

# Modelación dinámica y esquemas para el control de un canal Rehbock

Luis Pastor Sánchez

Instituto Superior Politécnico, Cuba

Eduardo Arteaga

Universidad Autónoma Chapingo

*En 1994 se instaló en el laboratorio de hidráulica Ingeniero Basiliso Romo del Departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma Chapingo un sistema computarizado de medición, que permite a los especialistas y estudiantes, adquirir, tratar en forma primaria, procesar, presentar, almacenar y aportar información de las variables de los procesos hidráulicos objeto de investigación. Como una etapa superior de ese sistema, se presenta en este trabajo la modelación dinámica y se establecen los esquemas para el control de lazo cerrado de gasto y nivel para un canal Rehbock. Dada la complejidad de los procesos y la variación de sus parámetros se ha utilizado la identificación experimental para obtener sus modelos dinámicos.*

**Palabras clave:** modelación, control automático, identificación experimental, Rehbock, automatización, dinámica, adquisición de datos, hidráulica

## Introducción

Como paso previo al establecimiento del control de lazo cerrado de un proceso, éste se debe modelar para seleccionar los esquemas de control apropiados y lograr un ajuste satisfactorio de los algoritmos utilizados. La automatización de los laboratorios de investigación les permite operar con mayor eficiencia y economía, obtener resultados más precisos y confiables y estructurar experimentos de una complejidad cada vez mayor. En este trabajo se abordan los aspectos relacionados con este propósito, para lo cual se ha recabado una importante cantidad de información, mediante el sistema de adquisición y procesamiento de datos (Sánchez, *et al.*, 1994 y García 1992), en ambiente *Windows* (Microsoft, 1993), instalado en dicho laboratorio desde 1994.

## Características del Canal Rehbock instalado en la Universidad Autónoma Chapingo

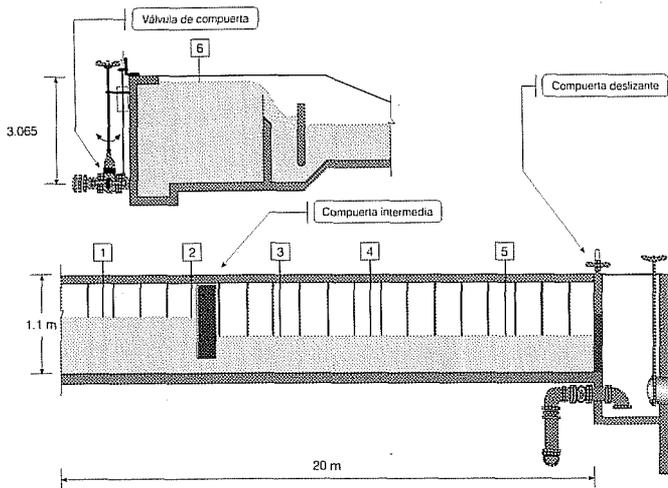
El canal Rehbock del laboratorio de hidráulica *Ingeniero Basiliso Romo* del Departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma Chapingo (Laboratorio hidráulico, 1944 y Laboratorio de hidráulica, 1994) es de sec-

ción rectangular, con estructura metálica y paredes de cristal, tiene una longitud de 20 m y una pendiente de 0.0005. Para la medición de los gastos se dispone de un vertedor de pared delgada, sin contracciones laterales, ubicado aguas arriba, con una altura suficiente para que no trabaje ahogado, el cual a su vez le sirve de alimentación. El suministro de agua al dispositivo es a través de una tubería de 12 pulg de diámetro equipada con una válvula de compuerta. Al final del canal se instaló una compuerta deslizante que trabaja como vertedor y que permite controlar el nivel del agua en el canal para un gasto determinado. Las variables de interés son: carga sobre el vertedor, gasto, abertura de la válvula, altura de la compuerta y niveles en el canal.

La implantación de un sistema de control de lazo cerrado de gastos y nivel tiene las siguientes ventajas:

- Se establece automáticamente un plan de *gasto y nivel contra tiempo* en los puntos donde se realizan las mediciones de ambas magnitudes, lo que permite someter a las obras hidráulicas objeto de estudio a condiciones de trabajo más rigurosas.
- Se obtiene una mayor precisión en los gastos y niveles deseados.

**1. Esquema mímico con una distribución de puntos para la medición del nivel**



en cualquiera de los seis puntos de medición, manipulando la abertura de la válvula de entrada.

Los modelos dinámicos del proceso, se ilustran en los diagramas de bloques siguientes:

$$V(S) \rightarrow \text{Vertedor} \rightarrow H(S) \quad (1)$$

$$V(S) \rightarrow \text{Vertedor} \rightarrow Q(S) \quad (2)$$

$$V(S) \rightarrow \text{Canal sección } i \rightarrow N_i(s) \quad (3)$$

$$C(S) \rightarrow \text{Canal sección } j \rightarrow N_j(s) \quad (4)$$

Donde:

$V(S)$ : abertura de la válvula.

$H(S)$ : carga sobre el vertedor.

$Q(S)$ : gasto.

$N_i(S)$ : nivel de salida en la sección  $i$  del canal.

$C(S)$ : altura de la parte superior de la compuerta.

$N_j(S)$ : nivel de salida en la sección  $j$  del canal.

- Se logran regímenes permanentes y no permanentes de operación del canal, previamente establecidos y configurados.
- Las investigaciones se realizan en menor tiempo y con menos personal que con los sistemas antes utilizados.

En la ilustración 1 se muestra un esquema mímico del canal Rehbock (Sánchez, *et al.*, 1994), señalándose una distribución de puntos en los que se mide el nivel. No obstante, los sensores pueden ser ubicados en diferentes lugares, dentro de la instalación, siempre que los datos requeridos sean actualizados en la computadora. Los sensores 1 a 5 se utilizan para obtener el perfil de la superficie libre de agua a lo largo del canal, el sensor 6 permite determinar la carga sobre el vertedor y con esta calcular el gasto.

La gama de medición de los sensores 1 a 5 es de 0-100 cm y 0-50 cm para el número 6, con una precisión mínima del 1%, la cual es mejorada mediante procedimientos matemáticos en la computadora hasta 0.1% de plena escala (Martínez, *et al.*, 1994; Sánchez, *et al.*, 1994; Smith, 1972).

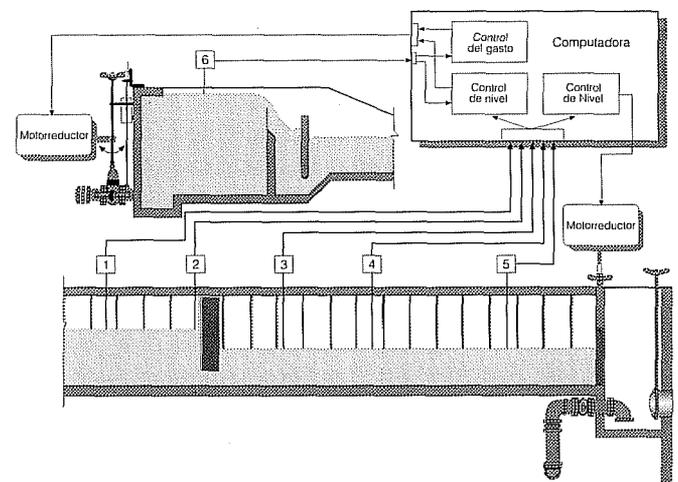
**Lazos de regulación automática**

Los lazos de regulación automática establecidos, se aprecian en la ilustración 2, y tienen las siguientes características: lazo de regulación del gasto manipulando la abertura de la válvula de entrada; lazo de regulación de nivel en cualquiera de los cinco puntos de medición a lo largo del canal, manipulando la compuerta deslizante de la salida; lazo de regulación de nivel

En los diagramas (1) y (2) el modelo dinámico del vertedor es el mismo, debido a que el gasto es consecuencia de la carga sobre el vertedor, calculándose mediante la expresión siguiente (Laboratorio de hidráulica, 1994):

$$Q = KH^x \quad (5)$$

**2. Lazos de regulación automática para el canal Rehbock**



Siendo:

$$K = aL \{b + c [(H + d) / P]\} [(1 + e) / H]^f \quad (6)$$

Donde:

$H$ : carga sobre el vertedor

$a, b, c, d, e, f, X$ : parámetros obtenidos mediante un proceso de calibración del vertedor.

$L$ : longitud de la cresta del vertedor.

$P$ : altura de la cresta del vertedor.

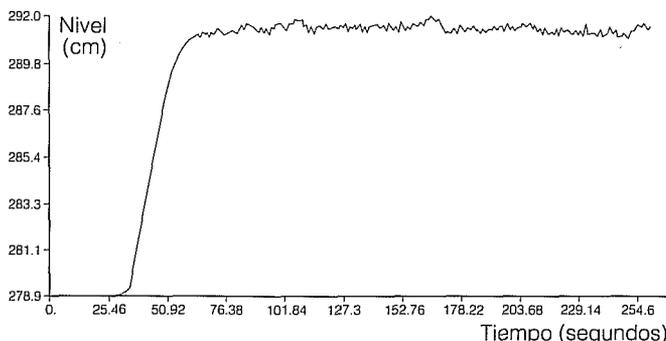
Por lo que el cálculo del gasto no aporta términos dinámicos adicionales.

La longitud de la sección  $i$  depende de la distancia que existe desde la válvula hasta el sensor utilizado en la medición del nivel  $N_i$ . De forma similar, la longitud de la sección  $j$  es la distancia que se tiene desde la compuerta deslizante del extremo final del canal hasta el sensor que mide el nivel  $N_j$ . Adicionalmente puede insertarse en dicha área alguna obra hidráulica objeto de estudio o modificar las características de una ya existente, conjuntamente, con posibles modificaciones en el fondo del canal. Este modo de trabajo implica que el modelo dinámico representativo de una sección del canal sólo tiene validez cuando se mantienen las condiciones para las cuales fue determinado.

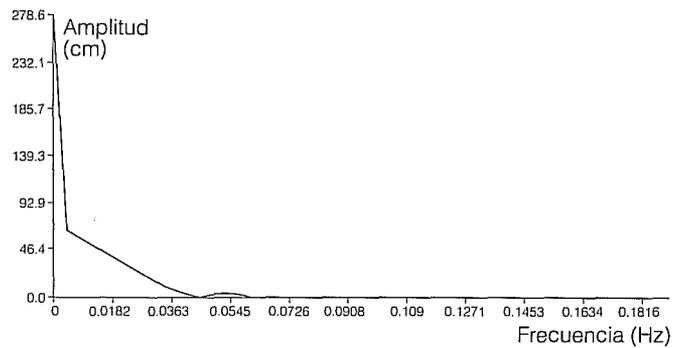
Los modos de control de gasto y nivel establecidos en la operación del canal Rehbock (Laboratorio de hidráulica, 1994), son los siguientes:

- Control de gasto con apertura de la válvula de entrada.
- Control de nivel con apertura de la válvula de entrada.
- Control de nivel manipulando la altura de la parte superior (*cresta*) de la compuerta a la salida.
- Control del gasto con la apertura de la válvula de entrada y del nivel manipulando la altura de la *cresta* de la compuerta de salida.

### 3. Lectura del sensor de nivel a través del tiempo, ubicado aguas arriba del vertedor que alimenta al canal Rehbock. Señal sin filtrar



### 4. Espectro de amplitud de la señal de la ilustración 3



El sistema no necesita trabajar de forma ininterrumpida, es decir, las modificaciones antes señaladas en la dinámica de las secciones, se realizan con la parada del canal y por tanto de los lazos de control, es por ello que se puede utilizar un algoritmo de identificación de los llamados fuera de línea (Söderström y Stoica, 1989) que se activa al pasar los sistemas de control a modo automático o cuando la respuesta en el tiempo del mismo no se ajusta a los requerimientos establecidos por el tecnólogo.

Como paso previo a la determinación de la estructura de los modelos dinámicos más adecuados al canal, se realizaron un conjunto de pruebas e identificaciones fuera de línea, a fin de obtener el mejor modelo del proceso, de acuerdo al criterio de identificación usado, y determinar el tiempo de procesamiento consumido por los procedimientos empleados.

### Identificación fuera de línea de los modelos dinámicos

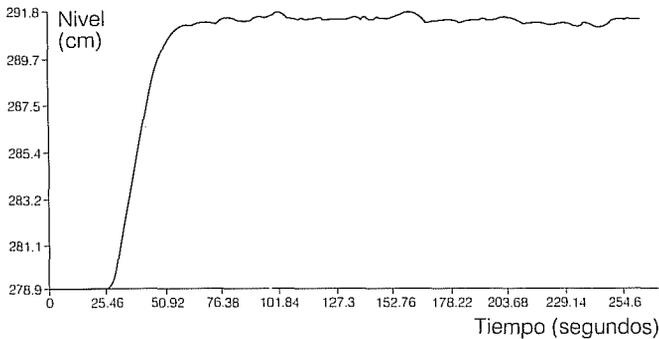
#### Tratamiento primario de las señales

Para la identificación de los modelos dinámicos se utilizaron numerosos conjuntos de datos, mismos que se sometieron a un riguroso análisis espectral en el dominio del tiempo, a fin de determinar la frecuencia de corte adecuada para los filtros digitales (Aström y Wittenmark, 1984, y Harrison, 1972) evitando que estos distorsionaran los resultados en la identificación de los modelos. Por problema de espacio sólo se muestran algunos de los resultados comunes a los análisis efectuados.

En la ilustración 3 se presenta la señal sin filtrar del sensor 6, que registra el nivel correspondiente a la carga sobre el vertedor, cuando se introduce un cambio en el gasto hasta 130 litros por segundo.

En la ilustración 4 se muestra el espectro de amplitud de la señal de la ilustración 3. En esta se observa

**5. Señal filtrada con un filtro digital exponencial de segundo orden con frecuencia de corte de 0.1 Hz., donde se observa la lectura de niveles del sensor a través del tiempo, ubicado aguas arriba del vertedor que alimenta al canal Rehbock**



que los armónicos de importancia tienen frecuencias inferiores a 0.06 Hz, por lo que es posible filtrar con frecuencia de corte de 0.1 Hz sin producir atenuaciones y retardos de consideración a la señal del proceso.

En la ilustración 5 se presenta la señal procesada con un filtro digital exponencial de segundo orden (Himmelblau, 1972; Edgar y Himmelblau, 1988; Smith, 1972), con frecuencia de corte de 0.1 Hz, donde se observa la lectura de niveles a través del tiempo del sensor ubicado aguas arriba del vertedor que alimenta al canal Rehbock.

*Determinación de los modelos*

En la ilustración 6 se presenta una muestra de las respuestas temporales utilizadas para el análisis. Ese ejemplo corresponde al sensor 1, con perturbación producida mediante abertura y cierre, a diferentes velocidades, de la compuerta intermedia, ver ilustración 1.

Los modelos identificados corresponden a los diagramas de bloques (1)-(4).

Se hicieron pruebas con los modelos simplificados siguientes (Ogata, 1984 y Harriot, 1969):

Modelo de primer orden con retardo:

$$\frac{Y(S)}{X(S)} = \frac{Ke^{-\theta S}}{T_1 S + 1} \quad (7)$$

Modelo de segundo orden con retardo:

$$\frac{Y(S)}{X(S)} = \frac{Ke^{-\theta S}}{s^2/\omega_n^2 + 2\xi s/\omega_n + 1} \quad (8)$$

donde:

$T_1$ : constante de tiempo.

K: ganancia.

$\theta$ : retardo.

$\xi$ : coeficiente de amortiguamiento.

$\omega_n$ : frecuencia natural de oscilación.

e: constante igual a 2.7183

s: variable compleja

*Método de identificación utilizado*

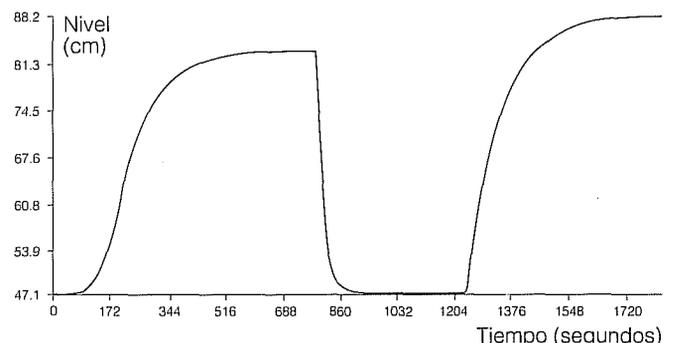
Al emplear modelos de tiempo continuo que ofrecen un mayor sentido físico, el método de identificación parte de someter al proceso a señales de entrada que pueden ser consideradas del tipo paso escalón y adquirir los datos de la variable considerada como salida. Se utilizó una frecuencia de muestreo de cinco muestras por segundo, fueron procesadas con filtros digitales y diezmadadas (eliminar muestras intermedias para reducir el número de datos, lo cual no afecta la información útil para la identificación, producto de la elevada frecuencia de muestreo utilizada, mejorando el filtrado digital).

Los datos finales obtenidos son comparados con la salida del modelo seleccionado, el cual es sometido a una señal de entrada *paso escalón* de igual amplitud a la utilizada en el proceso. Se obtiene un índice cuadrático como la suma del cuadrado del error entre los datos de salida del proceso y el modelo, y mediante un método de optimización se van ajustando los parámetros del modelo, de forma tal que minimicen dicho índice. Se aplicaron los métodos de optimización con búsqueda directa sin restricciones de *Hooke and Jeeves* (Himmelblau, 1972) y *Powell* (Edgar y Himmelblau, 1972).

*Resultados obtenidos*

En todos los casos el modelo que mejor aproxima el comportamiento dinámico del proceso es el de segundo orden sobreamortiguado (coeficiente de amortigua-

**6. Respuestas temporales en el sensor 1, con abertura y cierre, a diferentes velocidades de la compuerta intermedia**



1. Ajuste de las respuestas del proceso con el modelo de primer orden

Respuesta	Ganancia $K$	Constante de tiempo $T_1$ (s)	Retardo $\theta$ (s)	Gama (cm), Error medio y varianza	Coefficiente de correlación
Ilustración 3 (19-140)	0.13 cm.s/l	8.67	1.8	13 0.122 0.051	0.9991
Ilustración 6 (76-780)	-4.475	100	3.7	36 0.4 0.72	0.9984
Ilustración 6 (780-1220)	-4.475	17.73	3.4	36 0.137 0.092	0.9998
Ilustración 6 (1220-1720)	-4.475	101.6	3.7	41 0.131 0.056	0.9999

miento mayor que 1) y para algunas respuestas del proceso se obtienen resultados similares con el de primer orden.

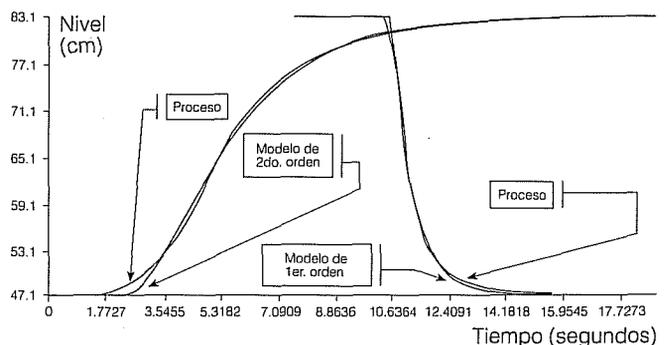
En los cuadros 1 y 2 se muestran los resultados del ajuste de diferentes respuestas del proceso utilizando los modelos de primero y segundo orden, respectivamente, ambos con retardo. Se presenta la gama de la salida del proceso en cm, calculándose como el valor máximo de la salida menos su valor mínimo y se especifica a fin de facilitar la comparación. Se calcula el error medio entre la salida del proceso y del modelo, la varianza, así como el coeficiente de correlación entre ambas salidas. La primera columna se refiere a la ilustración que representa la respuesta del proceso y entre paréntesis el intervalo de tiempo en segundos correspondiente a la misma. A continuación la ganancia con sus unidades o adimensional, la constante de tiempo y el retardo en segundos para el cuadro 1, y en el cuadro 2 el coeficiente de amortiguamiento adimensional y la frecuencia natural de oscilación en radianes por segundo. Otros resultados obtenidos no presentados en las tablas indican que en el canal Rehbock pueden aparecer retardos de tiempo de hasta 20 seg., dependiendo de la distancia entre las variables de entrada y salida en la sección del canal correspondiente.

En la ilustración 7 se presenta la gráfica de dos respuestas del nivel en el sensor 1, para señales de entrada producidas por el cierre y apertura de la compuerta intermedia respectivamente (las velocidades de cierre y apertura de la compuerta fueron diferentes). Una respuesta es comparada con la salida del modelo de

segundo orden y la otra con uno de primero, cuyos parámetros fueron identificados. En el primer caso principalmente, existió una distorsión en la salida del proceso producto del movimiento manual de la compuerta. En ambas gráficas se observa que los modelos utilizados brindan una aproximación satisfactoria de la dinámica del proceso.

Es necesario destacar que los valores estimados de los parámetros, –cuadros 1 y 2– cambiarán al producirse transformaciones en el canal o en la ubicación de los sensores, lo que obliga a repetir la estimación de los mismos cuando se produzcan tales cambios. Es importante apreciar la validez de los modelos utilizados, recomendándose para una mayor exactitud el de segundo orden sobreamortiguado (coeficiente de amortiguamiento mayor que 1) con retardo de tiempo.

7. Comparación de la salida del proceso y del modelo identificado



2. Ajuste de las respuestas del proceso con el modelo de segundo orden

Respuesta	Ganancia $K$	$\xi$	$\omega n$ (r/s)	Retardo $\theta$ (s)	Gama (cm), Error medio y varianza	Coficiente de correlación
Ilustración 3 (19-140)	0.13 cm.s/l	1.001	0.169	1.6	13 0.094 0.026	0.9996
Ilustración 6 (76-780)	-4.475	1.02	0.015	3.6	36 0.25 0.19	0.9996
Ilustración 6 (780-1220)	-4.475	8.24	0.926	3.4	36 0.137 0.092	0.9998
Ilustración 6 (1220-1720)	-4.475	5.129	0.1	3.6	41 0.131 0.056	0.9999

Algoritmos de control

Como se sabe, uno de los factores que más afecta la calidad y la estabilidad de un sistema de control, basado en un algoritmo PID u otro cualquiera, es la presencia de *retardo de tiempo* o *retardo por transporte* en el sistema de control (Ogata, 1984 y Harriot, 1969). Muchas soluciones han sido propuestas para compensar el efecto negativo del retardo, destacándose entre ellas por su sencillez y efectividad el llamado *Predictor de Smith* (Harriot, 1969).

Dada la característica discontinua del accionamiento del elemento final de control (válvula o compuerta operada por un motorreductor de corriente alterna de velocidad constante) en el canal Rehbock se ha utilizado una estructura que combina la compensación del retardo de tiempo con el control por tiempo o modulación por ancho de pulso, es decir el ancho de pulso que mantiene energizado al motorreductor en un sentido u otro, responde a la siguiente expresión:

$$Ap = C \cdot \text{abs}(m)$$

donde:

- $Ap$ : ancho del pulso que energiza al motorreductor.
- $C$ : coeficiente ajustado experimentalmente y que depende de la ganancia del elemento final de control (motorreductor más válvula o compuerta) obtenida como variación de la abertura de la válvula o compuerta sobre el ancho del pulso que energiza al motorreductor.
- $\text{abs}(m)$ : valor absoluto de la salida del controlador.

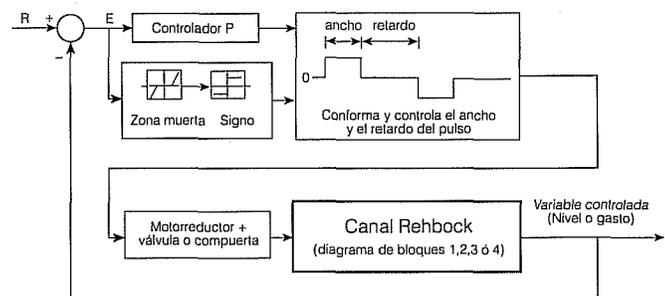
La respuesta en el tiempo del sistema de control es oscilatoria para valores grandes de  $C$  y sobreamortiguada para valores pequeños. Se debe mantener la siguiente relación:

$$Ap_{\min} < Ap < Ap_{\max}$$

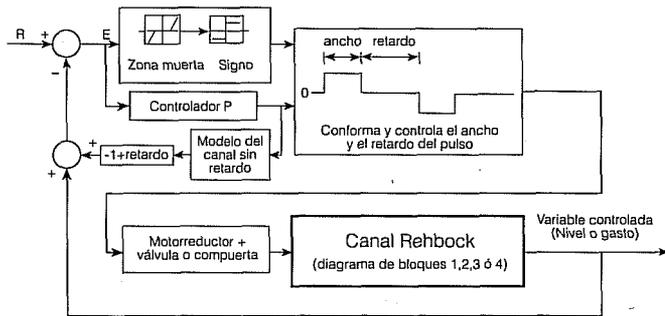
donde:

- $Ap_{\min}$ : valor mínimo del ancho del pulso que produce un cambio en la abertura de la válvula o la compuerta. Este mínimo cambio tendrá una relación directa en la obtención de una pequeña desviación de la variable controlada de su valor deseado en régimen permanente (error de estado estacionario del lazo de control).
- $Ap_{\max}$ : valor máximo del ancho del pulso que es igual al retardo de tiempo de la sección controlada del canal.

8. Esquema de control para un modelo del canal con retardo de tiempo pequeño



**9. Esquema de control usando el Predictor de Smith cuando el modelo del canal presenta un mayor retardo de tiempo**

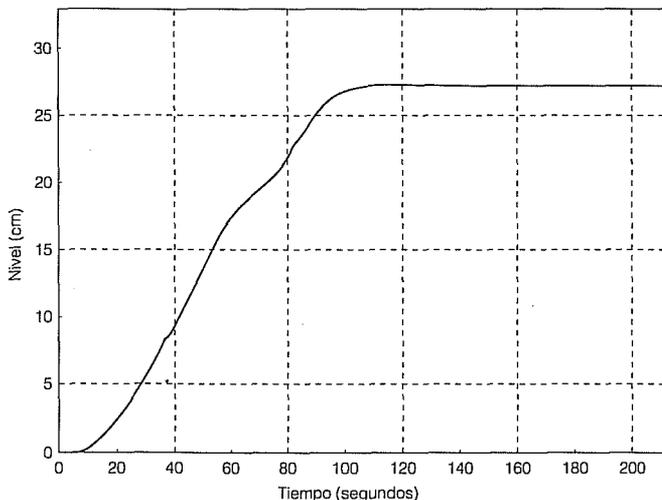


Para el canal Rehbock que se presenta se ha obtenido 1 y 20 seg para  $Ap_{\min}$  y  $Ap_{\max}$  respectivamente.

En la ilustración 8 se aprecia el esquema de control para una sección controlada del canal, donde se presente un retardo de tiempo menor de 2 seg, como es el caso del nivel sobre el vertedor manipulando la válvula de entrada, cuyo sistema de control se puede ver en la ilustración 13.

Para secciones controladas con retardo de tiempo mayores, se ha utilizado el esquema mostrado en la ilustración 9 con el Predictor de Smith, en el cual se utiliza el modelo identificado. En ambos casos se establece una zona muerta para evitar las oscilaciones permanentes alrededor del valor deseado, lo cual fija el error máximo de estado estacionario del lazo de control. Se utilizó una zona muerta de 1.5 cm obtenida bajo criterios experimentales. Siempre que el error del sistema de control  $E$  ( $E = \text{referencia} - \text{variable controlada}$ )

**10. Respuesta del control de nivel sobre el vertedor, manipulando la válvula de entrada y usando el esquema de la ilustración 8 con un retardo de tiempo de 1.6 segundos**



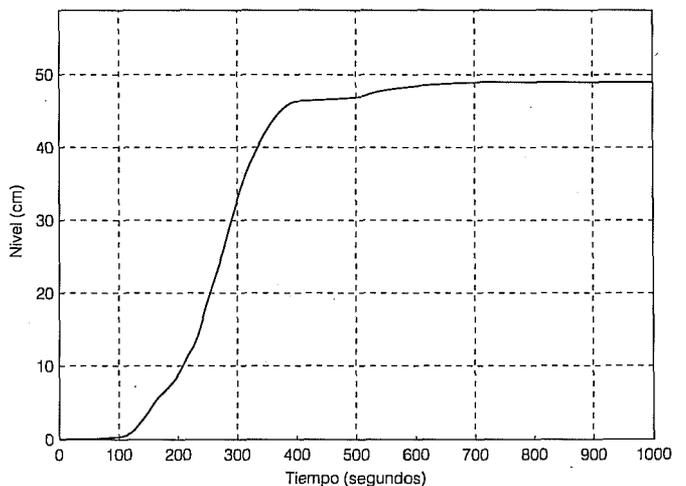
da-) se encuentre fuera de la zona muerta, el signo del mismo determina la polaridad del pulso que acciona el motorreductor en un sentido o en otro. Si el error está dentro de la zona muerta el pulso mantiene nivel cero y el motorreductor estará desenergizado, manteniendo la abertura de la válvula o compuerta alcanzada con anterioridad, lo que muestra la acción integral del mismo. Es por ello que sólo se ha utilizado acción proporcional en el controlador, pues la acción integral en el lazo de control la aporta el elemento final de control.

En la ilustración 10 se presenta la respuesta en el tiempo del control de nivel sobre el vertedor, manipulando la válvula de entrada con el esquema de la ilustración 8. Los parámetros del modelo identificado de ese proceso controlado aparecen en el cuadro 2, en la fila señalada como ilustración 3. Las constantes de tiempo de los dos sistemas de primer orden en serie equivalentes son 7.14 y 5 seg, respectivamente. Se utilizó un coeficiente  $C$  igual a 0.1 y un paso escalón en la referencia igual a 28 cm. Se obtiene una respuesta sobreamortiguada.

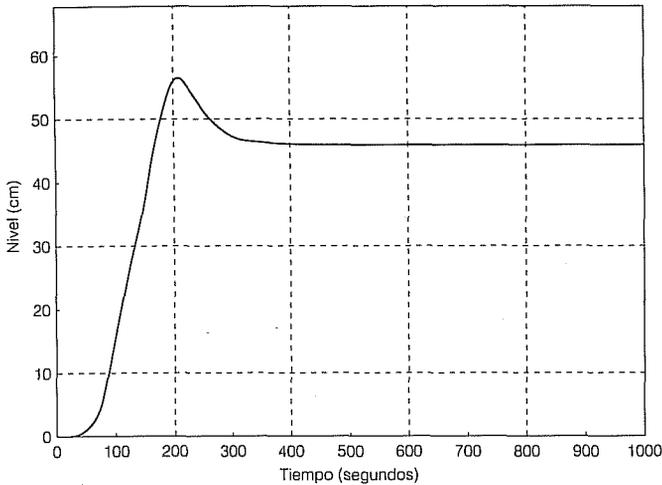
En las ilustraciones 11 y 12 aparecen las respuestas del control de nivel al inicio del canal (sensor 1) manipulando la compuerta de salida trabajando como vertedor (ilustración 14), con el esquema de la ilustración 9, con un modelo identificado del proceso equivalente a dos sistemas de primer orden en serie con constantes de tiempo de 10 y 30 seg, respectivamente, un retardo de 20 seg y un paso escalón en la referencia de amplitud cincuenta centímetros.

En la ilustración 11 se utilizó un coeficiente  $C$  igual a 0.1 produciéndose una respuesta sobreamortiguada con un tiempo de establecimiento aproximado de 650

**11. Respuesta del control de nivel al inicio del canal (sensor 1) manipulando la compuerta de salida, con el esquema de la ilustración 9 y un retardo de veinte segundos**



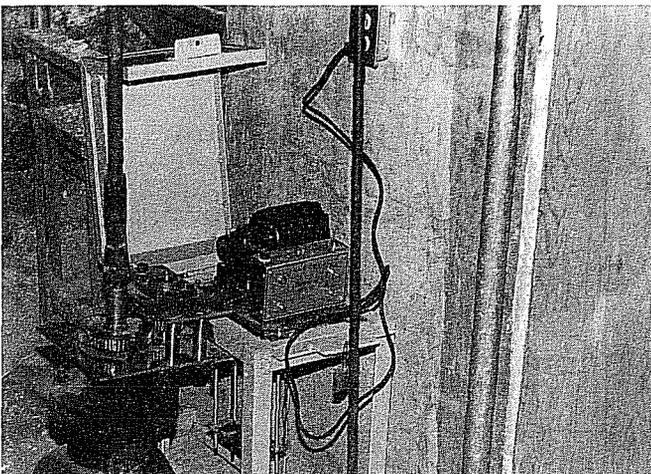
**12. Respuesta con el modelo y el esquema de la ilustración 11 pero utilizando un coeficiente mayor para la relación salida del controlador-ancho del pulso**



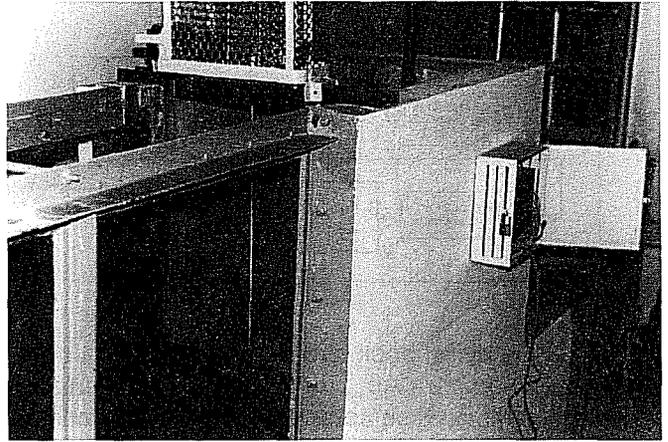
seg. En la ilustración 12 se aumenta  $C$  hasta 0.5 y la zona muerta de 1.5 a 3.5 cm, se observa que se produjo una respuesta oscilatoria, con un pico máximo del 13%, un error de estado estacionario de 3.5 cm y se redujo el tiempo de establecimiento hasta 375 seg. Se obtuvieron para otros valores intermedios de  $C$ , tiempos de establecimiento de 400 seg sin pico máximo y error de estado estacionario de 1.5 centímetros.

Los resultados obtenidos son considerados satisfactorios, pues al compararlos con sistemas continuos de control con modelos dinámicos similares, difieren sólo en un ligero aumento del tiempo de establecimiento y pico máximo y en la existencia de un error de estado estacionario.

**13. Sistema de control automático de válvula de compuerta que sirve de alimentación al canal Rehbock**



**14. Sistema de control automático en compuerta funcionando como vertedor, para manejar el nivel del agua en el canal Rehbock**



Respuestas en el tiempo de mayor calidad, superiores a las dadas por lazos continuos de control similares, son obtenidas si se dispone de un motorreductor de velocidad variable o al menos que admita cuatro o más velocidades diferentes, las cuales pueden ser conmutadas mediante un algoritmo que combine además la conformación y el control del ancho del pulso que energiza al mismo.

**Conclusiones**

En el trabajo se han presentado los aspectos fundamentales para la modelación dinámica de un canal Rehbock, el cual con características similares existe en otras instituciones docentes y científicas. Los resultados obtenidos han sido de gran valor para las tareas que se desarrollan en la automatización de laboratorios de investigaciones.

Las estructuras de los modelos dinámicos utilizados aproximan satisfactoriamente el comportamiento dinámico del canal.

A partir de los modelos obtenidos es posible implementar un conjunto de funciones para el tratamiento de eventos, control lógico-secuencial y regulación que representan una mayor eficiencia y economía en el desarrollo de las investigaciones que se realizan en dicha instalación.

Los esquemas de control utilizados proporcionan una respuesta en el tiempo satisfactoria ante estímulos en la referencia y perturbaciones a lo largo del canal.

Para obtener mayores reducciones en el error de estado estacionario, el pico máximo y el tiempo de establecimiento en la respuesta de los lazos de control, es recomendable utilizar un motorreductor de velocidad

variable, continua o discreta, con los mismos esquemas de control presentados, adicionando el algoritmo digital correspondiente para el manejo de la velocidad y la duración del ancho del pulso.

Recibido: febrero, 1995  
Aprobado: octubre, 1997

## Referencias

- Aström, K.J y B. Wittenmark. 1984. *Computer controlled system, theory and design*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall Inc.
- Edgar, T.F y D.M. Himmelblau. 1988. *Optimization of chemical processes*. USA: McGraw-Hill, Inc. 652p.
- García, E. 1992. *Diagnóstico del estado actual del laboratorio de hidráulica, mejoramiento y automatización*. Chapingo, México: Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Irrigación. 80p.
- Himmelblau, D. M. 1972. *Applied nonlinear programming*. USA: McGraw-Hill, Inc. 498p.
- Harrison, T. 1972. *Handbook of industrial control computers*. New York, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Jacob, J. M. 1990. *Industrial control electronics*. USA: Prentice-Hall International, Inc.
- Laboratorio Hidráulico. 1944. *Canal Rehbock (Proyecto)*. Chapingo, México: Escuela Nacional de Agricultura.
- Laboratorio de Hidráulica. 1994. *Documentación técnica*. Chapingo, México: Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Irrigación.
- Martínez, R y otros. 1994. *Sensores de nivel continuos y discretos*. Cuba: ISPJAE, (Documentación Técnica).
- Microsoft Corporation. 1993. *Microsoft Windows 3.11*. USA.
- Ogata, K. 1984. *Ingeniería de control moderna*. España, Madrid: Ediciones del Castillo. 902p.
- Smith, C. 1972. *Digital computer process control*. USA, Pennsylvania: International Text Book Co.
- Sánchez, L., L. Pérez y E. García. 1994. *Manual de usuario del programa Chapingo Win*. Chapingo, México. Universidad Autónoma Chapingo.
- Söderström, T. y P. Stoica. 1989. *System identification*. New York, USA: Prentice-Hall.
- Harriott, P. 1969. *Process control*. USA: McGraw-Hill, Inc.

## Abstract

Sánchez, L.P. & E. Arteaga. "Dynamic modelling and control schemes for a Rehbock channel". *Hydraulic Engineering in Mexico (in Spanish)*. Vol XIII. Num. 2, pages. 05-13. May-August, 1998.

The Ing. Basilio Romo Hydraulics Laboratory of the Irrigation Department of the Autonomous University of Chapingo, Mexico inaugurated, in 1994, a computerized measurement system that permits experts and students to study, process, store and transfer information concerning the variables involved in hydraulic processes at first hand. As a further application of that system, dynamic modeling, and closed loop flow and level controls are proposed for the Rehbock Channel. Given the complexity of the processes and the parameter variability, experimental information is used to calculate the dynamic models.

**Key words:** Modelling, automatic control, experimental modelling, Rehbock, automation, dynamics, data banks, hydraulics.

## Dirección institucional de autores:

Luis Pastor Sánchez Fernández, Eduardo Arteaga Tovar

Universidad Autónoma Chapingo,  
Apartado Postal No. 188 Texcoco, México  
CP. 56101  
Teléfono: (595) 418 65  
Email: 74174.1106@compuserve.com