

## Introducción

La importancia de las presas en nuestra sociedad abarca desde el almacenamiento de agua hasta la generación de energía, indispensables para nuestro bienestar.

Sin embargo, aparte de las funciones que realiza, hay que estudiar cada una de las partes de estas infraestructuras.

En nuestro caso, se nos ofreció la oportunidad, gracias al proyecto de I+D en institutos (IDIES), de poder realizar una investigación sobre una estructura de disipación de energía como es el salto de esquí o trampolín de lanzamiento.

Esta estructura tiene una función clave en la presa, que es evitar que el grueso de la energía que contiene el agua almacenada en el embalse caiga cerca del pie de presa, así como reducir esta energía para evitar destrozos.

El carácter cuantitativo del proyecto nos llamó la atención ya que las matemáticas son el campo donde nos sentimos más cómodos, y éste nos permitía trabajar con multitud de variables, que en el laboratorio en el que trabajamos podíamos variar para así provocar cambios y medir distintas situaciones.

## Objetivos

Nuestros objetivos están orientados a conocer más de cerca los parámetros que definen una presa con aliviadero de salto de esquí. Entre otros, destacamos:

- Analizar la trayectoria del agua en un aliviadero de salto de esquí.
- Estudiar las diferencias que hay en estas trayectorias en función del caudal de la presa.
- Utilizar fórmulas matemáticas para poder estimar estos fenómenos, y por tanto determinar la veracidad de estas fórmulas.
- Conocer más de cerca el fenómeno de la erosión, a pesar de su complejidad.

## Procedimiento

### Procedimiento

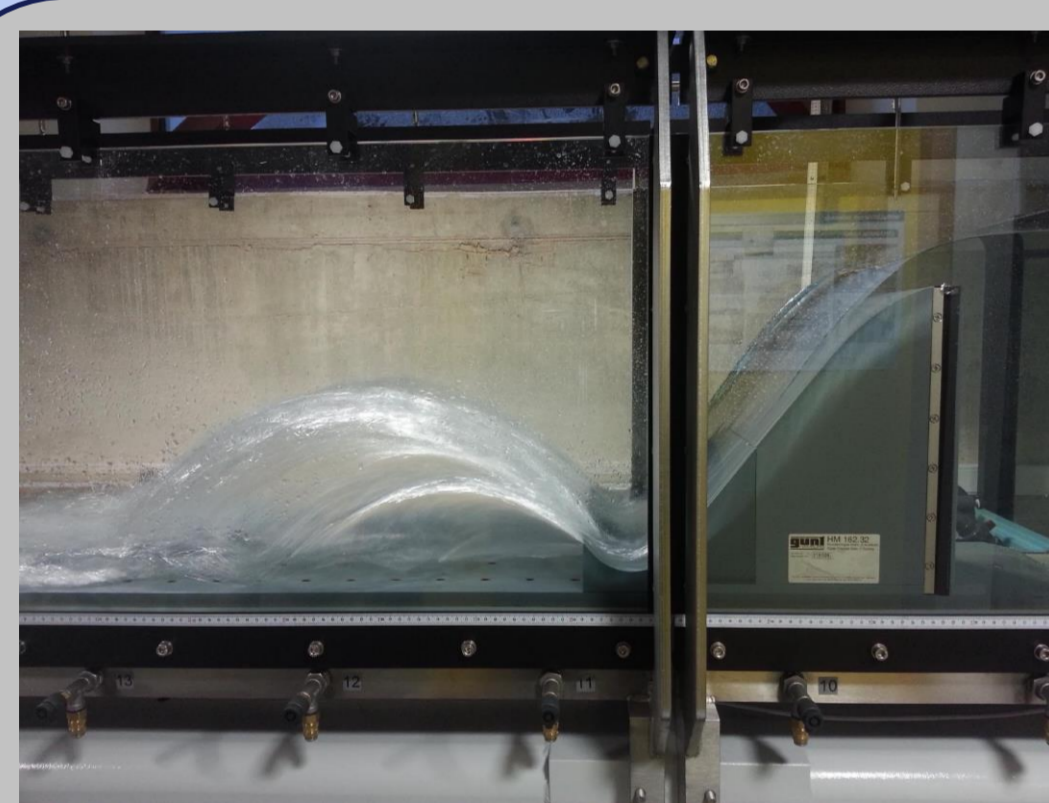
Hemos manejado varios modelos de presa con salto de esquí a pequeña escala, que se encuentran dentro de los diferentes canales de agua con los que cuenta el laboratorio de hidráulica de la UPCT.

En estos se puede variar el caudal de ensayo, en cada caso midiendo la respectiva altura a la que está el agua del suelo del canal, llamada "calado", así como otras variables de interés.

Una vez tenemos estos datos, los hemos comparado las medidas con los resultados que obtendríamos teóricamente usando la ecuación de tiro parabólico.

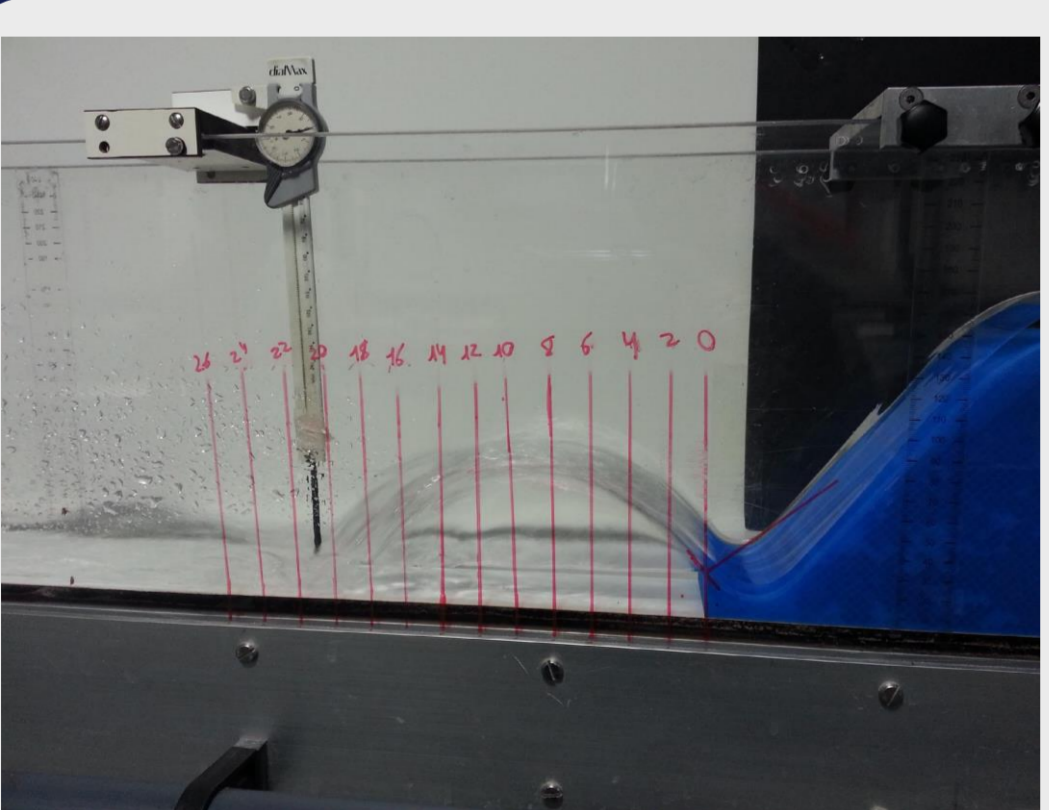
En el canal de erosiones medimos la socavación provocada por el agua dependiendo del caudal, comparando los resultados con fórmulas que relacionaban estas variables.

### Métodos particulares



#### Canal grande

Para medir el calado en diferentes puntos, utilizamos un limnómetro (aparato que mide las alturas desde arriba), de 1 mm de precisión. Cuando necesitábamos medir, dejábamos caer la varilla del limnómetro hasta el punto donde su punta rozaba el nivel de agua. Con ese dato, junto a otros datos medidos anteriormente como la distancia del limnómetro al suelo, podíamos calcular el calado aritméticamente.



#### Canal pequeño

En este canal el procedimiento fue muy similar, utilizamos el limnómetro, en este caso con una precisión de 0,1 mm. para medir las distintas medidas necesarias. Hicimos marcas cada 2 cm (en el grande fueron 5 cm) que señalaban los intervalos en los que teníamos que medir.



#### Canal de erosiones

Para medir la socavación nos bastaba con introducir la regla en el punto más bajo del foso producido por la erosión del agua tras un determinado tiempo.

Usando esa distancia y restándola a la altura del canal, obtendremos la altura de las gravas en ese punto, cuya diferencia con la altura normal de las gravas nos dará la socavación.

## Ecuaciones utilizadas

Las ecuaciones que hemos utilizado han sido las siguientes:

Para calcular el tiro parabólico:

$$z = x \cdot \tan \alpha - \frac{gx^2}{2V^2 \cos^2 \alpha}$$

Para calcular la socavación:

$$\text{Martins(1973): } Y_s = 1,5 \cdot q^{0,6} \cdot Z^{0,1}$$

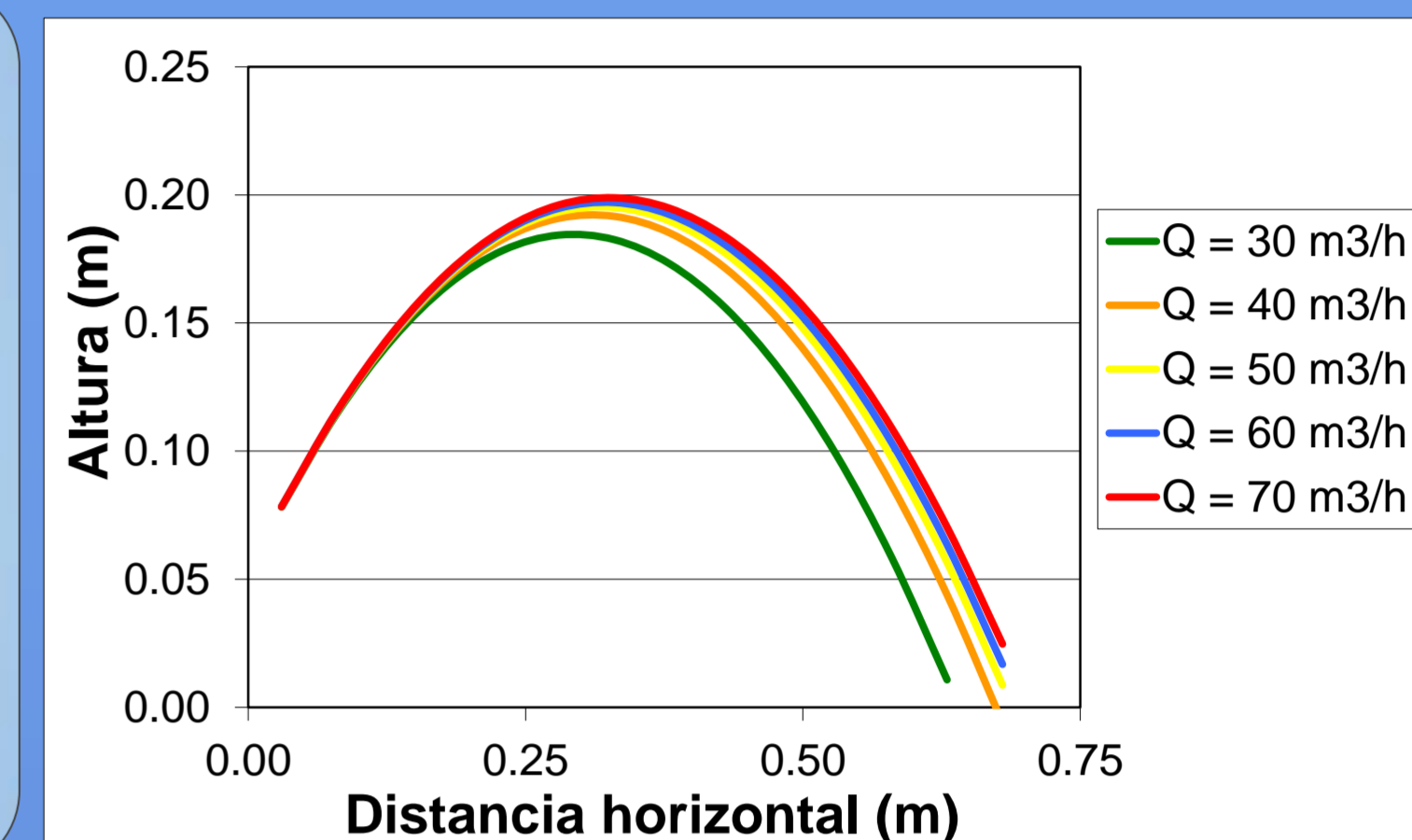
$$\text{Martins(1975): } Y_s = 1,5 \cdot q^{0,6} \cdot H^{0,1}$$

## Resultados

### Canal grande

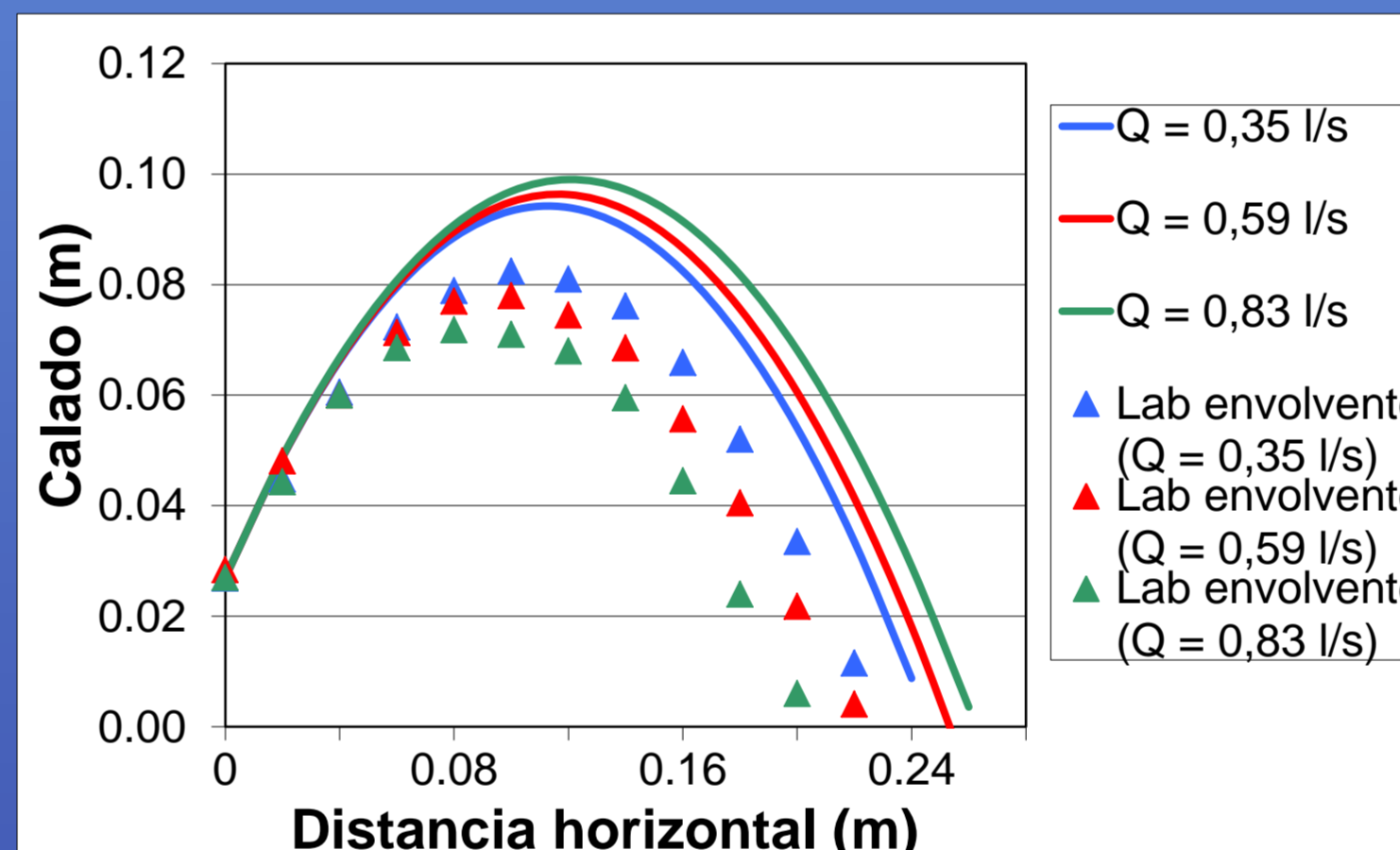
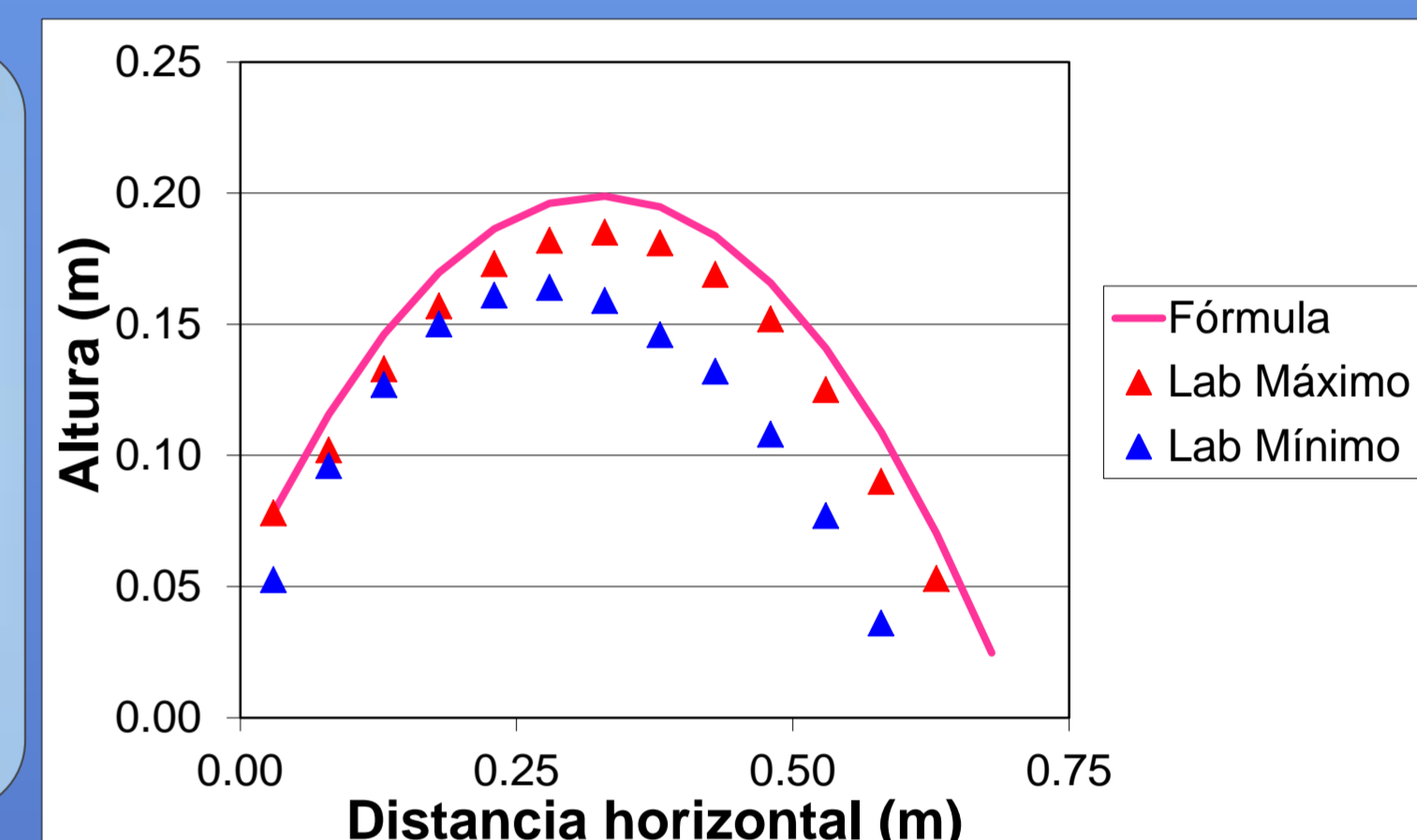
Tras analizar los distintos caudales, hemos podido elaborar una serie de gráficas que proyectan la trayectoria del agua en función de su distancia al trampolín.

En la gráfica de la derecha podemos ver todas las trayectorias teóricas producidas por la fórmula de tiro parabólico con los caudales ensayados.



### Canal grande – Compación datos medidos calculados

En la gráfica de la derecha podemos ver la comparación entre la trayectoria teórica y la medida en el laboratorio en el canal grande, para un caudal de 70 m³/h. Como se puede apreciar, los resultados son bastante exactos.



### Canal pequeño

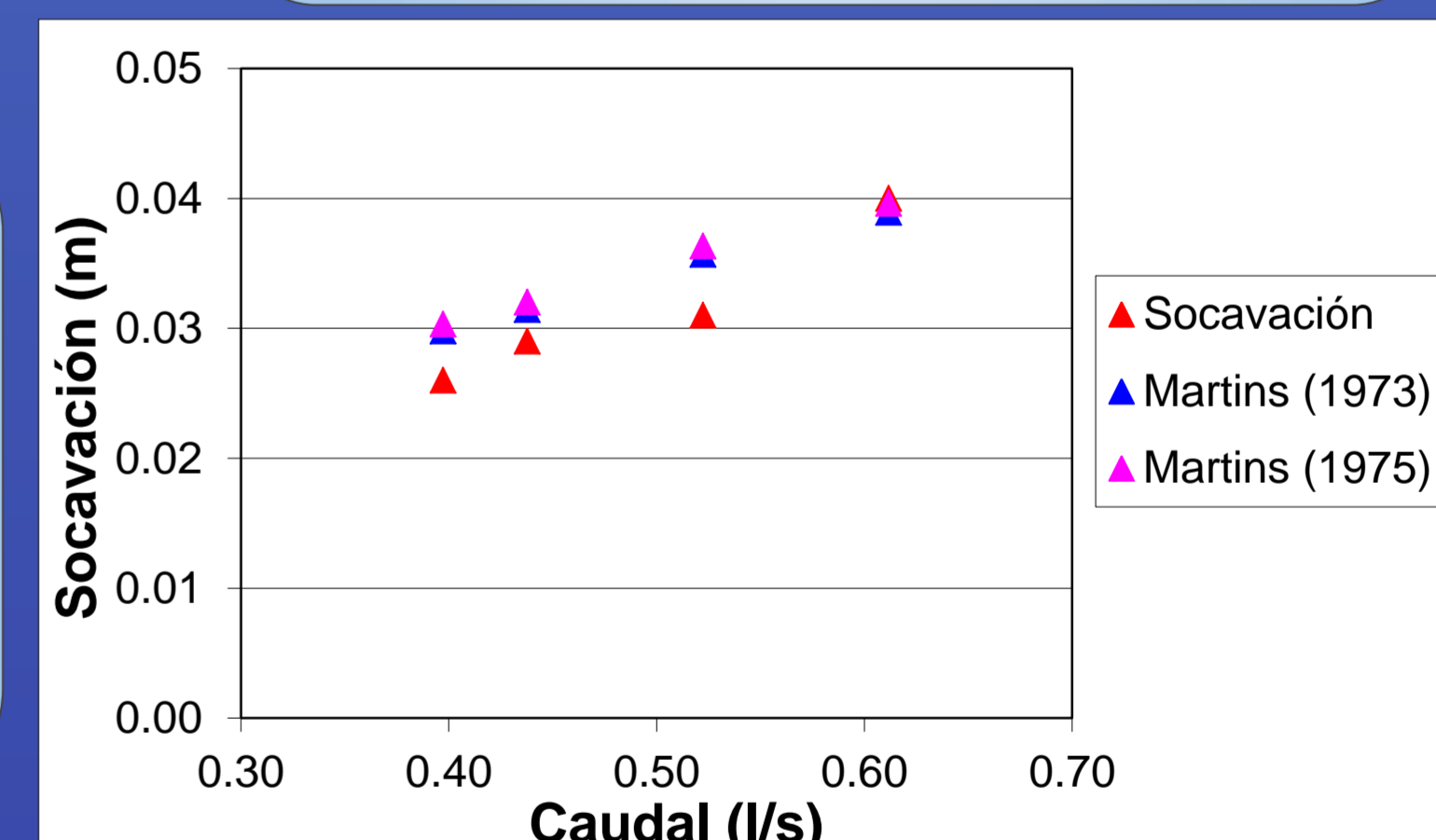
En el canal pequeño también hicimos medidas de los calados para hallar la trayectoria del agua.

En la gráfica de la izquierda se observa una mayor diferencia entre nuestras medidas y la fórmula.

Esto se debe a la dificultad de medir estructuras demasiado pequeñas ya que son muy importantes los llamados "efectos de escala".

### Socavación

En la gráfica de la derecha se proyectan las socavaciones medidas en el laboratorio (triángulos rojos) y las obtenidas a través de dos fórmulas para ese tipo de grava por Martins, una de 1973 (triángulos azules) y otra de 1975 (triángulos morados).



## Conclusiones

Para nosotros, los resultados obtenidos fueron los esperados, ya que son muy parecidos a los medidos en el laboratorio. Sin embargo, para extrapolar estos resultados a presas mucho más grandes habría que analizar también la resistencia que ofrece el aire al agua, el rozamiento, etc.

De todas formas, sí que podemos asegurar que se puede utilizar la fórmula de tiro parabólico para analizar la trayectoria del agua en estas presas.

En relación con la erosión de la grava por el agua, los resultados fueron muy parecidos a los medidos, lo cual quiere decir que las fórmulas, a pesar de haber sido enunciadas hace más de 40 años, siguen siendo bastante exactas.

También, hemos descubierto la importancia de los disipadores de energía de una presa, en especial el salto de esquí o trampolín de lanzamiento, que proyecta el agua en una parábola para poder reducir la energía de ésta.

## Bibliografía

- Martins, R. (1975). Scouring of rocky riverbeds by free-jet spillways. *Water Power Dam Constr*, 27, 152–153.
- Chanson, H. (2015). *Energy Dissipation in Hydraulic Structures* (1st ed.). CRC Press.
- Uribe Velásquez, C.A. (2002). Tipos de presas. *Fluidos.eia.edu.co*. Recuperado el 15 de marzo de 2017, de: [http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/interesantes/centrales/pagina\\_nueva\\_2.htm](http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/interesantes/centrales/pagina_nueva_2.htm)