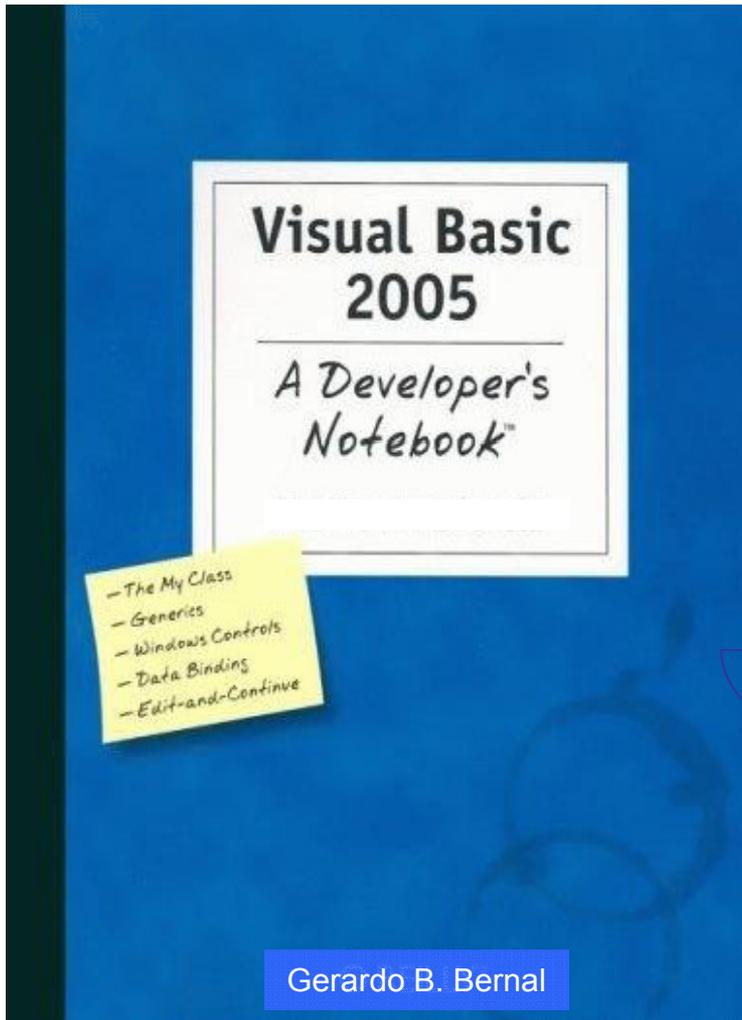
Ecuación de modelado



Indefinido  
Velocidad de acción

# Diseño de software

Transfer

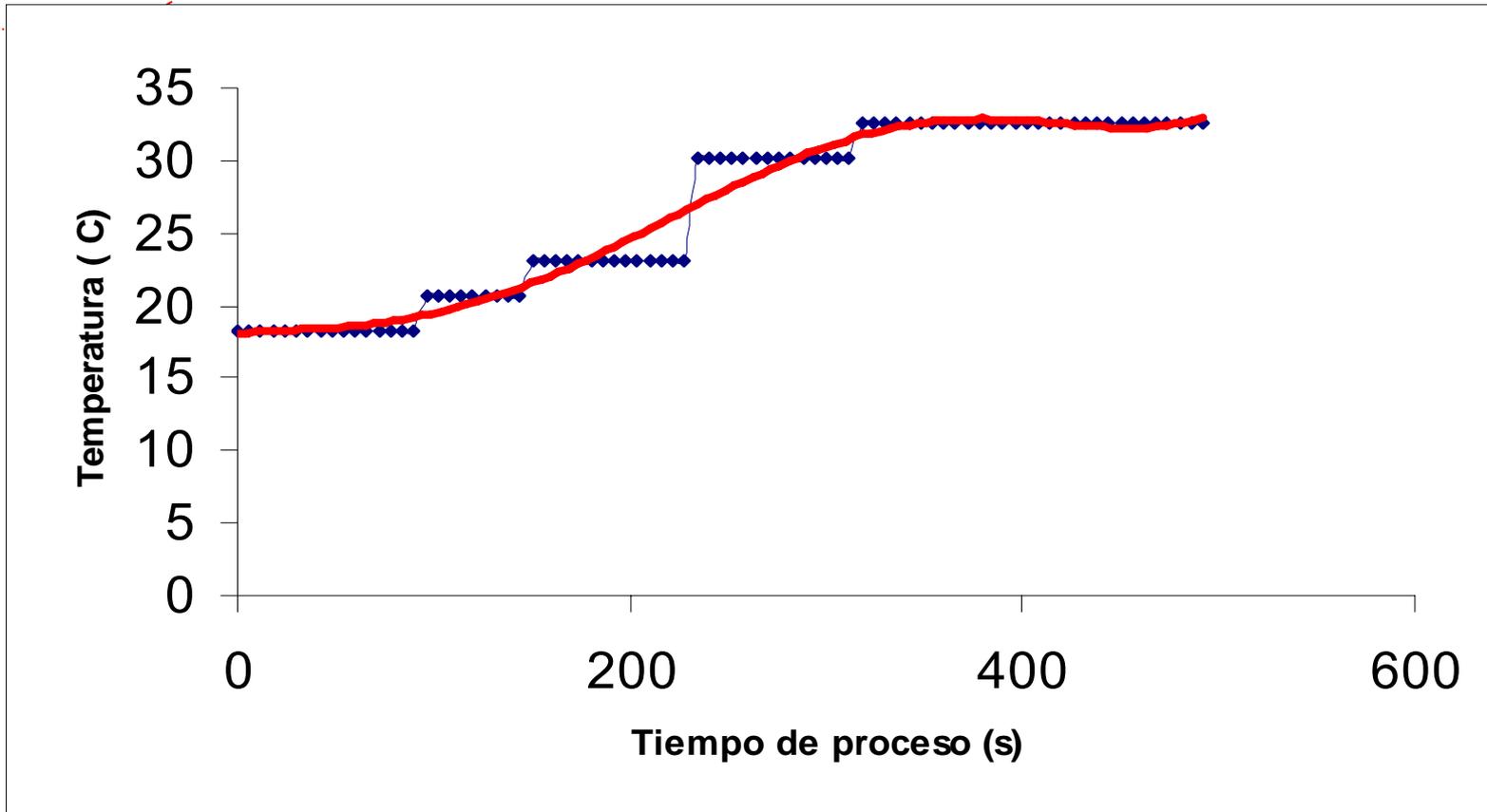


# Resultados

Alimentación

Respuesta promedio del sistema ante perturbaciones del

- Abertura de 100% de la válvula de regulación

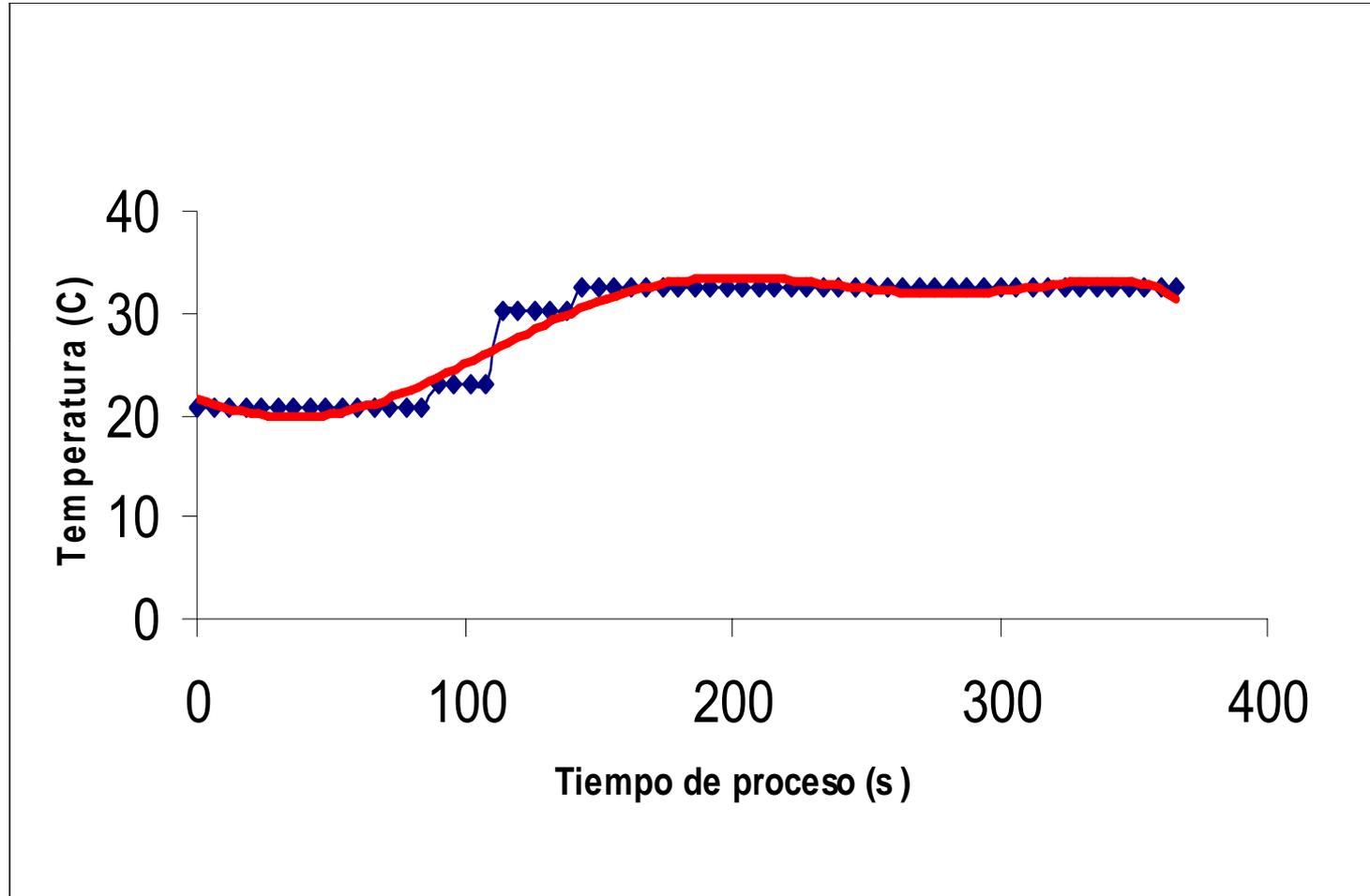


$$y = 7E-15x^6 - 3E-13x^5 - 6E-09x^4 + 2E-06x^3 - 0,0001x^2 + 0,01x + 18,101$$

Aproximación polinomial utilizada para obtener los parámetros **kc**, **ti** , **td**

# Resultados

- Abertura del 14.28 % la válvula  $F_2$

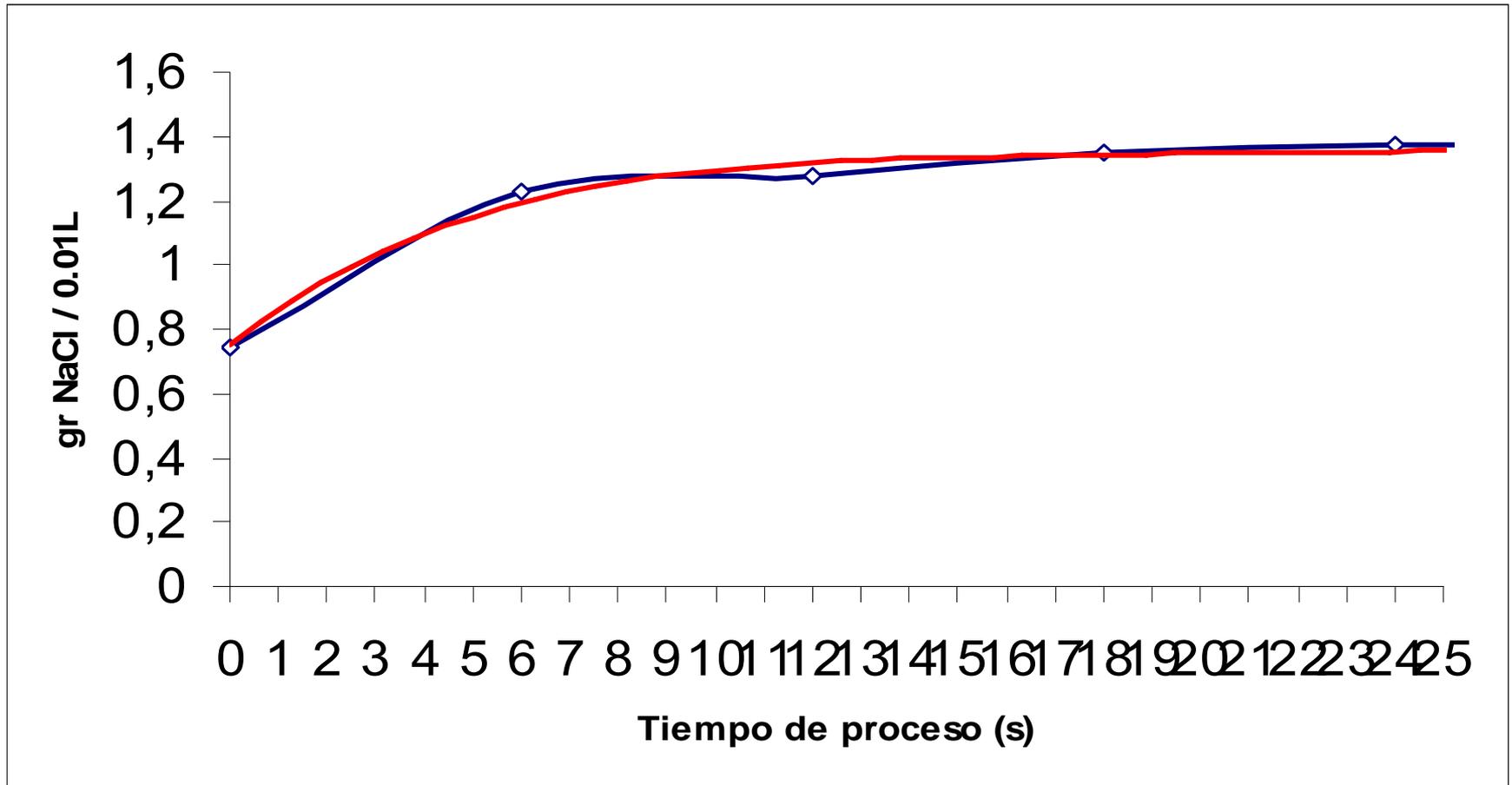


$$y = -6E-13x^6 + 6E-10x^5 - 2E-07x^4 + 2E-05x^3 + 0,0004x^2 - 0,0834x + 21,554$$

Aproximación polinomial utilizada para obtener los parámetros **kc**, **ti** , **td**

# Resultados

- Abertura del 100% la válvula F<sub>2</sub>

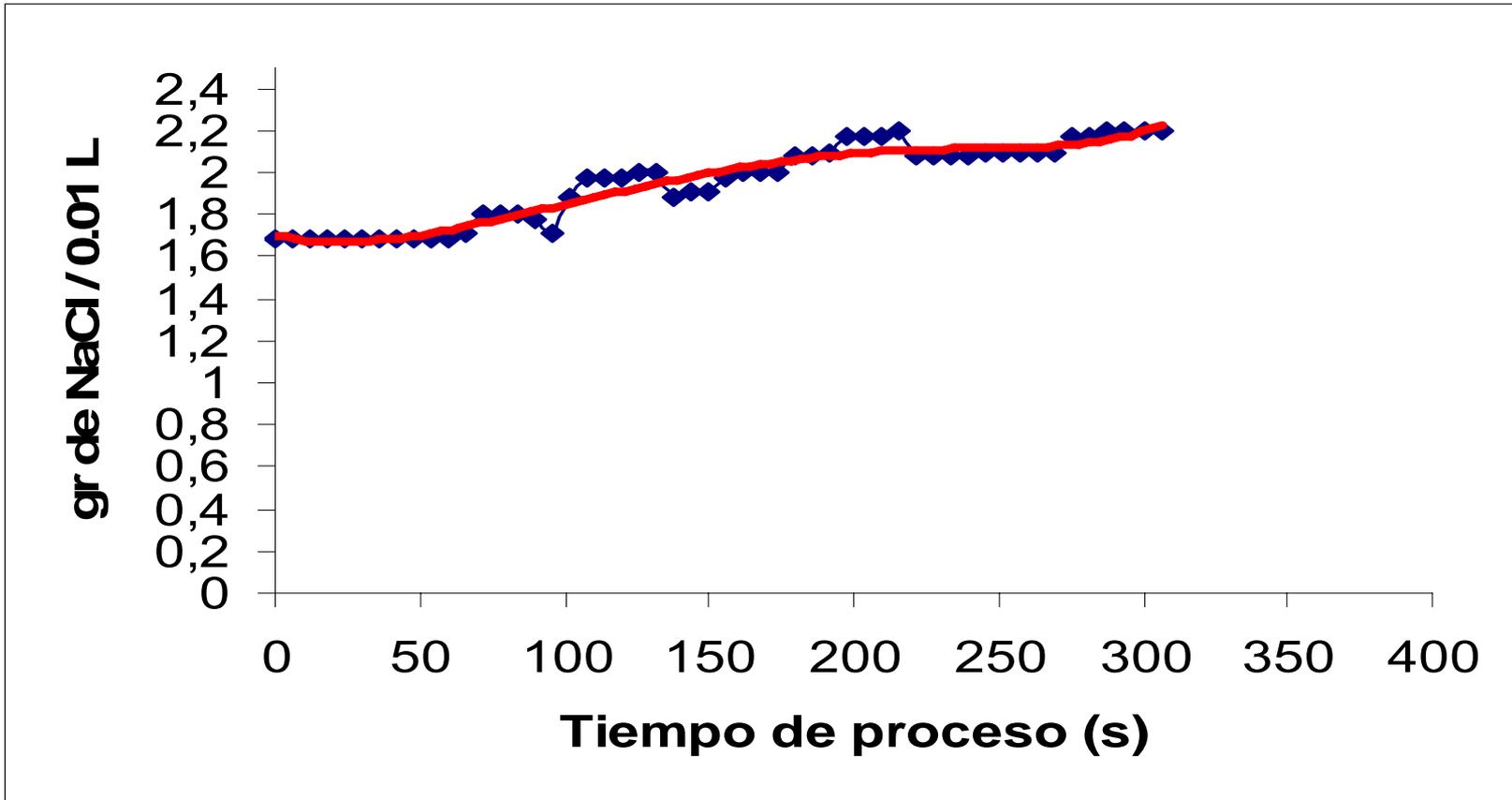


$$y = -6E-10x^6 + 1E-07x^5 - 1E-05x^4 + 0,0005x^3 - 0,0103x^2 + 0,1213x + 0,7497$$

Aproximación polinomial utilizada para obtener los parámetros **kc**, **ti** , **td**

# Resultados

- Abertura del 14.28 % la válvula F<sub>2</sub>



$$y = 1E-14x^6 - 1E-11x^5 + 3E-09x^4 - 7E-07x^3 + 1E-04x^2 - 0,0033x + 1,7023$$

Aproximación polinomial utilizada para obtener los parámetros **kc**, **ti** , **td**

**Arranque**

**Transfers**

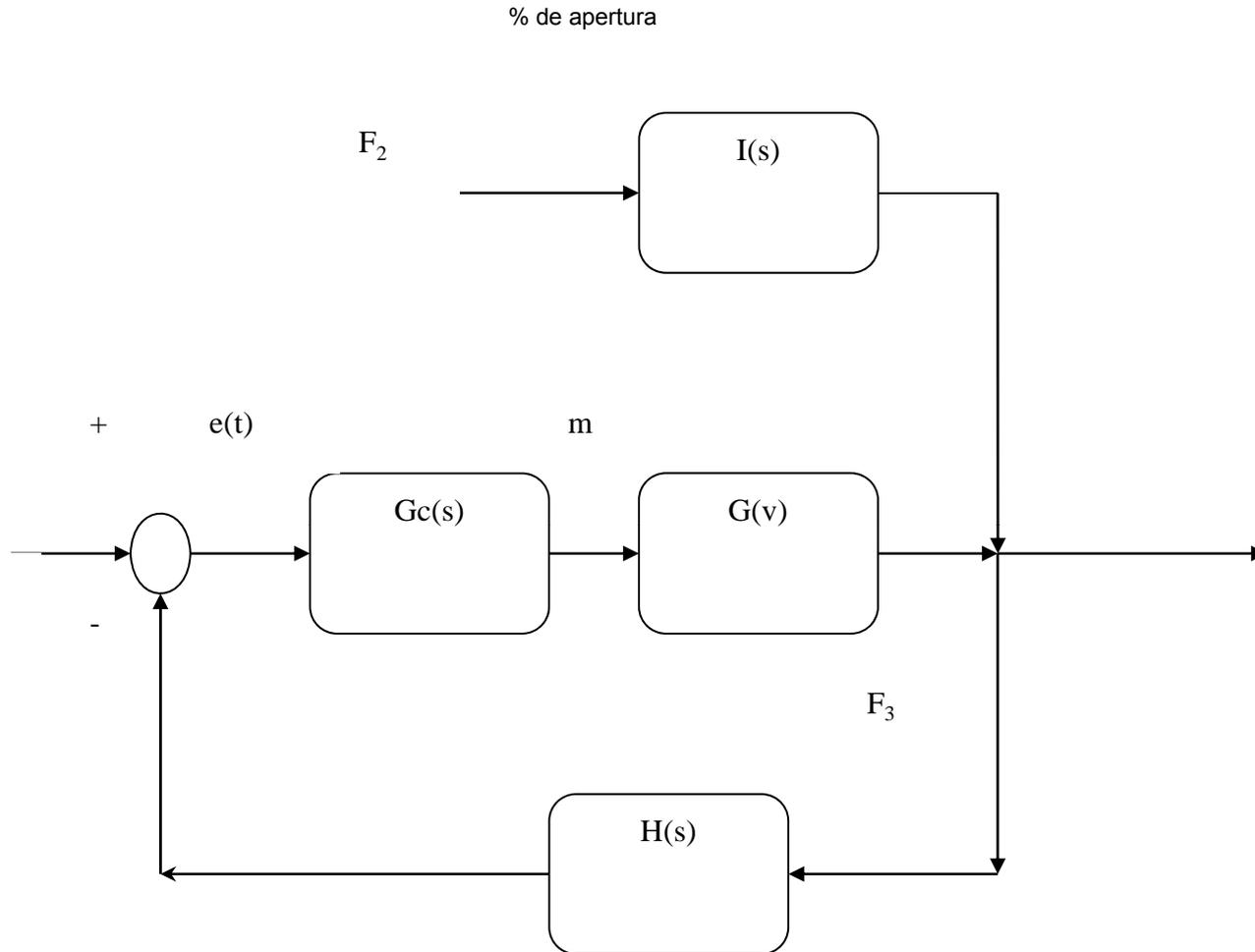
## Parámetros de operación del algoritmo P I D

Parámetros P I D térmico

F <sub>2</sub> 100%		F <sub>2</sub> 14.28%	
Kc	0.0510	Kc	84.8651
Ti	310.0830	Ti	212.9923
Td	77.0523	Td	53.24808
To	155.0416	To	106.4961
T	92	T	102.1241

Parámetros P I D concentración

F <sub>2</sub> 100%		F <sub>2</sub> 14.28%	
Kc	1.1713	Kc	4.6993
Ti	4.25	Ti	132.5099
Td	1.0625	Td	33.1274
To	2.125	To	66.2529
T	1.375	T	49.1616



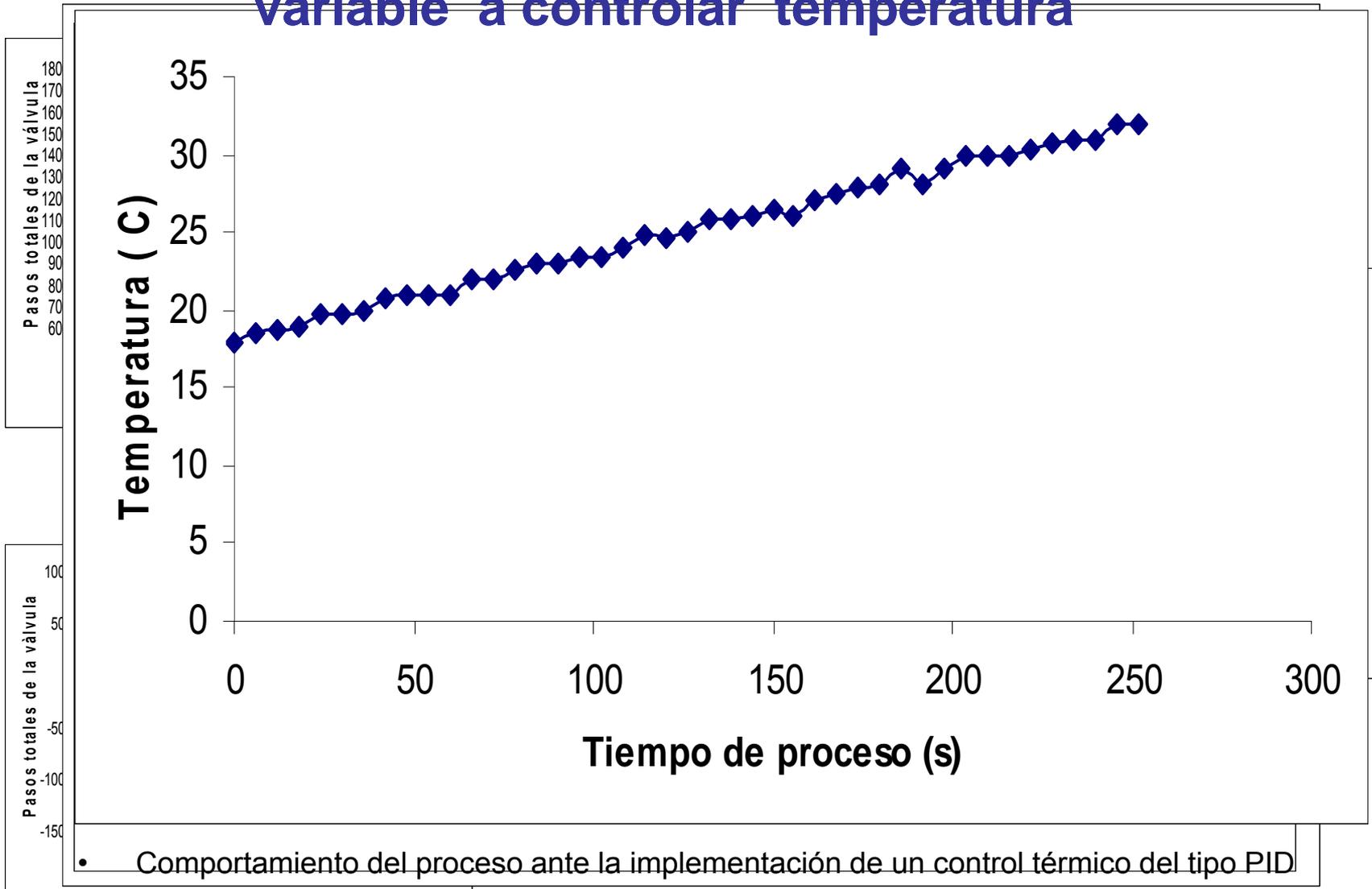
$$K_{PID}(s) = K_p \left[ 1 + \left( \frac{1}{T_i s} \right) + \left( T_d s / (\tau_d s + 1) \right) \right]$$

Forma de la ecuación de los controladores P I D

Modelado pretendido según Ziegler-Nichols.

$$G_o(s) = \left[ k_o e^{(-s \tau_0)} \right] / [\gamma_o + 1]$$

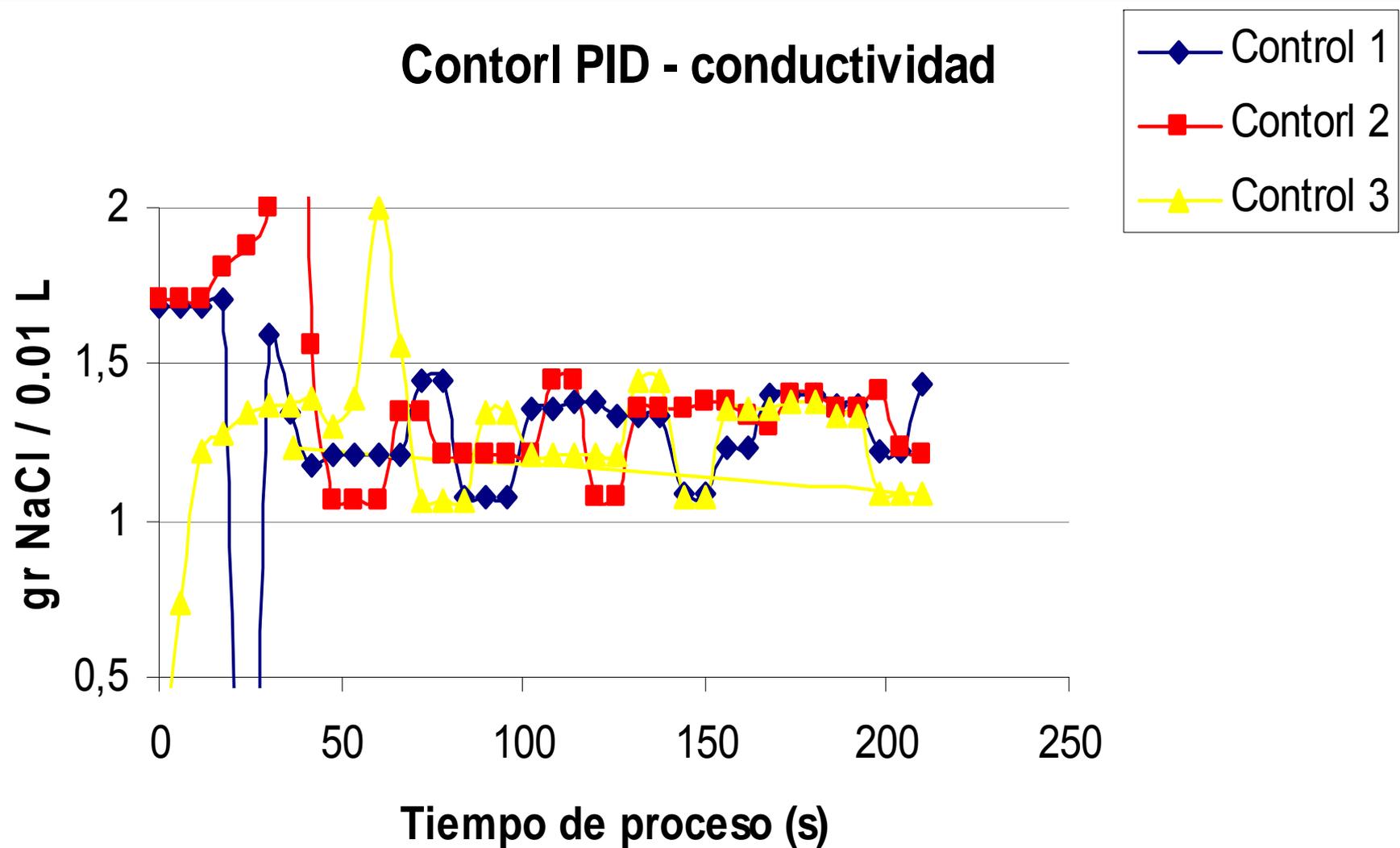
# Comportamiento del proceso ante un controlador P I D; variable a controlar temperatura



- Comportamiento del proceso ante la implementación de un control térmico del tipo PID
- Simulación con un controlador PID para un proceso de temperatura promedio, con una ganancia de la válvula  $F_2$

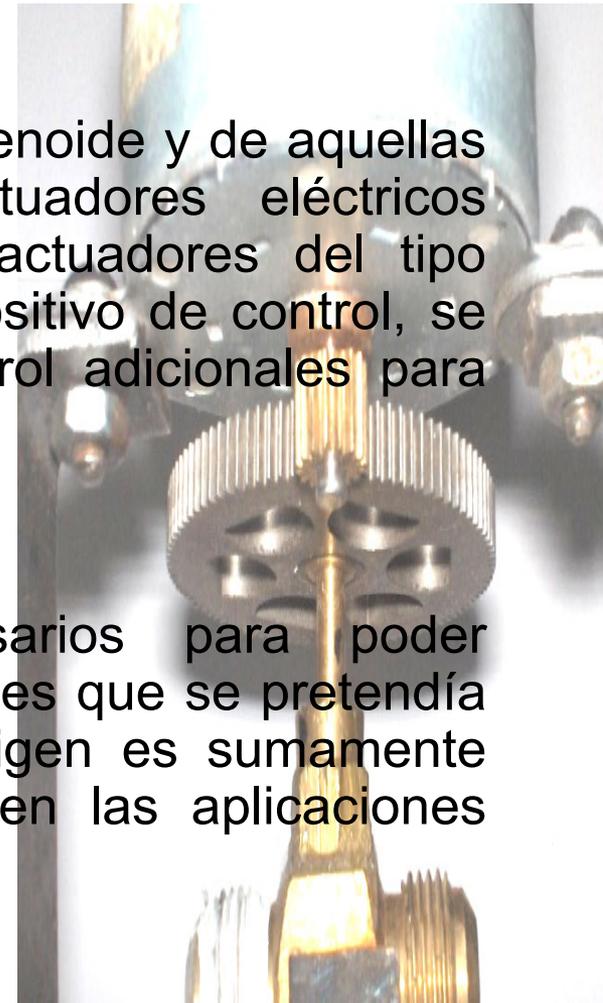
# Comportamiento del proceso ante un controlador P I D; variable a controlar concentración

## Control PID - conductividad



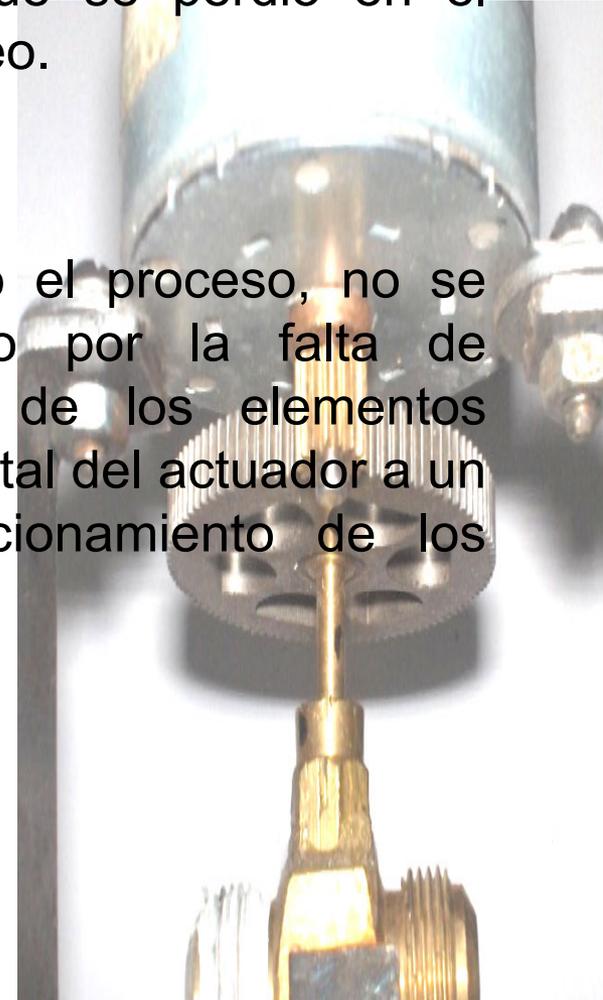
# Conclusiones

- Se desarrollo la interfase necesaria (por el momento en la fase software) para controlar 8 transductores de 8 bits de resolución en paralelo y de 20 transductores de forma serial.
- Se es capaz de manipular válvulas del tipo selenoide y de aquellas que sean controladas por medio de actuadores eléctricos independientes. En dado caso de manejar actuadores del tipo neumático o autoalimentados del mismo dispositivo de control, se es capaz de construir los elementos de control adicionales para operar dichas válvulas.
- Se desarrollaron los transductores necesarios para poder monitorear en tiempo real las diferentes variables que se pretendía controlar dentro del proceso; y aunque el origen es sumamente “artesanal”; ofrecen resultados satisfactorios en las aplicaciones para las cuales fueron diseñados.



# Conclusiones

- De igual forma que el apartado anterior, se resolvió con cierto éxito el problema de “colas de inventarios”, aunque se perdió en el aspecto correspondiente a el tiempo de muestreo.
- En cuanto a los actuadores eléctricos dentro el proceso, no se cumplió con el objetivo previsto, originado por la falta de instalaciones adecuada para el desarrollo de los elementos necesarios para convertir el movimiento horizontal del actuador a un movimiento vertical (necesario para el funcionamiento de los vástagos de las válvulas).



# Conclusiones

- El algoritmo de control P I D solo actúa de una manera más o menos eficaz sobre el sistema, actuando como si se tratara de un control puramente proporcional debido a las siguientes circunstancias:
  - El proceso posee valores muy altos de tiempos muertos.
  - El elemento final de control no posee la velocidad necesaria para responder de forma adecuada a las necesidades del algoritmo P I D.

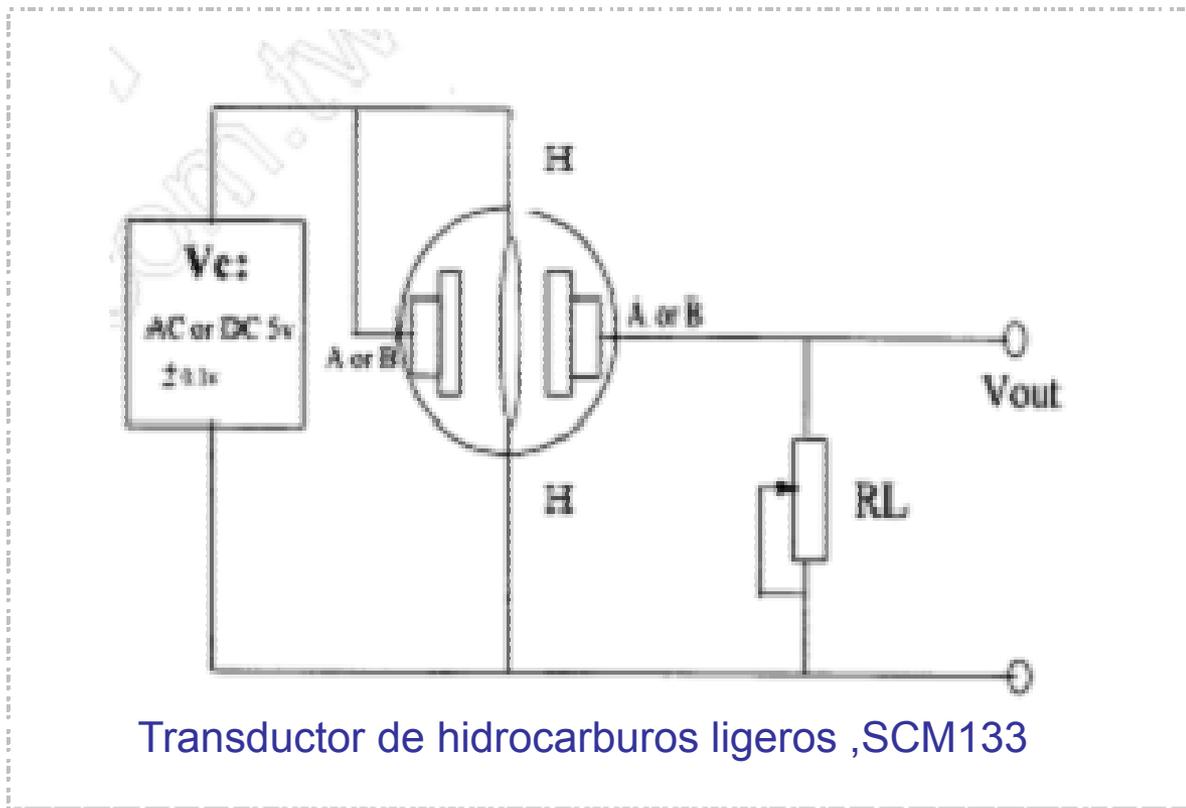


# Conclusiones

- Los elementos de control experimentan un desgaste excesivo, ya que el tiempo muerto total del sistema es tal, que las válvulas no reconocen cuando la variables del sistema retoma su valor deseado.
- El algoritmo P I D es incapaz de realizar acciones correctivas sobre perturbaciones térmicas, esto es debido a la naturaleza misma de proceso, aunado a que es altamente influenciado por cualquier cambio no previsto en las condiciones ambientales en las que se realiza el experimento.



# Proyecciones del trabajo realizado



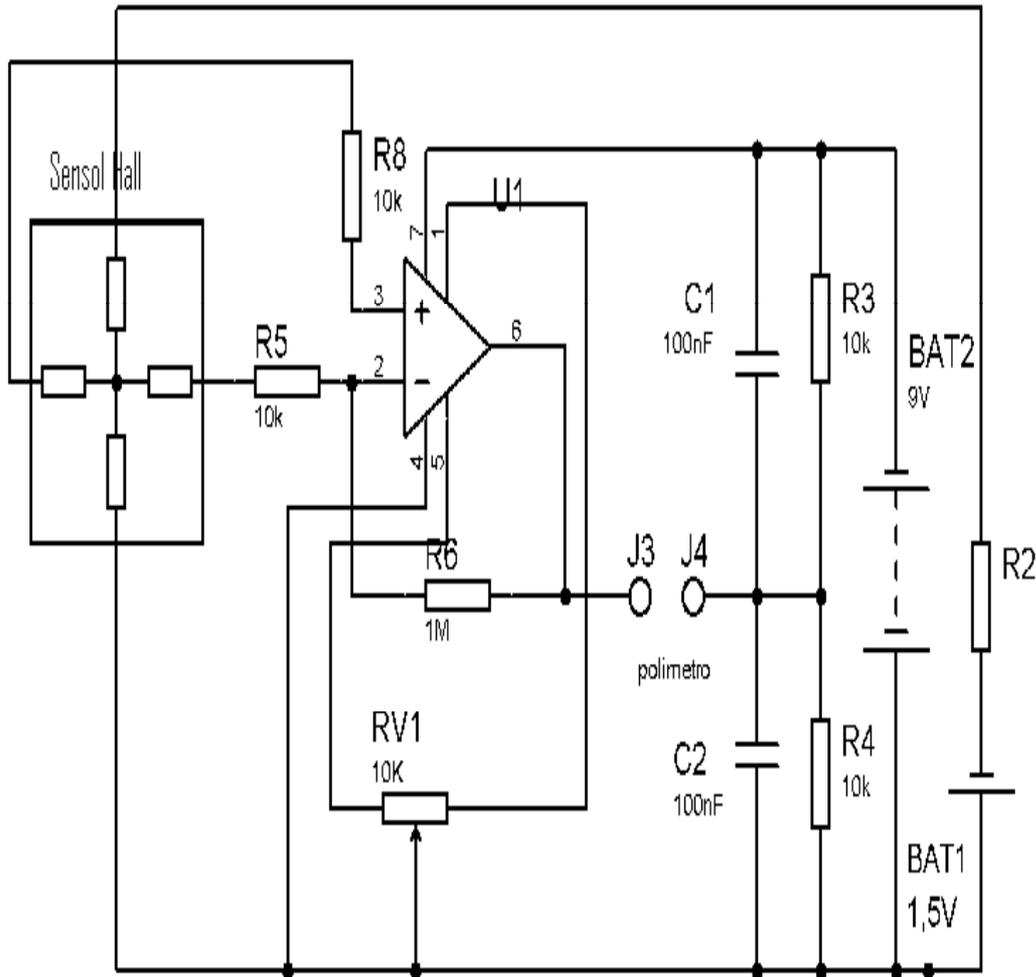
Vista física del sensor

Capa sensora de gas SnO

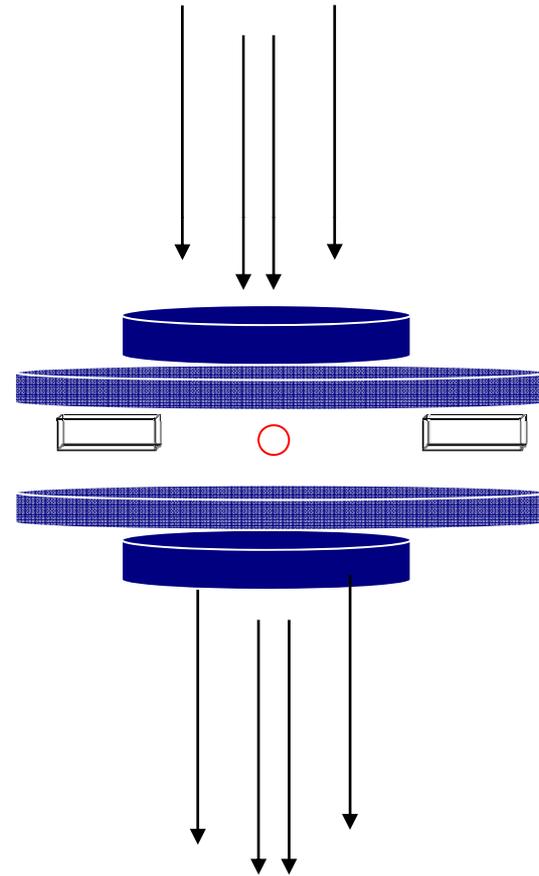
Rangos de detección:

300 – 10000 ppm de *Isobutano LP, metano , propano*

# Proyecciones del trabajo realizado



Transductor de efecto Hall



# Bibliografía.

- [www.electron.es.vg](http://www.electron.es.vg)
- [www.TutorialsobreMotoresPasoaPaso.htm](http://www.TutorialsobreMotoresPasoaPaso.htm)
- <http://www.motps.com/models/bin/sensor2.html>
- “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.

# Bibliografía.

- “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.

# Bibliografía.

- “Process control and supervision through internet”.; Paya, L., J.M. Azorin, N.M. Garcia, J.M. Sabater, C. Perez and R.P. Neco; Proceedings of the International Conference on Engineering Education, Valencia, Spain (2003).
- “Medidor de Presión Digital (3 1/2)”; H. E. Aldrete<sup>1</sup>, F. Sandoval, J. Santana. CINVESTAV-Unidad Guadalajara.
- 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.

# Bibliografía.

- 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).

# Bibliografía.

- Reodique and Warren Schultz, MOTOROLA, Inc., *Semiconductor Application Note, "Noise Considerations for Integrated Pressure Sensors, Rev 1, (1998).*
- W. Stanlay & 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).*

# Bibliografía.

- Intersil Corporation, ICL1706, ICL1707 Data Sheet.
- AN023 Application Note, Intersil Corporation, *Low Cost Digital Panel Meter Designs and Complete Instructions for LCD and LED Kits*, (1999).
- MOTOROLA Inc., MOTOROLA ANALOG IC DEVICE DATA, *Three-Terminal Positive Voltage Regulators*, (1996).
- Intersil Corporation, ICL7660 Data Sheet, 1999.

# TRABAJO DURANTE EL CICLO

PASO	DESCRIPCIÓN	Trabajo de máquina	
<p><b>Utilizar un Transfer sólo al llegar al paso 10</b></p>	<p>10 Transfers: Conexión de varios procesos a través de un transfer sin involucración de las personas.</p>	<p>Trabajo de máquina</p>	
	<p>9 Arranque: Después de los primeros 8 pasos, la máquina puede arrancar por sí misma. Se deben tener en cuenta la seguridad.</p>		
	<p>8 Alimentación: Las piezas se alimentan al proceso de intervención del operario.</p>		
	<p><b>Se puede Implantar una línea Chaku-Chaku</b></p>		<p>Trabajo manual</p>
	<p>7 Calidad (Poke-Yoke): Evitar que los defectos pasen a los siguientes procesos, se incorporan elementos que detectan el defecto y detengan la producción.</p>		
	<p>6 Descarga (Hanedashi): Al terminar el ciclo de pieza se descarga de forma automática de manera que la siguiente pieza se puede alimentar.</p>		
	<p>5 Retorno: Al terminar el ciclo la pieza y las herramientas vuelven a la posición "cero" de forma automática.</p>		
	<p>4 Centrado: El centrado de la herramienta se realiza de forma automática. Las herramientas se mueven hasta el punto de trabajo.</p>		
	<p>3 Herramientas: La carga de la herramienta se realiza automática. El operario no manipula la herramienta.</p>		
	<p>2 Fijación: Eliminar la fijación manual de la pieza por una fijación automática.</p>	<p>El operario y la máquina trabajan juntos</p>	
<p>1 Proceso: Reemplazar el esfuerzo humano por un aparato mecánico. Por ejemplo: Atornillador neumático.</p>			