

## *MEDIDOR ELECTRONICO DIGITAL PARA LA DETERMINACION DE VELOCIDADES HIDRAULICAS*

OCTAVIO LOZANO\*  
y SAIDEN DIEP\*

### RESUMEN

La medición de uno de los fenómenos de más relevancia en el campo de la hidráulica; la velocidad de corrientes en canales de experimentación o en modelos reducidos hidráulicos genera la necesidad de desarrollar un equipo de precisión con tiempos de respuesta mínimos, conservando características de portabilidad para observaciones de campo. El propósito del aparato que se presenta es el de mejorar las cualidades anteriores en precisión, empleando una técnica eficiente y moderna por integración de la medida a una observación digital.

### ABSTRACT

The measurement of one of the most relevant phenomenon in the field of hydraulics: the velocity of currents, in experimentation channels or in hydraulic reduced models requires the development of a precision equipment with a minimum time response, keeping good portability characteristics for field observations.

The purpose of the device described here is to improve the existing precision qualities, using an efficient and modern technic by integrating measurements into digital data.

\* *Instituto de Geofísica, UNAM.*

## INTRODUCCION

Al iniciar una obra de ingeniería de costo elevado, es aconsejable hacer los estudios en una réplica a pequeña escala (modelo) del sistema por construir (prototipo), así que se podrán proponer diferentes alternativas y de entre éstas elegir la mejor, dado que es relativamente barato modificar la construcción de un modelo.

Sin embargo, hay que tomar en cuenta que no debe considerarse que los estudios de modelos proporcionen verdaderos resultados que disipen todas las dudas. Como regla general no se debe proponer ninguna prueba de modelo, y por lo tanto interpretar los resultados, si antes no se tiene un perfecto conocimiento de la teoría del fenómeno que se está estudiando.

La experimentación por medio de modelos ha probado ser invaluable en muchos casos, y el uso de ellos en la Ingeniería Hidráulica aumenta en forma creciente; como ejemplo se pueden resumir las siguientes aplicaciones: estructuras hidráulicas, ríos, puertos, maquinaria hidráulica, aviones y barcos, etcétera.

El estudio de los fenómenos trae como consecuencia la necesidad de diseñar y construir instrumentos de medición adecuados para el registro de éstos.

Es aquí donde es importante el medidor de velocidades hidráulicas, porque uno de los efectos de más relevancia que se producirán a pequeña o gran escala, es decir en modelos o directamente en ríos o mares, es el de las "corrientes" producidas por la pendiente en los ríos y diferencia de niveles en los mares (corrientes marítimas naturales).

## DESCRIPCION DEL SISTEMA

Diagrama a cuadros de dicho instrumento en la Figura 1.

La respuesta del transductor usado (hélice) en dicho instrumento es la mostrada en la Figura 2.

Como características deseables del sistema destinado a su empleo en el campo deben incluirse: simplicidad en su manejo, portabilidad,

además de presentación digital en la observación, confiabilidad en precisión que elimina los errores de lectura y paralaje humano hasta ahora observados en los dispositivos convencionales para estos fines.

A continuación se mencionan las funciones de cada cuadro (Figura 1), su interconexión y secuencia de operación para lograr en conjunto el dispositivo requerido.

El detector de período. Nos debe proporcionar pulsos cuadrados del mismo período de giro de la hélice.

Divisor (1). Permite dividir la entrada de pulsos para mejorar el muestreo variando esta división por 2, 4, 8 y 16 además de un acceso directo (sin división) al multivibrador biestable (1).

Divisor (2). Su función es comparar la salida del multiplicador de relación contra un valor fijo.

Divisor (3). Su función es aumentar la definición de la lectura y a la vez obtener una escalación dependiente del número de períodos muestreados.

Multivibrador biestable (1). Controla el paso de ambos osciladores en los gatillos, además de sincronizar todo el sistema.

Multivibrador biestable (2). Su misión es el borrado del contador, multiplicador de relación, divisores 2 y 3, gatillo 2, además de fijar la lectura en el contador decimal con indicador numérico (Displays).

Oscilador (1). Es la base de tiempo para la determinación del período.

Oscilador (2). Nos da la frecuencia para transferencia de información del multiplicador de relación, la cual es controlada en el gatillo (2).

Gatillos (1) y (2). Son compuertas lógicas controladas en sus entradas para permitir el paso de señales, tanto de muestreo (oscilador 1) como de transferencia (oscilador 2).

Contador binario. Cuenta en sistema binario la frecuencia de muestreo, controlada en el gatillo (1) por el período de la frecuencia de hélice con un máximo de 12 dígitos binarios (Bits), 4095 decimal.

Multiplicador de relación. Permite obtener un número de pulsos proporcional a la información introducida por el contador binario.

Contador decimal con indicador numérico. Nos da la lectura directa digital de la velocidad, en milímetros por segundo.

### CONSIDERACIONES TEORICAS

La velocidad de la corriente hidráulica de dirección uniforme se determinará a partir de la hélice de plástico tipo Beauvert 58 de 4 palas, cuya respuesta está dada en la Figura número 2. La ecuación de comportamiento de esta hélice puede indicarse como la ecuación de una recta (de hecho lo es):

$$v = m f + b$$

donde

$v$  = velocidad en mts./seg.

$f$  = frecuencia de la hélice

$m$  = pendiente de la hélice

$b$  = constante

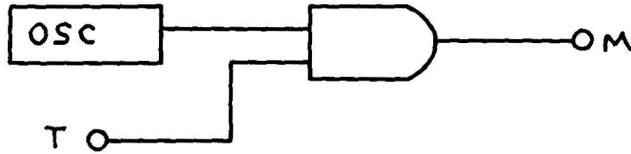
Por otra parte la frecuencia es el recíproco del período, es decir:

$$f = \frac{1}{T}$$

$$\therefore v = \frac{m}{T} + b \quad (1)$$

$m/T$  será el parámetro a determinar, la constante  $b$  se despreciará por ser muy pequeña 0.0058 m. en cualquier caso puede agregarse a las velocidades obtenidas.

El período de la hélice puede encontrarse empleando una compuerta lógica que permita el paso de una frecuencia conocida generada por un oscilador durante el tiempo indicado por una vuelta de la hélice.



La salida de la compuerta M será igual:

$$M = f_o T \quad (2)$$

donde:

$f_o$  = frecuencia del oscilador

$T$  = período de la hélice

Este valor de  $M$  puede ser registrado por un contador binario, proporcionándolo en este sistema a la entrada de un multiplicador de relación (M.R.) o varios (dependiendo del número de dígitos binarios) del tipo SN-7497 cuya salida es:

$$f_{sal} = \frac{M f_{ent}}{(64)^n} \quad (3)$$

Multiplicando por el tiempo obtenemos el número de pulsos, con lo que la ecuación se transforma:

$$\begin{aligned} f_{sal} &= N_s/t \\ f_{ent} &= N_e/t \end{aligned}$$

Sustituyendo  $N_s$  y  $N_e$ :

$$N_s = M N_e / (64)^n \quad (4)$$

donde:

M = salida del contador binario

N<sub>s</sub> = número de pulsos de salida

N<sub>e</sub> = número de pulsos de entrada

n = número de circuitos SN 7497 (M.R.)

64 = es el número de pulsos de entrada necesarios para obtener una salida.

Con objeto de fijar la resolución de la medida se propone obtener el valor N<sub>e'</sub> :

$$N_{e'} = \frac{N_e}{(64)^n} \quad (5)$$

Sustituyendo 5 en 4

$$N_s = M N_{e'} \quad (6)$$

Por otra parte, para obtener la precisión fijada, para el instrumento, puede ser necesario muestrear un número de períodos mayor a la unidad, en cuyo caso proponemos un valor "d" de muestreo, entonces de 2

$$M = d f_o T \quad (7)$$

Siendo:

d = número de períodos muestreados

Sustituyendo 7 en 6

$$N_s = d f_o T N_{e'} \quad (8)$$

Dividiendo entre el valor "m" indicado se tiene:

$$\frac{N_s}{m} = \frac{d f_o T N_{e'}}{m}$$

$$\therefore \frac{m}{T} = \frac{d f_o m N_{e'}}{N_s}$$

si se hace

$$\frac{f_o m}{N_s} = 1 \quad (9)$$

se obtiene:

$$\frac{m}{T} = N_{e'} d = v \quad (10)$$

que es el parámetro buscado para la medición de velocidad.

Por otra parte la máxima salida de pulsos del M.R. corresponde a los valores de M. máxima y de Ne mínima que al ser sustituidas en la ecuación 4 nos da:

$$N_s \text{ máxima} = \frac{M_{\text{máx}} N_{e' \text{ mín}}}{(64)^n} = \frac{M_{\text{máx}} N_{e' \text{ mín}} (64)^n}{(64)^n} \quad (11)$$

$$\therefore N_{s \text{ máxima}} = M_{\text{máx}} N_{e' \text{ mín}} \quad (12)$$

donde  $N_s$  máxima = máximo número de pulsos de salida del M.R.

M máxima = valor máximo de M

$N_{e'}$  mínima = velocidad mínima entre el número de división o muestreo

Nuestro interés es  $N_s$  máxima, para futuros cálculos lo hacemos igual a  $N_s$

$$N_s \text{ máxima} = N_s$$

Despejando  $N_e$  de la ecuación 4 tenemos

$$N_e = \frac{N_s (64)^n}{M}$$

$$N_e \text{ máx} = \frac{N_s(64)^n}{M_{\text{mín}}} = \frac{N_s(64)^n}{d f_o T_{\text{mín}}} \quad (13)$$

Este valor de  $N_e$  máximo debe de transferir en un tiempo menor o igual a  $d T$  mínimo, entonces la frecuencia de transferencia deberá ser:

$$f_T = \frac{N_s (64)^n}{d^2 f_o T^2_{\text{mín}}} \quad (14)$$

Despejando la ecuación (9), se puede obtener la frecuencia de muestreo  $f_o$ :

$$f_o = \frac{N_s}{m} \quad (15)$$

En todo sistema digital se presenta un error por indeterminación en la entrada de la frecuencia de muestreo y que corresponde a  $\pm 1$  período de esta frecuencia, con lo cual se obtiene un porcentaje de error:

$$\% \text{ error} = 100 T_o / d T \text{ mínimo} \quad (16)$$

Donde  $T_o$  = período de  $F_o$

$T$  mínimo = período mínimo de hélice

$d$  = número de división de muestreo

## CONCLUSIONES

Los principios anteriormente descritos sirvieron de base para el diseño y la construcción de un prototipo en el laboratorio de electrónica e instrumentación del Instituto de Geofísica, el que ha demostrado satisfacer en todo momento los requisitos señalados con las siguientes características de operación.

– Rango de Operación. Desde 0.18 Hz. hasta 21.5 Hz. de la frecuencia de hélice, que corresponden en velocidad de agua a 16 mm/seg. y 2000 mm/seg. respectivamente.

– Tiempos de lectura limitados tan sólo por el número de muestras tomado para la medida.

– Resolución del instrumento al milímetro con error menor del 0.5% en cualquier división de muestreo.

– Lecturas directamente en velocidad (mm/seg.).

Por otra parte, como unidad independiente puede dar buenos resultados en otras aplicaciones de medición de fenómenos cuya respuesta sea función lineal de la frecuencia.

El diagrama final muestra la integración total de los circuitos y sus especificaciones.

## ESPECIFICACIONES

- A 1, 2, 3, 4 – Amplificador operacional 741
- 93 – 7493 Contador Binario
- 107 – 74107 Multivibrador J-K maestro-esclavo con restablecedor a cero
- 27 – 7427 Triple compuerta NOR de tres entradas
- 97 – 7497 Multiplicador de relación binaria
- TIL – TIL 306 Contador Decimal con indicador numérico.

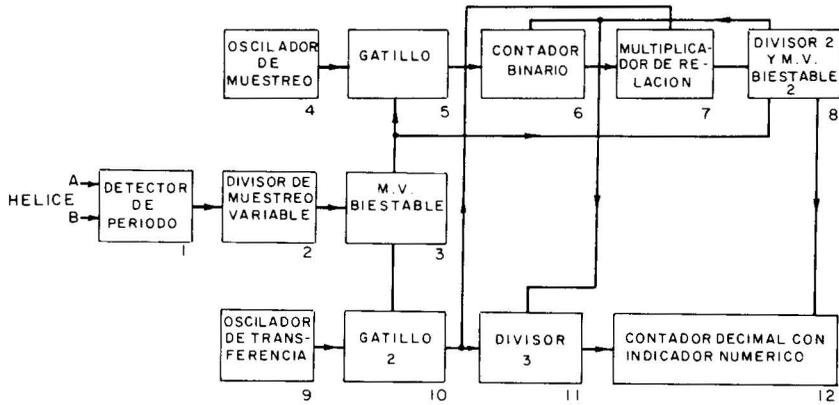


Fig 1

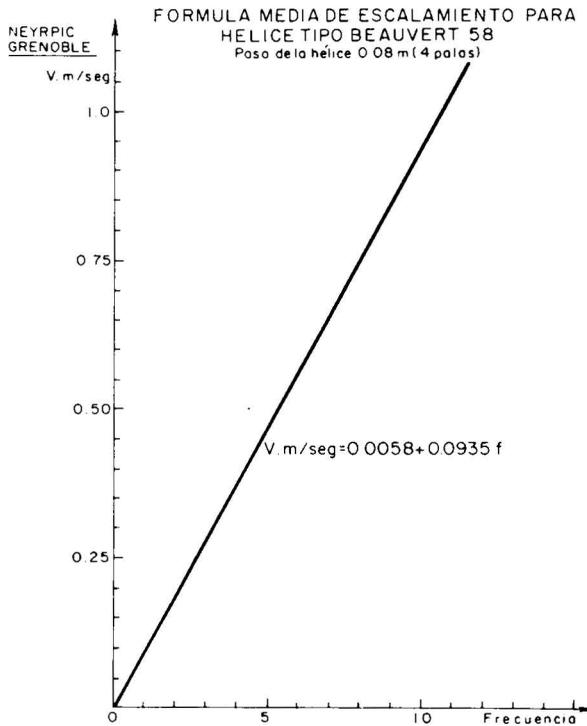


Fig 2

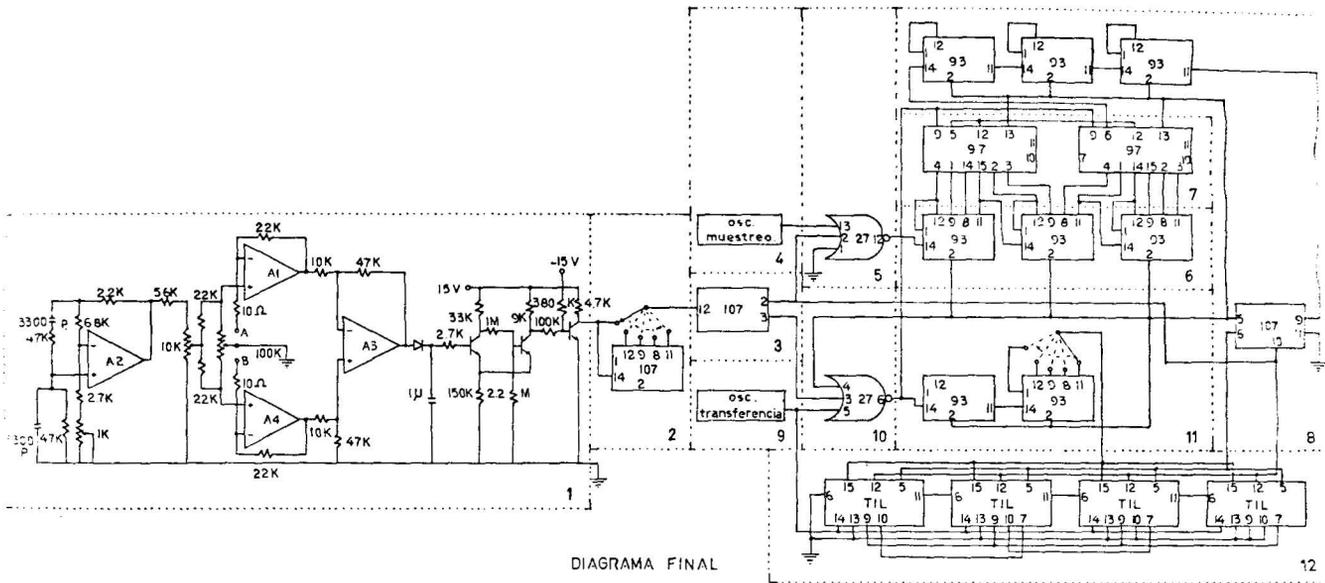


DIAGRAMA FINAL