

# Propuesta de Laboratorio Inteligente Híbrido de Succión Negativa Negative Suction Hybrid Intelligent Laboratory Proposal

Marco Antonio Hernández Vargas<sup>1</sup>, Laura García García<sup>1</sup>, Alberto Martínez Rangel<sup>1</sup>, Francisco Javier Luna Rosas<sup>1</sup>, Julio César Martínez Romo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México - Campus Aguascalientes, Av. Adolfo López Mateos #1801 Ote., Fracc. Bona Gens, Aguascalientes, Ags., 20256. México  
arualgarcia1996@hotmail.com

Fecha de recepción: 28 de diciembre de 2020

Fecha de aceptación: 26 de abril de 2021

**Resumen.** La comunicación, empleando como plataforma de conectividad Internet, ha evolucionado. El Laboratorio Híbrido de Mecánica de Fluidos basado en el Internet de las Cosas, propuesto en este trabajo de investigación, consiste en un prototipo de bajo costo compuesto por un banco de sensores que permite gestionar las principales variables que se usan en el cálculo de la potencia de una bomba en un contexto de succión negativa, tanto de manera real y a distancia (modo remoto), así como de una manera simulada (modo virtual); ambos casos gestionados por una aplicación móvil. Esta propuesta está enfocada para el sector educativo, hacia los alumnos que cursan la asignatura de Mecánica de Fluidos del programa educativo de Ingeniería Mecánica del Instituto Tecnológico de Aguascalientes (ITA) perteneciente al Tecnológico Nacional de México (TecNM). Los cálculos que el alumno realiza dentro de esta asignatura son completamente teóricos y no se logra el aprendizaje significativo.

**Palabras clave:** laboratorio virtual, laboratorio remoto, mecánica de fluidos, Internet de las Cosas, Internet de Todo.

**Summary.** The communication based on Internet as connectivity platform, has. The Hybrid Fluid Mechanic Laboratory based on Internet of Things (IoT) consist in a low cost prototype built of different sensors, that will allow manage the main variables for calculating the power of a negative suction pump, both in real time and remote connection using Internet as a connectivity platform (remote mode), and as a simulated environment (virtual mode) using a mobile application in both cases. As it mentioned above, this proposal will be focused toward an educational environment and specially toward students, who study the fluid mechanic in the Mechanical Engineering at Instituto Tecnológico de Aguascalientes belonging Tecnológico Nacional de Mexico. The calculus, which the student does in that subject, are completely theoretical and the learning is not achieved.

**Keywords:** virtual laboratory, remote laboratory, fluid mechanics, Internet of Things, Internet of Everything.

## 1 Estado del arte

En el mercado existen algunos ejemplos sobre laboratorios virtuales, sin embargo, no existe gran variedad en México. A continuación, se listan algunos ejemplos.

**PID Controller Laboratory.** El propósito de PIDlab es introducir laboratorios virtuales gratuitos (applets de Java) para el ajuste, diseño y aplicación de PID. Con estas herramientas interactivas, puede hacer "ajuste PID en un minuto". Puede aprender mucho sobre el control PID y el autoajuste, el control predictivo y las estructuras y esquemas avanzados de control PID. Los applets se pueden usar para todos los fines educativos, de IDT y comerciales [1].

**Easy Java.** Una simulación informática discreta, o simplemente una simulación informática, es un programa informático que intenta reproducir, con fines pedagógicos o científicos, un fenómeno natural a través de la visualización de los diferentes estados que puede tener. Cada uno de estos estados se describe mediante un conjunto de variables que cambian en el tiempo debido a la iteración de un algoritmo dado [2,3].

En [4], la empresa Ingran engineering ofrece a sus clientes un servicio de telemedida y telecontrol de bombeos de agua en donde por medio de la tecnología GPRS/3G se mandan datos sobre el bombeo de agua a internet. De esta manera los clientes podrán visualizar datos sobre sus sistemas de bombeo, así como también recolectar datos para un futuro análisis para determinar el ahorro o alguna falla en el sistema.

En [5] existe una empresa similar a la anterior "Telemetrik", que se encarga de medir, controlar, monitorear y hacer analítica de recursos hídricos y acueductos. Al igual que la anterior monitorea datos en tiempo real, posee un sistema de alarmas tempranas y realiza analíticas con los datos recabados.

## 2 Problemática a resolver

Los alumnos que cursan la asignatura de Mecánica de Fluidos del programa educativo de Ingeniería Mecánica del Instituto Tecnológico de Aguascalientes realizan cálculos meramente teóricos, y por lo tanto, no se logra un aprendizaje significativo.

La ejecución de ejercicios como estos, en los que simulan la realidad necesitan de un ambiente práctico, debido a que muchas veces los datos teóricos carecen de realismo.

En el ámbito académico, la implementación de soluciones basadas en IoT, juega un papel importante debido a que ayudarán a facilitar el aprendizaje del alumno, provocando un proceso más práctico y real. También el profesor se puede beneficiar facilitando el proceso de enseñanza-aprendizaje.

## 3 Descripción del estudio

En esta sección se describirá la metodología aplicada para el diseño, desarrollo e implementación del prototipo del Laboratorio Híbrido.

### 3.1 Diseño del modelo del prototipo

Se diseñó *el modelo* del prototipo del laboratorio híbrido utilizando los símbolos propuestos en los diagramas de flujo por ISO [6]. La figura 1 muestra los dos modos de funcionamiento del prototipo. Para el acceso “*VIRTUAL*” al laboratorio híbrido, se cuenta con una capa de software de simulación que será la intermediaria para la gestión de las fórmulas de mecánica de fluidos, para la monitorización y control del sistema de bombeo de succión negativa.

Para el acceso “*REMOTO*” al laboratorio híbrido, se tiene la monitorización y control directo de sus distintas variables (temperatura, presión, viscosidad, etc.) a través de un banco de sensores instalados en el prototipo y que serán procesadas bajo el paradigma de computación en la nube (para el almacenamiento de datos estadísticos) y en la niebla.

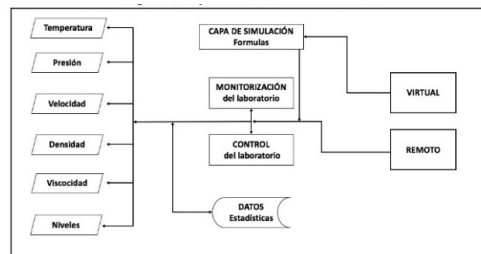


Fig. 1. Modelo del laboratorio virtual híbrido basado en ISO.

### 3.2 Desarrollo del Laboratorio Híbrido

Por otro lado, la figura 2 muestra los elementos importantes que conforman la arquitectura del laboratorio híbrido: computación en la nube, computación en la niebla, IoT y la aplicación móvil.

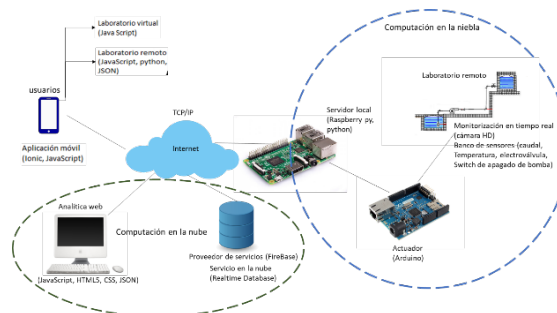


Fig. 2. Arquitectura del Laboratorio Híbrido basado en IoT.

A continuación, se muestran las fórmulas que se han utilizado para calcular la potencia de una bomba en un contexto de succión negativa.

### Potencia de una bomba centrífuga

La ecuación 1 se ha utilizado para realizar el cálculo de la potencia teórica ( $P$ ) en función del peso específico ( $\gamma$  en  $N/m^3$ ), el caudal ( $Q$  en  $m^3/s$ ) y la altura dinámica total de bombeo ( $H$  en  $m$ ):

$$P = \gamma Q H \quad (1)$$

### Potencia real

La ecuación 2 se ha utilizado para el cálculo de la potencia real de una bomba expresada en Watts:

$$Pr = \frac{\gamma Q H M}{\eta} \quad Pr = \left(\frac{m^3}{s}\right) \left(\frac{\frac{Kg \cdot m}{s^2}}{m^3}\right) (m) \text{ Watts} \quad (2)$$

Donde:

$\eta$  = es el rendimiento de la bomba (siempre menor que la unidad).

### Carga o altura dinámica total de bombeo.

La carga o altura dinámica total de bombeo ( $Hb$  en  $m$ ) se puede resolver con la ecuación 3, la ecuación de Bernoulli. En función de la presión ( $P$  en KPa), la velocidad del fluido ( $V$  en  $m/s$ ), la altura ( $Z$  en  $m$ ), la gravedad ( $g$  en  $m/s^2$ ), y las pérdidas por fricción ( $Hf$  en  $m$ ):

$$Hb = \left(\frac{P_2 - P_1}{\gamma}\right) + \left(\frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}\right) + (Z_2 - Z_1) + Hf \quad (3)$$

El uso de la ecuación 4 permitirá desarrollar problemas para calcular la altura dinámica de bombeo de manera más detallada:

$$Hb = (h_d + h_s) + hfs + hfd + \frac{V^2}{2g} + (hrs - hrd) \quad (4)$$

Donde:

$hg = (hd + hs)$  = Altura geométrica entre el nivel inferior y el superior del líquido.

$\sum hf = (hfs + hfd)$  = La sumatoria de todas las pérdidas (tanto en tubería recta como en accesorios) que sufre el fluido entre el nivel de succión y el de descarga.

$V^2/2g$  = Energía dinámica o cinética.

$Hr = (hrs - hrd)$  = Es la presión residual que debe vencer la bomba cuando el fluido llegue a su destino.

## 3.3 Implementación y Resultados

En la figura 3 se muestra el prototipo final del Laboratorio Híbrido que se implementó. Las variables importantes que se han gestionado son la temperatura del líquido (sensor DS18B20) [7], nivel del fluido (sensor ultrasónico hc-sr04) [8] y caudal (sensor YF-S201) [9].

Los datos de la temperatura se utilizaron para conocer la densidad del fluido y a su vez la viscosidad de éste. Los datos que el sensor de temperatura registra en la base de datos en Firebase, se pueden apreciar en la tabla 1.



Fig. 3. Prototipo de un laboratorio remoto de Mecánica de Fluidos.

**Tabla 1.** Temperatura de los recipientes (A.y B).

Recipiente A			Recipiente B		
Temperatura °C	Fecha	Hora 24 h	Temperatura °C	Fecha	Hora 24 h
28.12	18/05/2019	09:12:17	29.88	18/05/2019	09:11:35
27.81	18/05/2019	09:40:48	29.5	18/05/2019	10:42:40
27.75	18/05/2019	10:42:53	29.51	18/05/2019	10:42:46
30.88	18/05/2019	16:02:05	29.5	18/05/2019	10:42:53
22.69	20/05/2019	07:45:39	30.12	20/05/2019	07:45:39
26.75	20/05/2019	09:39:58	30.12	20/05/2019	07:45:53
26.5	20/05/2019	10:43:25	21.62	20/05/2019	09:39:58
26.62	20/05/2019	10:50:51	21.56	20/05/2019	09:40:11
25	30/05/2019	09:22:22	26.69	30/05/2019	09:22:22
25	30/05/2019	09:22:56	26.69	30/05/2019	09:22:56
33.25	30/05/2019	10:23:55	27.15	30/05/2019	10:23:55
30.06	30/05/2019	10:29:22	27.38	30/05/2019	10:25:09

Se utilizó el sensor ultrasónico para poder calcular el volumen de cada recipiente. Este sensor mide distancias, pero con algunos cálculos se pudo determinar el volumen de cada fluido contenido en cada recipiente.

Además, una de las variables más a considerar es el caudal, el cuál determina la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto por una unidad de tiempo. La tabla 2 muestra los valores obtenidos.

Como último elemento físico fue la bomba. A través del uso de relevadores tipo SRD-5VDC y de un Arduino Uno, se han enviado valores digitales vía aplicación móvil a la bomba para su encendido y apagado.

Por otro lado, se diseñó y desarrolló una aplicación móvil ofreciendo una interfaz amigable e intuitiva para el usuario. A través de esta interfaz se podrán manipular los dos modos de funcionamiento del Laboratorio Híbrido, virtual y remoto. En las figuras 4, 5 y 6 se muestra el diseño de la aplicación móvil. Por último, en la figura 7 se muestra la manipulación del encendido y apagado de la bomba.

**Tabla 2.** Valores registrados del caudal de succión.

Caudal L/m	Fecha	Hora 24 h
0.27	18/05/2019	14:26:06
0.135	18/05/2019	14:31:54
11	18/05/2019	09:12:17
14	18/05/2019	09:40:48
0.27	20/05/2019	10:28:18
0.135	20/05/2019	10:29:32
11	20/05/2019	10:32:21
14	20/05/2019	10:36:14
15.67	30/05/2019	09:22:22
16.02	30/05/2019	09:22:56
21	30/05/2019	10:29:22

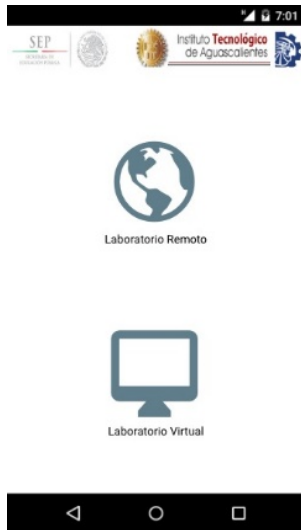


Fig. 4. Vista de inicio de la aplicación móvil.



Fig. 5. Vista en modo virtual de la aplicación.

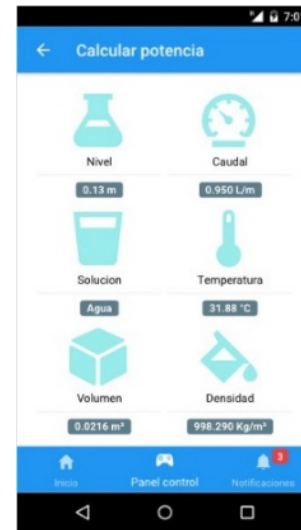


Fig. 6. Vista en modo remoto de la aplicación.

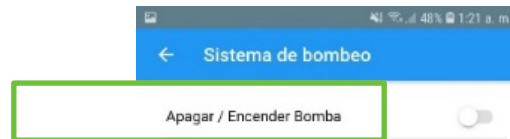


Fig. 7. Botón para encender/apagar la bomba (estado actual de la bomba: apagada).

## 4 Conclusiones

Con base en las ventajas y desventajas de los laboratorios convencionales, virtuales y remotos, se llegó a la conclusión de diseñar un prototipo híbrido, integrando las ventajas de los dos modelos de laboratorios (virtual y remoto), eliminando así el problema de los laboratorios físicos infrutilizados.

Este proyecto no se quedará sólo como un prototipo, el siguiente paso será implementarlo en un ambiente en producción durante las horas de laboratorio de los estudiantes y los profesores, con el objeto de recibir su respectiva retroalimentación y poder contribuir de manera importante en el proceso de enseñanza-aprendizaje significativo. También, uno de los trabajos futuros, será la integración de inteligencia artificial en el laboratorio híbrido.

## Referencias

- [1] Control Laboratory. (s.f.). PID Controller. Obtenido de engineering: <http://engineering.ju.edu.jo/Laboratories/07-PID%20Controller.pdf>
- [2] Medina, A. P., Saba, G. H., Silva, J. H., & de Guevara Durán, E. L. (2011). Los laboratorios virtuales y laboratorios remotos en la enseñanza de la ingeniería. *Revista internacional de educación en Ingeniería*.
- [3] Ejs. (25 de febrero de 2018). EjsWiki: Easy Java. Obtenido de Easy Java: <https://www.um.es/fem/EjsWiki/?userlang=es>
- [4] ingran. (2016). <https://ingran.es/agricultura/>. Obtenido de ingran.es.
- [5] Telemetrik. (2020). Obtenido de Telemetrik.co: <https://telemetrik.co/>
- [6] Cisco. (Diciembre de 2018). *Introducción a Internet de todo*. Obtenido de la Academia de Interconexión de Redes, Cisco Networking Academy, netacad: <https://www.netacad.com>.
- [7] Dallas semiconductor. (s.f.). *DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire® Digital Thermometer*. Obtenido de cdn.sparkfun.com: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temp/DS18B20.pdf>

- [8] leantec. (Junio de 2019). *HC-SR04*. Obtenido de leantec.es: <https://leantec.es/wp-content/uploads/2019/06/Leantec.ES-HC-SR04.pdf>
- [9] mantec.co.za. (s.f.). *Model: YF-S201*. Obtenido de mantec.co.za: [http://www.mantech.co.za/Datasheets/Products/YF-S201\\_SEA.pdf](http://www.mantech.co.za/Datasheets/Products/YF-S201_SEA.pdf)