

CLASIFICACION Y GEOMETRIA DEL RESALTO ONDULAR

**Jorge Alberto Naranjo M.,
Profesor del Posgrado de Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos.
Facultad de Minas. Universidad Nacional.**

**Carlos Alberto Palacio T.
Estudiante del Posgrado de Recursos Hidráulicos.
Facultad de Ingeniería. Universidad de los Andes.**

**José Javier Jaramillo M.
Estudiante del Posgrado de Aprovechamiento en Recursos Hidráulicos.
Facultad de Minas. Universidad Nacional.**

RESUMEN

En este artículo se presentan relaciones empíricas entre las condiciones iniciales y precedentes en resaltos ondulares con variación del número de Froude, medido aguas arriba (F_1), entre 1,87 y 2,48. Además se hace una clasificación del fenómeno observado, teniendo en cuenta la forma de la variación de los niveles máximos y mínimos de la superficie libre del agua al ir avanzando en el tren ondular.

1. INTRODUCCION

Los experimentos se llevaron a cabo en un canal rectangular de pendiente horizontal de 10m de largo y un ancho promedio de 0,5m. La corriente, al pasar bajo una compuerta, que se gradúa a diferentes aperturas, crea las condiciones especiales para la formación de este fenómeno ondular. Se midieron, para los 46 resaltos formados, características como: caudal, alturas inicial y secuente, alturas de los niveles máximos (crestas) y mínimos (valles), distancias horizontales entre los niveles máximos, etc. Con esta información logramos relacionar las condiciones iniciales del fenómeno: altura inicial (y_1), número de Froude aguas arriba (F_1), con las condiciones aguas abajo: altura secuente (y_2) y la máxima elevación de la onda (h_{\max}).

En el proceso de experimentación se observó que la tendencia decreciente de la amplitud de la onda es lineal, al menos en las primeras crestas y valles, donde el fenómeno se muestra aún estable. Acá se distinguen

dos rectas envolventes de la superficie ondular, una tangente a las crestas y otra tangente a los valles; esta característica se denomina efecto "diedro" y con base en ella se hizo la clasificación de los resaltos ondulares observados.

2. ALTURA SECUENTE Y LA MAXIMA ELEVACION DE LA ONDA.

La altura secuente, (y_2) se relaciona con las condiciones iniciales mediante la expresión $y_2/y_1 = mF_1 + b$, donde las constantes adimensionales m y b se estiman mediante un análisis de regresión entre el cociente de las alturas inicial y secuente (y_2/y_1) y el número de Froude medido aguas arriba del resalto ondular (F_1).

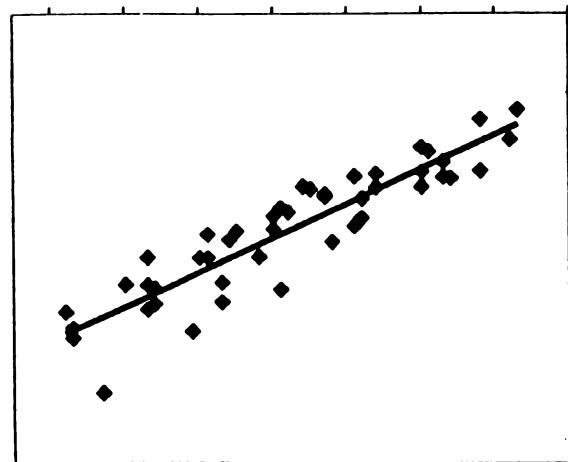
El ajuste se realizó por el método de mínimos cuadrados dando los siguientes resultados:

$$m=1,353; b=-0,581; r=0,91; F=215.$$

El estimador del coeficiente de correlación (r), indica que hay una buena relación entre las variables analizadas. El valor del estadístico observado (F) es sustancialmente mayor que el valor del estadístico crítico ($F_c=7,3$) calculado para un nivel de confianza del 99%, con $v_1=1$ y $v_2=44$ grados de libertad. Esto implica que la relación entre las variables analizadas no es aleatoria, y que la ecuación de regresión es útil en la predicción de la altura secuente a partir de las condiciones iniciales del resalto ondular, y_1 y F_1 . El error en la predicción de la altura secuente es de 4%, mientras que el error utilizando la ecuación de la hidráulica tradicional es del orden de 10%.

En la gráfica siguiente se muestran los puntos experimentales y la línea de regresión dada por la ecuación:

$$\frac{y_2}{y_1} = 1,353 F_1 - 0,581$$



Las variables h_{\max} , y_1 y F_1 se relacionan mediante el expresión:

$$\frac{h_{\max} - y_1}{y_1} = m F_1 + b$$

donde los valores de m y b se obtienen de un análisis similar al anterior, obteniendo los siguientes resultados:

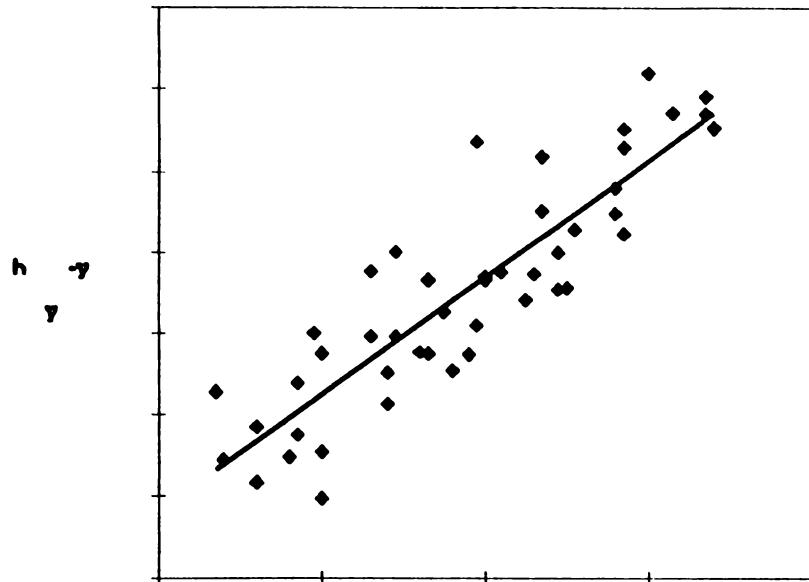
$$m=1,438; b=-1,226; r=0,88; F=157.$$

Tenemos que $F > F_c=7,3$. Lo que implica que el ajuste se puede aceptar para un nivel de confianza del 99%.

El error promedio en la predicción de la altura máxima, utilizando esta ecuación es del orden del 5%.

En la gráfica siguiente se muestran los puntos experimentales y la línea de regresión dada por la ecuación:

$$\frac{h_{max} - y_1}{y_1} = 1,438 F_1 + 1,226$$



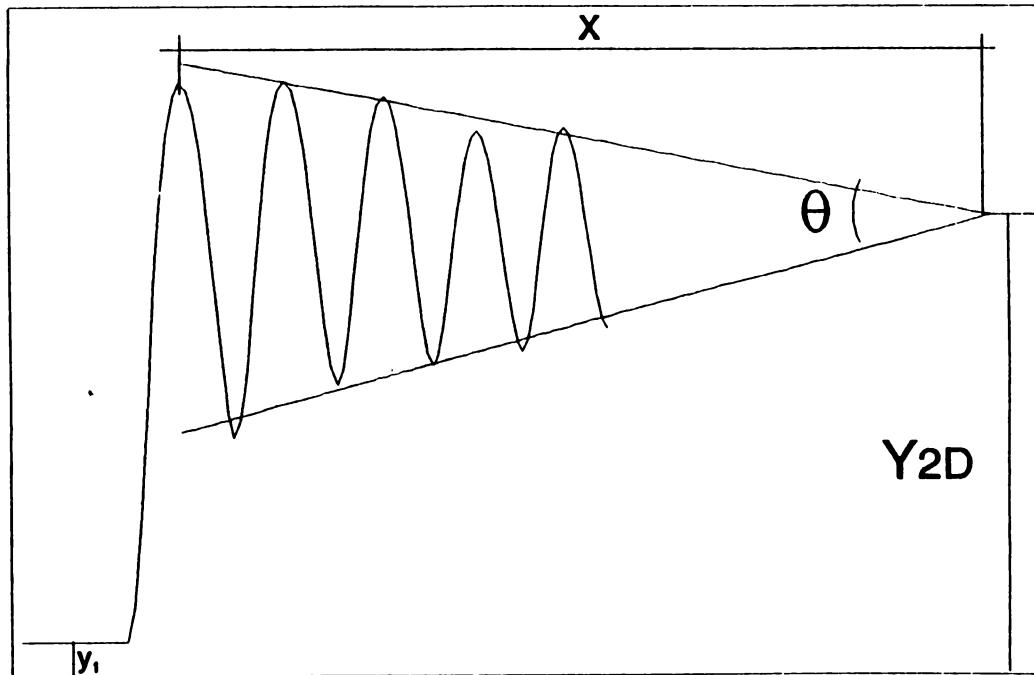
La predicción de las condiciones precedentes del resalto hidráulico, dadas las condiciones iniciales, es importante en las aplicaciones hidráulicas que involucren este fenómeno. En el rango de resaltos hidráulicos ondulares la teoría clásica muestra discrepancias apreciables (cf Jaramillo, Palacios. Bibl). Las ecuaciones de regresión presentadas acá, son una primera aproximación para llenar este vacío. Las limitaciones de estas ecuaciones son claras, el rango del número de Froude aguas arriba, [1,87;2,48]; las condiciones geométricas del canal (rectangular, pendiente horizontal); la formación del resalto, el paso de la corriente bajo una compuerta. El procedimiento a seguir ahora, es calibrar este modelo con condiciones diferentes del canal y tratar de ampliar el rango de números de Froude observados.

3. EFECTO DIEDRO

En el comportamiento del tren ondular de la mayoría de los resaltos se observó la exis-

tencia de un par de rectas tangentes, una a las crestas y otra a los valles, de modo que el tren ondular se encuentra completamente comprendido entre estas dos rectas envolventes, mostrándose claramente un comportamiento diédrico (ver figura siguiente).

Este efecto es importante porque si se conocen las dos rectas tangentes, se puede conocer el punto de intersección de las mismas (formando el ángulo del diedro, b) y así determinar la longitud del tren solitónico, (x), para saber a partir de qué punto se obtiene una medida confiable de la altura secuente del resalto. Para determinar cuáles resaltos cumplían el efecto diedro se hizo un análisis de correlación entre los valores de los máximos (también de los mínimos) con la distancia al primer máximo; estos valores de correlación los comparamos con los valores de correlación críticos, utilizando la distribución de Student para un nivel de confianza del 90%, (valores a partir de los cuales se puede aceptar correlación entre dos variables). En este análisis no se consideró el valor del primer máximo, ya que éste



presentó inestabilidad expresada en un decaimiento del nivel debido a la energía disipada (se presentó algo de turbulencia).

Después de este análisis de correlación los datos experimentales de los resaltos ondulares se dividieron en dos grandes grupos, que llamamos grupo A (54% de los resaltos): lo conforman los resaltos que cumplen el efecto diedro; y otro grupo, que llamamos grupo B (46% de los resaltos), lo conforman los resaltos que no cumplen el efecto diedro.

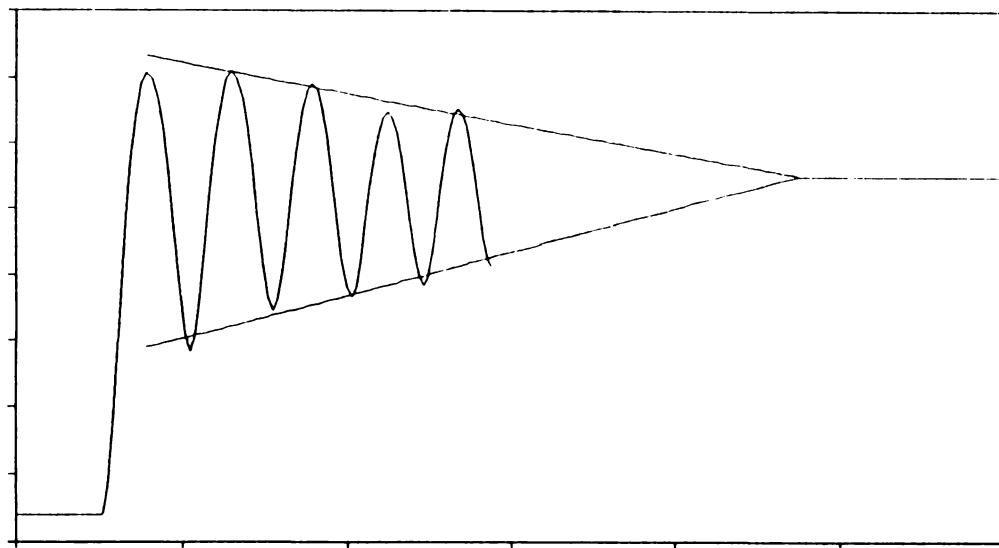
En los resaltos del grupo A se observaron dos comportamientos diferentes y por esto se subdivide este grupo en grupo A₁ (50% de los resaltos) y grupo A₂ (4% de los resaltos). El grupo A₁ está conformado por resaltos donde los valores de los máximos decre-

cen y los valores de los mínimos aumentan a medida que avanzamos en el tren ondular; y el grupo A₂ está conformado por resaltos en donde tanto los valores de los máximos como de los mínimos aumentan al avanzar en el tren ondular.

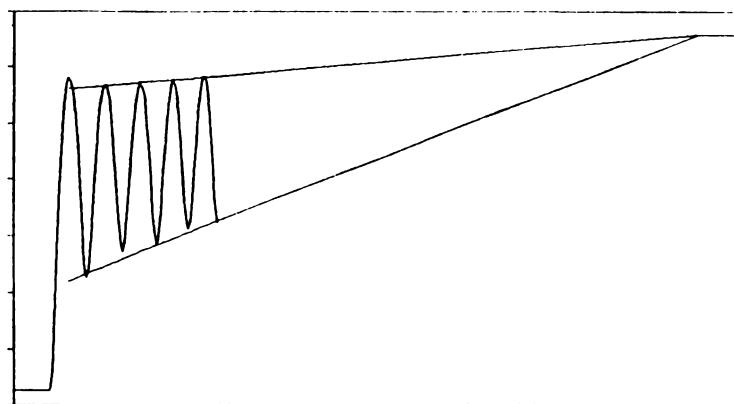
Los resaltos del grupo B se subdividieron en dos grupos, B₁ (10% de los resaltos), está conformado por los resaltos en los que sólo se aceptó una correlación de los máximos con la distancia y el segundo grupo B₂ (36% de los resaltos), está conformado por los resaltos en los que sólo se aceptó una correlación de los mínimos con la distancia.

En las gráficas siguientes se muestra la forma típica de los diferentes tipos de resaltos observados.

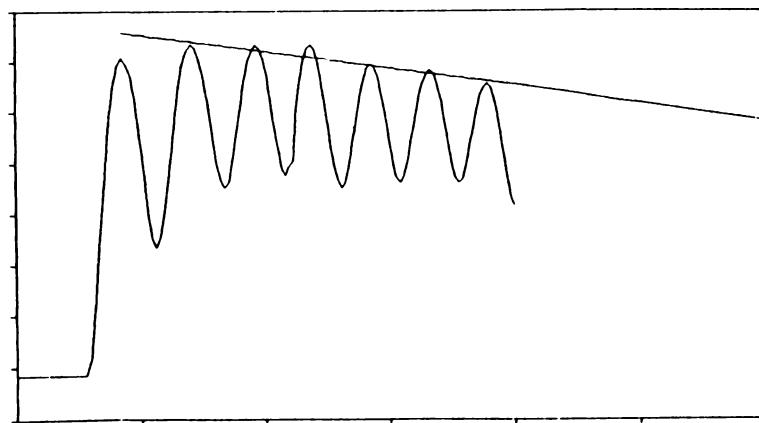
Resaltos Tipo A1
Resalto 14



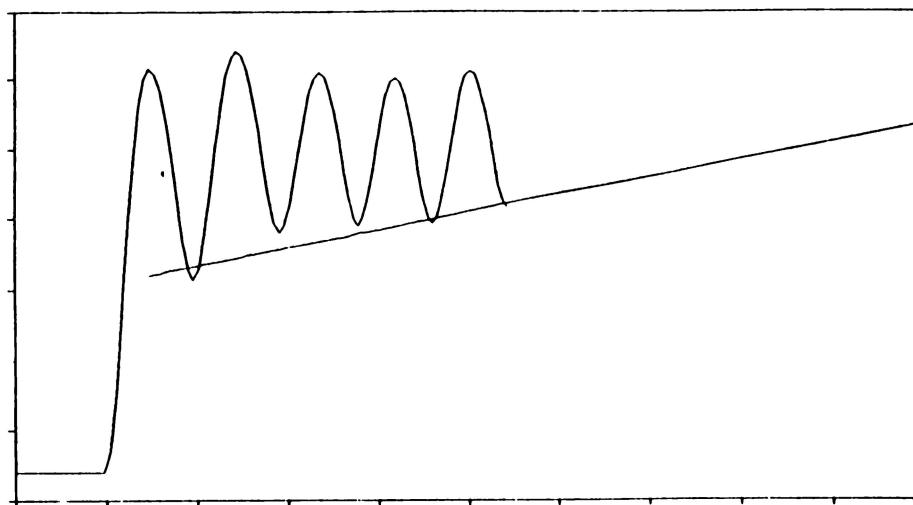
Resaltos Tipo A2
Resalto 18



Resaltos Tipo B1
Resalto 04



**Resaltos Tipo B2
Resalto 03**



BIBLIOGRAFIA

Craig, Allen T. y Hogg Robert V. Introduction to Mathematical Statistics. Macmillan Publishing Co. New York, 1978.

Jaramillo, Y. y C. Palacio. Resaltos ondulares y ondas solitarias. Trabajo dirigido de grado. Universidad Nacional. Medellín, 1994.

