

## TÍTULO DEL PROYECTO DE INNOVACION EDUCATIVA 2016-17

Jaime H. García Palacios <sup>1\*</sup>, Martín Ezequiel Collado <sup>2</sup> y José Luis Orts Egío <sup>3</sup>

1: Hiden. Ing. Civil: Hidráulica, Energía y Medio Ambiente

e-mail: [jaime.garcia.palacios@upm.es](mailto:jaime.garcia.palacios@upm.es)

2: ETSI Sistemas Informáticos. UPM

1,3: ETSI Caminos, Canales y Puertos. UPM

e-mail: [me.collado@alumnos.upm.es](mailto:me.collado@alumnos.upm.es), [jl.orts@alumnos.upm.es](mailto:jl.orts@alumnos.upm.es)

**Resumen.** *El presente proyecto tiene como finalidad fundamental el crear una plataforma física de ensayos de laboratorio, modular y de bajo coste, que permita adaptar las prácticas de laboratorio a los nuevos sistemas de aprendizaje, ampliando y modernizando la oferta actualmente disponible en el laboratorio de Hidráulica de la ETSICCY. Sobre este canal se creará una plataforma de hardware y software de bajo coste que permita a los alumnos obtener medidas digitales con las que resolver sus prácticas de laboratorio. El sistema tiene actuadores para el accionamiento de las bombas, compuertas y el movimiento de los carros de medida sobre el canal, además de sondas de nivel, caudal, etc. Este proyecto modular puede ampliarse con nuevas contribuciones. La plataforma de hardware está principalmente controlada por raspberry pi y sistemas arduinos con conexión inalámbrica y un software de control con volcado de datos a un servidor externo con acceso HTML*

**Palabras clave:** Aprendizaje Activo, Competencias específicas, Desarrollo de TIC's, Elaboración material docente, Emprendimiento, Evaluación del aprendizaje, Material Multimedia, Metodología Aprendizaje Basado en Problemas, Uso de las TIC's, Aprendizaje Adaptativo, Aprendizaje Experiencial, Autoaprendizaje- Aprendizaje Autónomo, Grado, Máster, Robótica

### 1. Introducción

En la actualidad el laboratorio de Hidráulica de la ETSI de Caminos, Canales y Puertos de la UPM dispone de numerosos equipos de experimentación para la realización de prácticas de laboratorio. El equipamiento del laboratorio es una combinación de equipos clásicos de ensayo que datan de la época de construcción de la Escuela con nuevos equipos que se han ido adquiriendo aprovechando la disponibilidad presupuestaria. La mayor parte de estos equipos cuentan con instrumentación convencional de lectura directa, que no permite un tratamiento automatizado. Sobre estos equipos se ha realizado una importante labor para que los alumnos puedan trabajar en ellos de forma independiente y procesar los resultados de las medidas que realizan en el laboratorio a través de un portal web. Para ello se ha desarrollado una plataforma (<http://gie30.caminos.upm.es/practicas/>) donde se presenta una colección de videos didácticos con: a) una introducción de la práctica, b) una descripción del sistema, c) la teoría asociada a cada uno de los ejercicios, d) el desarrollo práctico a seguir en el laboratorio para el manejo de los equipos y e) los resultados que van a obtenerse de ese modelo.

Sin embargo, existe una limitación muy importante a la hora de ampliar la oferta de prácticas: las soluciones comerciales existentes consisten en paquetes cerrados, con

un coste muy elevado, que requieren una fuerte inversión para la compra de la instalación física, con la limitación de que la electrónica de medida suele ser únicamente aplicable a esa instalación. Además, los alumnos demandan sistemas más modernos de medida que los actualmente utilizados en las prácticas, que permitan la adquisición automática de datos y faciliten su análisis posterior.

Desde la experiencia adquirida en este laboratorio en la monitorización de ensayos sobre modelos físicos, se ha constatado que se puede proponer un sistema de prácticas muy participativo para el alumno, con una electrónica mucho más abierta y de menor coste que las soluciones comerciales. En esta instalación, además de poder realizar prácticas, se puede proponer la creación e implementación de nuevas herramientas de cálculo y control para los alumnos de Máster, no solo de nuestra escuela sino también de otras de la UPM

Por ello, se ha construido un canal, con sistemas de regulación de caudal y medida automatizados, controlado a través de una plataforma de hardware de bajo coste controlada mediante ordenadores de muy bajo coste como la raspberry pi, y con software abierto, modificable y expandible, con el propósito de hacerlo participativo para nuevas contribuciones.

## 2. Descripción de la instalación

El diseño del canal, tanto en su parte estructural y funcional como en la electrónica de medida, sistemas de control y plataforma software se ha realizado completamente en el marco del presente proyecto. En este caso ha sido fundamental la implicación directa de un grupo de alumnos en el diseño estructural, la electrónica, el comportamiento hidráulico del canal y el sistema de control de la instalación que han colaborado por encima de los requerimientos de las becas asociadas al proyecto, y en algunos casos de forma totalmente desinteresada.

El proyecto es de gran interés en el Departamento como elemento de modernización necesario para las prácticas, por lo que se ha contribuido con fondos propios a una parte importante de los gastos de construcción a los que no alcanza la subvención facilitada en esta convocatoria.

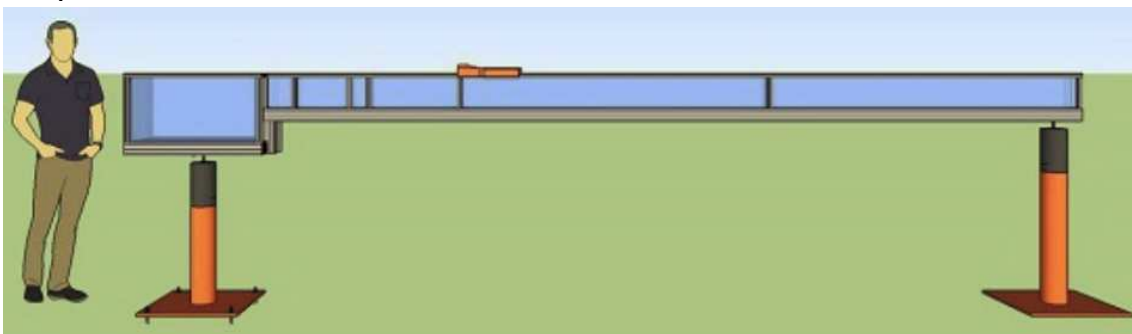
A continuación, se resume el diseño completo en sus diferentes partes:

### Estructura

- Canal principal: Su construcción es en metacrilato y aluminio con dimensiones de 500 cm de largo por 9 cm de ancho y 30 cm de altura. Entre sus principales características se destacan:
  - Ser basculante mediante motores para estudiar el comportamiento con distintas pendientes y regímenes de circulación.
  - Tener varias compuertas para controlar el tipo de régimen, formar resaltos, crear curvas de remanso de diferentes tipologías y estudiar su comportamiento. Estas compuertas están monitorizadas en su desplazamiento con control de posición.
  - Permitir la colocación de elementos intermedios en forma de piezas especiales elaboradas en impresora 3D como vertederos, escalones, pequeñas presas, etc.
  - Permitir el movimiento automatizado de carros en su parte superior para la colocación de diferentes elementos como sondas de medida de calados, elementos de iluminación, etc.
  - Tener elementos de tranquilización de la superficie libre

- Depósito de alimentación: del mismo material, con las siguientes características:
  - En el extremo de unión con el canal principal puede comportarse como: a) vertedero para asegurar un punto de control que permita medir los caudales circulantes por el canal y b) con una transición suave, y sin vertedero, que permita utilizar el canal para estudiar tomas de embalse. Por tanto, existe la posibilidad de colocar una transición suave o distintos tipos de vertedero (rectangular, triangular, de pared gruesa, perfiles Creager, etc) que fabricados con impresora 3D. Mediante estos vertederos intercambiables se mejora la medida de acuerdo con el caudal circulante.
  - Tiene longitud suficiente para que pueda observarse y medir el comportamiento de la lámina libre en curvas de remanso, resaltos, etc.
  - Se ha tratado que la alimentación afecte de manera mínima la superficie libre
  - Tiene elementos de encauzamiento, móviles o sustituibles, que permiten simular un canal de llegada al vertedero o un comportamiento más cercano a un embalse.
- Banco hidráulico de descarga: El caudal circulante por el canal verterá en régimen rápido sobre un banco hidráulico. Este consta de una zona de vertido, un vertedero, un depósito y un sistema de bombeo desde el depósito. Estas dos medidas de caudal, aguas arriba y aguas abajo del canal se utilizan para la calibración del error de medida en las prácticas que se plantean. No se descarta el colocar un tercer sistema, como un flotámetro, en el sistema de alimentación para tener una tercera medida.
- Sistema de bombeo: Se cuenta con dos bombas de 80 l/min de características similares que pueden alimentarse bien en serie o paralelo. Se cuenta con un variador de frecuencia en una para controlar de esta forma los caudales circulantes por el sistema. Actualmente está en desarrollo el sistema de control de bombeo en función de las características del canal en cada momento (inclinación, apertura de compuertas, etc) que evite el desbordamiento del mismo. Inicialmente el cambio entre bombeo en paralelo serie se realizará manualmente mediante apertura de válvulas pero se estudiará para facilitar su futura automatización.

Una vista de un prototipo previo en 3D del canal puede verse en la figura 1



**Figura 1:** Prototipo del canal

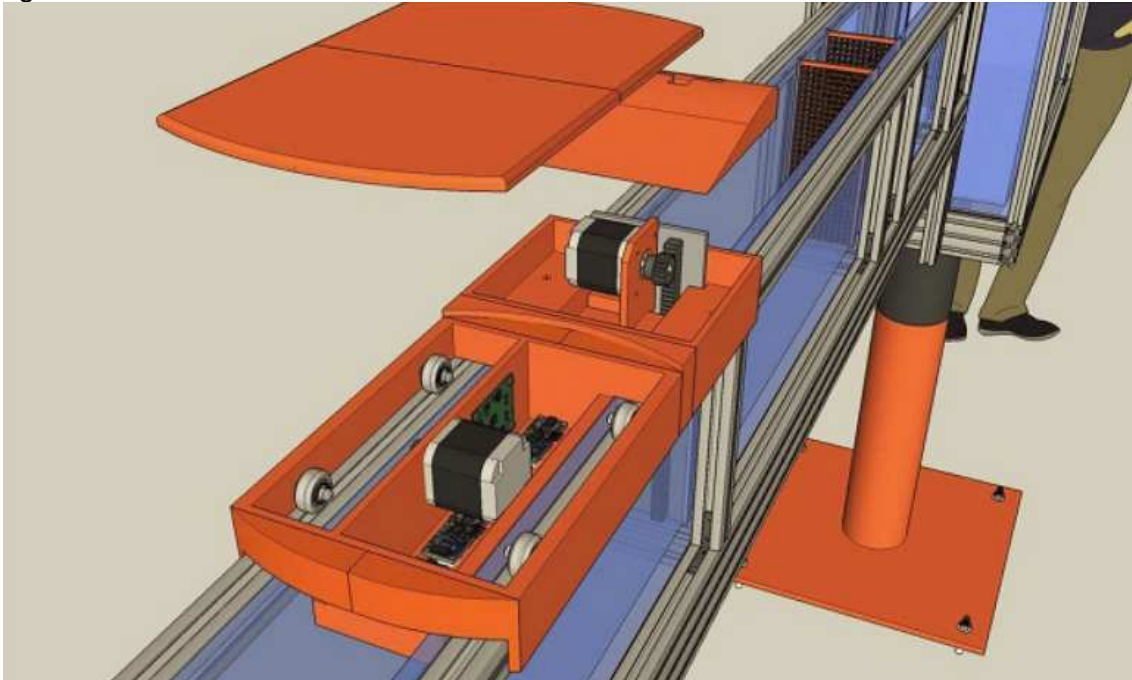
### **Hardware para la parte electrónica del canal**

Esta parte es de gran importancia, ya que se ha tratado de desarrollar sistemas que no sea únicamente válidos para esta instalación sino para otros ensayos e incluso otros laboratorios ya que se plantea como un sistema de adquisición de bajo coste aplicado a distintos tipos de sensores. Sus partes son:

- Raspberry pi 3 para control del sistema de monitorización y acciones sobre los diferentes motores.
- Pantalla táctil, en una tableta para control del sistema.

- Servidor de software, control remoto y cálculo de alta velocidad para determinación de las condiciones del canal necesarias para la actuación en el canal.
- Sensores de proximidad por ultrasonidos para medidas de calado en diferentes puntos del canal
- Optical End Stops para controlar el movimiento de los carros y establecer los ceros de desplazamiento.
- Alimentación a 24V / 14.6ª.
- Motores del tipo NEMA 17.
- Cables especiales, ruedas dentadas y otro material.

Una vista de un prototipo previo de parte de la electrónica canal puede verse en la figura 2



**Figura 2:** Vista del canal con el carro móvil de adquisición de niveles y el motor de elevación de compuertas

## Software

Este apartado, es sin duda el que más horas de trabajo ha requerido y en el que aún estamos trabajando para mejorarlo, no solo por la programación sino también por la validación necesaria. Se ha habilitado un servidor git para control del software. Se ha compartido un espacio de trabajo en Drive y se ha utilizado código abierto para el diseño 3d de los elementos estructurales del canal (sketchUp) y el diseño electrónico (fritzing).

Se han realizado implementaciones de bajo nivel para las comunicaciones en tiempo real del sistema de monitorización y se está trabajando aún en el desarrollo de interfaz gráfica escrita principalmente en Python aunque se combina con HTML, CSS, Php y otros lenguajes de programación en web. Para el cálculo más complejo se utiliza Matlab y Octave como motor de cálculo,

A la finalización, todo el software se compartirá con licencia Creative Commons y se facilitará la colaboración de personas externas al proyecto que mejoren las herramientas inicialmente propuestas o para añadir nuevas funcionalidades al sistema. Se pretende crear una herramienta, no solo se ensayos de laboratorio para los

alumnos de hidráulica sino también un campo de desarrollo para nuevos sistemas de control donde pueden implicarse alumnos de otras Escuelas de nuestra Universidad o de fuera de ella. Entre los trabajos de software se destacan:

- Instalación de los servidores Taiga y Git.
- Instalación de las raspberry pi con los paquetes necesarios para convertirlos en un sistema de adquisición y control de señales. En este apartado se establece el protocolo de comunicación con cada uno de los diferentes tipos de sensores.
- Establecimiento de los protocolos para el almacenamiento de los datos y la comunicación entre las distintas plataformas.
- Diseño conceptual de la plataforma de control de usuario e implementación de la misma para ofrecer una interfaz limpia y sencilla con el que poder manejar las diferentes capacidades del sistema. Todavía se está trabajando en ella.
- Facilitar un acceso de alumnos, con una nueva interfaz de usuario que permite la recogida de datos de medida del ensayo sin poner en peligro la seguridad del sistema. Los datos de la práctica se transmiten a un servidor distinto donde accedan los alumnos de forma remota tras la realización de la práctica para mejorar la seguridad.
- Una parte importante del trabajo actual es la programación en Python, Matlab y Octave del comportamiento hidráulico del canal ante las distintas situaciones que puedan darse en el canal como nivel de apertura de compuertas, caudal circulante, existencia de vertederos, variaciones de pendiente, etc. Actualmente se están analizando las posibles combinaciones para identificar todas aquellas que puedan suponer un riesgo para el adecuado funcionamiento hidráulico de la infraestructura, así como las acciones que se llevarán a cabo ante estas situaciones.
- Programación del sistema de control. Este sistema está actualmente en desarrollo porque se necesitan tener un mayor número de mediciones y casos que puedan darse en el canal para ajustar el funcionamiento final a un único sistema de control. En este proceso se encuentran involucrados muchos de los profesores adscritos al proyecto. Esta pieza clave es posiblemente la parte más invisible de todo el sistema. Se trata de utilizar todos los mecanismos de software y hardware descritos con anterioridad para que el sistema se comporte como se desea.

### 3. Conclusiones

Este ambicioso proyecto ha servido para abrir una puerta en la modernización de las prácticas de laboratorio donde la labor de los propios alumnos implicados ha animado a plantear nuevos retos que mejoren las infraestructuras existentes para la realización de nuevas prácticas.

La creación de un entorno abierto de monitorización de bajo coste, combinando lecturas, actuadores y sistemas de control es una herramienta muy útil dentro de un laboratorio, tanto a nivel docente como de investigación. El almacenamiento de los datos de medida en un servidor web y las herramientas creadas para el acceso conforman un sistema completo que puede ser utilizado para que los alumnos descarguen los datos de medida y contesten a las cuestiones que se les plantean obteniendo la calificación de forma automatizada

Actualmente existe interés en varios TFM de control en aplicar las soluciones propuestas en su redacción al canal de ensayos que puede servir de modelos a escala para prototipos de actuación en escala real. En sucesivos proyectos se espera mejorar esta herramienta depurándola para darla salida a otros laboratorios de dentro y fuera de la UPM.