

## **Estrategia, para la enseñanza de ingeniería de medición**

Yordy González <sup>1</sup>, Mariela Oliveros y José Guzmán

<sup>1</sup>Centro de Termofluidodinámica y Mantenimiento (CTYM). Universidad de Oriente, Puerto La Cruz, Venezuela. E-mail: [yagonzalez@udo.edu.ve](mailto:yagonzalez@udo.edu.ve), [yordygonzalez@hotmail.com](mailto:yordygonzalez@hotmail.com).

**Resumen:** En el siguiente trabajo se presenta la estrategia que se ha tomado en la Universidad de Oriente para enseñar la asignatura Ingeniería de Medición pese al desuso de los prototipos de laboratorios en la carrera de Ingeniería Mecánica. La metodología consiste en fortalecer los conocimientos teóricos con experiencia práctica utilizando un prototipo de laboratorio que se encuentra fuera de operación, para esto el estudiante tiene el reto de colocar en funcionamiento el equipo. Para cumplir con el objetivo el alumno debe estudiar el funcionamiento de la máquina, luego debe evaluar el estado de cada uno de los componentes que integran el equipo, posteriormente ejecuta acciones de calibración a cada uno de los sensores de medición para proceder a acoplar cada uno de estos con un sistema de adquisición de datos desarrollado por González (2007), finalmente debe desarrollar la interfaz gráfica aplicando la herramienta LabVIEW 8.20 con la que se observa las curvas de funcionamiento del prototipo.

**Palabras clave:** Enseñanza, ingeniería de medición, informática.

**Title:** Estrategy, for engineering measurement teaching.

**Abstract:** In this paper it is presented the strategy that it is used at Universidad de Oriente (UDO) for teaching of Measurement Engineering course despite non-use of laboratory measurement instruments in Mechanical Engineering career. The methodology consists of strengthen the theoretical knowledge with practical experience using very old laboratory prototypes in computing nonoperating; for this, the student is challenged to put the unit into operation. To achieve the objective, the student should also study the operation of the machine, then must evaluate the status of each of the components that integrate the equipment, after that, must execute actions calibration to each sensor measurement proceeding to connect these sensors to a system data acquisition developed by Gonzalez (2007). Finally, it is required to develop a graphic interface using LabVIEW 8.20 (a computing program) where it can generate performance curves of the prototype.

**Palabras clave:** Teaching, Measuremnte Engineering, computing.

### **1. Introducción**

Una estrategia es un conjunto de acciones planificadas sistemáticamente en el tiempo que se llevan a cabo para lograr un determinado fin o misión. En el área educativa se hace referencia a un conjunto de actividades diseñadas para lograr de forma eficaz y eficiente la consecución de los objetivos educativos esperados. Desde el enfoque constructivista esto consiste en el desarrollo de competencias

por parte de los estudiantes, que puede ser realizado tanto por el docente como por el estudiante, y pueden retroalimentarse mutuamente.

Estas son acciones que el docente debe considerar para lograr que el proceso enseñanza – aprendizaje cumpla con los objetivos propuestos en una cátedra. Está claro que quien dirige la educación de un grupo debe visualizar la manera fácil de inculcar los conocimientos, y esto puede lograrse, siempre que sea posible, incluir como estrategia métodos prácticos para entender los conocimientos teóricos.

Muchas cátedras de ingeniería no incluyen en su contenido programático prácticas de laboratorio, o más aun, en el pensum de la carrera no se prevé este tipo de experiencia; bajo estas circunstancias en esta investigación se presenta una estrategia para facilitar la enseñanza que contempla la restitución de equipos de laboratorios en desuso.

El Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Oriente ha adquirido hace mucho más de 20 años equipos para la dotación de laboratorios que para la actualidad en gran cantidad de ellos los programas informáticos están obsoletos y no permiten al estudiante estar en la vanguardia sobre el manejo de los paquetes de programas que están en la cúspide por los avances tecnológicos, adicionalmente a esto, parte de los sistemas de comunicación se encuentran deteriorados. Dada esta problemática en la cátedra Ingeniería de Medición docente y estudiantes toman la estrategia de utilizar un nuevo sistema de adquisición de datos y sustituir la informática (el software de interacción operador – máquina) en un banco de pruebas de una turbina de reacción con la idea de diseñar una metodología que facilite el aprendizaje de la asignatura de ingeniería de medición de manera práctica. Es decir, con esto se busca que el estudiante fortalezca el conocimiento teórico mediante la manipulación, la interacción con los sensores de medición, el estudio de la forma de transmitir las señales de los instrumentos, conociendo la conversión de señales analógicas a digital, y finalmente programando la interfaz máquina – hombre utilizando un software similar a los manejados en el sector industrial.

## **2. Metodología para el aprendizaje**

Como ya se explicó se desarrolla una metodología con la que se pretende facilitar de manera práctica el aprendizaje de la cátedra Ingeniería de Medición utilizando un prototipo de laboratorio que presenta obsolescencia y deterioro. Para esta investigación la metodología es aplicada a un banco de pruebas de una turbina hidráulica. Los pasos a seguir por los estudiantes deben ser en estricto orden tal como se presenta en la siguiente propuesta.

### *2.1. Conocer el prototipo*

A pesar que no es de interés en la asignatura Ingeniería de Medición evaluar el comportamiento de una turbina hidráulica, es de gran utilidad conocer los instrumentos que en estos se utilizan para determinar una medida. Para hacer uso de la turbina hidráulica se recomienda en primer lugar considerar las sugerencias del profesor de la cátedra, quien hará una valoración del contenido programático de la asignatura medición con los componentes que integran al prototipo.

En la práctica el profesor de la cátedra da a conocer la turbina hidráulica resaltando las siguientes características:

- La turbina hidráulica es un equipo de interés para la formación del ingeniero mecánico.
- El prototipo ARMIFIELD FM-31 de una turbina de reacción consta de instrumentos de medición de caudal, presión, velocidad angular y fuerza. Todos estos son indispensable su estudio en la cátedra de Ingeniería de Medición.
- Todos los instrumentos de medición que integran al prototipo aquí estudiado generan como señal de salida voltaje, siendo un requisito para su conversión en señal digital.
- Las ecuaciones a utilizar en el estudio del prototipo FM-31 están contempladas en asignaturas previas a la cátedra Ingeniería de Medición lo que facilita el aprendizaje y la aplicación de la metodología aquí propuesta.

## 2.2. Evaluar el banco de pruebas ARMFIELD FM-31

En esta experiencia se estudia la turbina hidráulica de reacción marca ARMFIELD modelo FM-31 y la unidad de servicio FM3SU, juntos conforman el banco de pruebas de turbinas que se muestra en la figura 1. En esta oportunidad el estudiante deberá describir el prototipo siguiendo el manual del fabricante (Armfield, 2007) y hace una revisión detallada de sus condiciones actuales para que descarte el deterioro de alguno de sus componentes, y si es necesario, realice bajo la supervisión del profesor las reparaciones o ajustes necesarios.



Figura 1. Banco de pruebas FM-31

En la descripción se resalta que la unidad de servicio FM3SU consta de un depósito de acrílico transparente al que se le añade agua, su principal función es almacenar y suplir de fluido a la bomba de circulación. La circulación del agua es proporcionada por una bomba centrífuga de una sola etapa, impulsado por un motor eléctrico integrado. La tubería de succión de la bomba contiene una placa de orificio para la medición de caudal y a la descarga de la bomba incorpora una válvula de corte de fluido a la tubería de entrada de la turbina.

Por otra parte se conoce que la unidad de demostración Armfield FM-31 consta de una turbina de reacción de flujo radial, montado sobre un eje horizontal con un protector antisalpicaduras transparente de material acrílico, que permite la máxima visibilidad del mecanismo y de su funcionamiento con los controles adecuados y los sensores. Los estudiantes manipulan el rotor de la turbina, y

observan que el agua entra al rotor a través de conductos de pasos fijos y se descarga tangencialmente a través de dos orificios.

Conocida la turbina de reacción, posteriormente el estudiante hace una valoración de los sistemas de medición que incorpora la unidad para el análisis del banco de pruebas. Entre los sensores se tiene el sensor de presión diferencial SPW1, sensor de presión SPH2, sensor de velocidad angular SSO2, y el sensor de fuerza SRL1. Adicionalmente se conocen los acondicionadores de señales que son acoplados a los sensores de medición, que tienen la función de disminuir el ruido y adaptar las señales a una tarjeta de adquisición de datos conectada a un computador. Es aquí, donde los alumnos determinan que el Sistema de Adquisición de Datos de la marca Armfield se encuentra dañada, por tal razón, surge como estrategia de aprendizaje sustituirlo por un nuevo Sistema de Adquisición de Datos disponible en la asignatura Ingeniería de Medición, desarrollado por González (2007). Para su uso, el profesor hace una breve descripción del mismo, donde especifica que el SAD consta de una tarjeta de adquisición de datos de la *National Instruments* (modelo NI-6009 USB), montada en un módulo que contiene una fuente de alimentación eléctrica de +12 voltios y -12 voltios con un común de 0 voltios, además de 4 conectores RJ-11 (tipo hembra) que conectan, mediante cable telefónico (conectores RJ-11 tipo macho), los acondicionadores de señal del banco de pruebas con la tarjeta, que a su vez se conecta al computador a través de un puerto USB.

Luego de estudiada la turbina y el sistema de medición, se procede a la inspección general de las conexiones que integran el prototipo. Entre éstas se tienen las mangueras de toma de datos para descartar taponamiento por las impurezas contenidas en el agua. Todos los demás componentes (bomba centrífuga, válvula a la entrada de la turbina, depósito acrílico, entre otros) del banco de pruebas son revisados y probados para certificar su buen funcionamiento y asegurar que no influyan en la inoperatividad del equipo.

### *2.3. Adaptar los sensores al SAD*

Esta etapa es de gran importancia por la variedad de sensores en el banco de pruebas, el estudiante adquiere un amplio conocimiento en la utilización de cada uno de ellos y hace una valoración en el buen uso de los patrones de medidas. Aunado a esto el estudiante debe describir las ecuaciones y gráficas que rigen el comportamiento de los instrumentos de medición, que serán utilizados en la etapa de sustitución de la informática por obsolescencia.

Para lograr conectar los sensores/acondicionadores de señales a la tarjeta de adquisición de datos (ver figura 2), el estudiante sustituye de los conectores originales de los acondicionadores de señales por conectores compatibles con el nuevo SAD desarrollado por González (2007). Para esto se realiza un estudio del voltaje de alimentación y de las señales de entrada y salida en cada uno de los acondicionadores, siguiendo la normalización de las líneas de transmisión de señales explicadas previamente en la cátedra de medición.

Se cambian los conectores originales de los acondicionadores de señales por conectores tipo RJ-11 (hembra), fijando mediante soldadura blanda (estaño) cada uno de los hilos en su lugar correspondiente en la tarjeta del acondicionador. Los conectores son fijados a las bases de los ya existentes usando herramientas de ajuste y pegamento plástico. Del mismo modo se construyen 4 cables para conectar cada uno de los acondicionadores a la tarjeta (cada cable de dos metros y medio; 2,5 m aproximadamente).

Luego de modificar las conexiones de los acondicionadores el estudiante hace un estudio de los voltajes de salida de cada sensor para iniciar el proceso de calibración. Con un osciloscopio (Instek OS-9020P, 20 MHz) y un multímetro digital se registran los rangos de voltaje arrojados por cada uno de ellos. También se utilizan instrumentos de medición como: manómetros de mercurio y estroboscopio con el objeto de hacer las mediciones de presión y velocidad angular respectivamente.

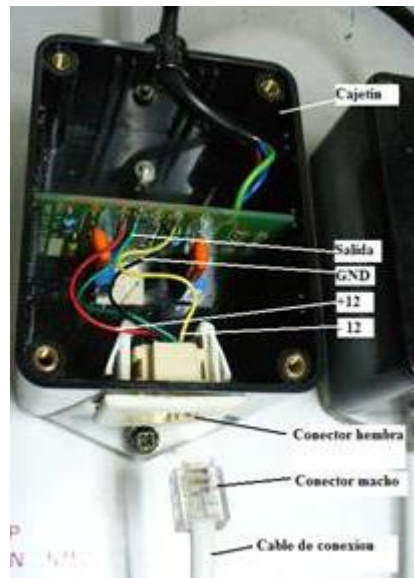


Figura 2. Sensor/acondicionador de señales con nuevos conectores

Para determinar el rango de voltaje de cada sensor/acondicionador, estos se conectan a través del cable telefónico a una fuente de voltaje (alterna) que suministra a los sensores de +12 y -12 voltios, luego con una de las puntas del osciloscopio, se conecta a tierra a la fuente de voltaje y se adapta a la señal de salida del acondicionador, y con la otra punta se hace contacto en la señal de salida del sensor pudiéndose observar simultáneamente en el osciloscopio el voltaje de salida del sensor/acondicionador al poner en funcionamiento el banco de prueba en sus condiciones máximas y mínimas de capacidad.

### *2.3.1. Sensor de presión de entrada SPH2*

El sensor SPH2 mide la presión a la entrada de la turbina, que sirve para calcular la altura y potencia hidráulica. Éste se encuentra conectado a un acondicionador que amplifica y elimina el ruido de la señal que entra a la tarjeta de adquisición de datos, para luego mostrar la información en unidades de kPa en un computador.

El estudiante procede a realizar el proceso de calibración al sensor de presión, con la ayuda de un multímetro y un osciloscopio podrá medir los rangos de voltajes. Se utiliza un manómetro del tipo de Bourdon graduado a una escala en psi como elemento patrón, éste se conecta a la entrada de la turbina en un punto de toma directa en la tubería. Posteriormente con el equipo en operación, se va variando el caudal a través de distintas aperturas de la válvula que regula el flujo a la entrada de la turbina para poder observar cambios en los valores detectados por el sensor. Finalmente, los datos obtenidos (voltaje a la salida del sensor/acondicionador y la presión registrada por el Bourdon) se tabulan tal como se muestran en la tabla 1.

Con estos valores y a través del método gráfico el estudiante determina que el sensor tiene una tendencia lineal tal como se muestra en la figura 3, donde se grafican los valores de presiones registradas en el banco de pruebas en función de los voltajes y la ecuación que rige este comportamiento. Se observa que el valor de  $R^2$  tiende a 1 (específicamente  $R^2 = 0,9971$ ) lo que comprueba la linealidad del sensor.

Voltaje de salida del acondicionador (V)	Presión de entrada (kPa)
0	0
2,44	135,40
3,58	199,95
3,83	213,74
3,93	220,63
4,01	234,42
4,01	234,42

Tabla 1. Muestras de medición del sensor de presión SPH2

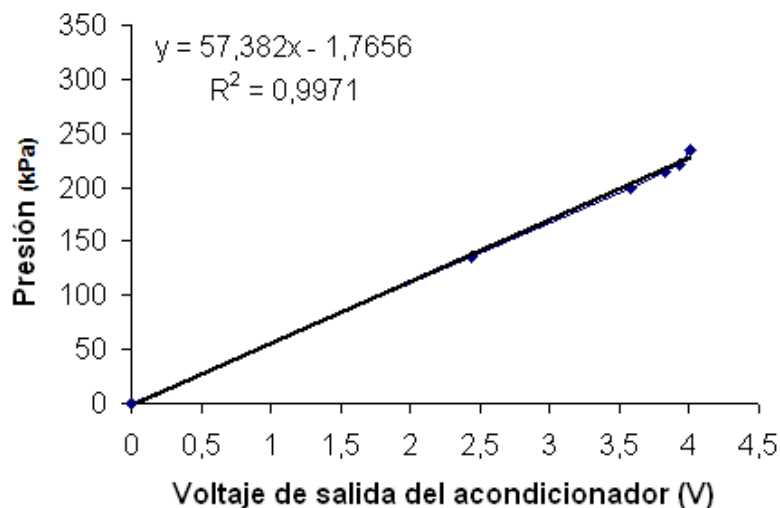


Figura 3. Gráfica de la variación de presión en función a la salida del acondicionador

### 2.3.2. Sensor de velocidad de rotación SSO2

La velocidad de rotación de la turbina de reacción se mide a través de un sensor óptico SSO2 que expresa dicha velocidad en forma de tren de pulsos cuya frecuencia representa las revoluciones por segundos, a su vez, envía la señal al acondicionador y éste a la tarjeta de adquisición de datos, para luego ser mostrada en unidades de Hertz en el computador.

La calibración se determina del mismo modo que en la experiencia anterior, pero con la diferencia que el instrumento patrón es una lámpara estroboscópica. En la figura 4 se muestra la linealidad de la salida del acondicionador respecto a la velocidad de rotación ( $R^2 = 0,9999$ ). En el procedimiento el estudiante debe aplicar una fuerza de frenado mediante un sistema tensor lo que permite variar la velocidad y por ende el voltaje de salida del acondicionador. También se obtiene la ecuación que rige este comportamiento, que va a permitir determinar la conversión de voltaje que entra a la tarjeta de adquisición de datos y que va a

ser transformada a unidades de velocidad de la turbina (Hz) para ser mostrado en un PC.

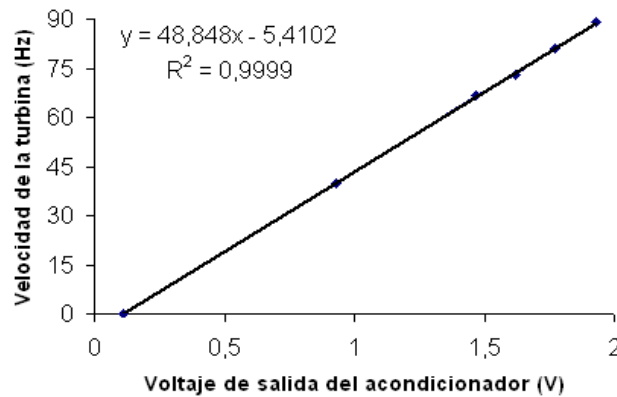


Figura 4. Relación de conversión del sensor de velocidad angular

### 2.3.3. Sensor de carga de freno SLR1

La fuerza de frenado aplicada en el sistema tensor es medida mediante el sensor SLR1, ésta posee una galga extensiométrica que mide la deformación de un brazo, cuando pasa por el tensor que está conectado a la banda del eje del rotor. Dicho sensor genera como señal de salida voltaje, a su vez enviada al acondicionador para la interconexión con la tarjeta de adquisición de datos para luego ser mostrada en un computador en newton. En esta experiencia, el estudiante utiliza un dinamómetro (como elemento patrón) para medir la fuerza aplicada al freno en función del desplazamiento, al igual que los sensores anteriores. También se utiliza el osciloscopio y el multímetro para medir los voltajes.

La curva del sensor de carga de freno, al igual que los sensores antes descritos, presenta un comportamiento lineal ( $R^2 = 0,9988$ ) entre el voltaje medido a la salida del acondicionador y la fuerza aplicada (ver figura 5). También se muestra la ecuación que determina la salida del acondicionador de carga (en voltios) cuando se producen variaciones en la fuerza aplicada al eje de la turbina a través de las poleas conectadas a la misma.

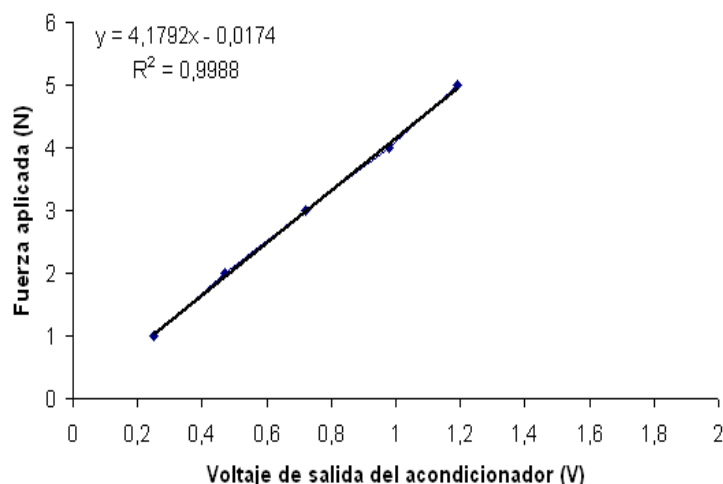


Figura 5. Relación de conversión del sensor de carga de freno



#### 2.3.4. Sensor de caudal de placa – orificio SPW1

El sensor SPW1 consta de una placa de orificio que genera una caída de presión para determinar el flujo de agua que se inyecta a la turbina y la potencia hidráulica de la misma. Las tomas de presión de la placa orificio es conectado a un elemento sensor que genera un voltaje como señal de salida, que luego entra al acondicionador y posteriormente a la tarjeta de adquisición de datos, para ser mostrada en el computador en unidades de kPa.

Para la obtención de los valores del sensor SPW1, al igual que para los sensores anteriores, también se utiliza el osciloscopio y el multímetro para medir los voltajes, aunado a esto se requiere de un instrumento de medición de presión (manómetro de mercurio) a fin de medir las presiones correspondientes a dichos voltajes para su calibración (Ver figura 6). En esta metodología el estudiante verifica la linealidad del acondicionador y el instrumento patrón ( $R^2 = 0,9942$ ).

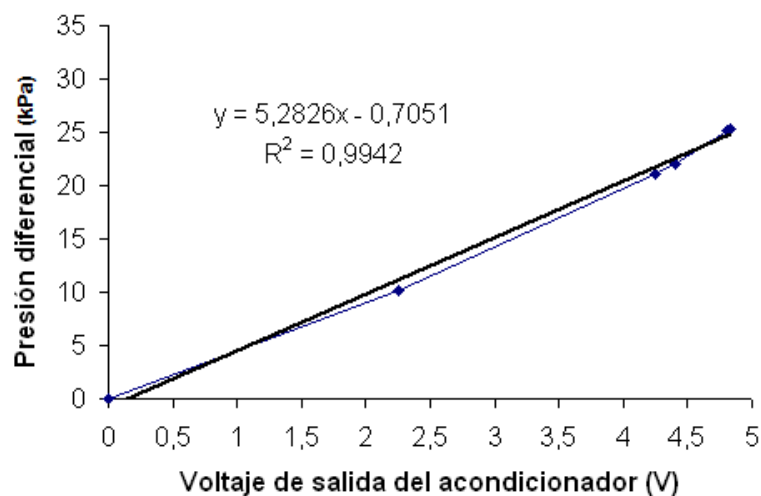


Figura 6. Variación de presión en función a los voltajes de salida del acondicionador SPW1

#### 2.4. Diseñar la interfaz hombre - máquina

Luego de integrar el SAD con los sensores del banco de pruebas, aquí se plantea la sustitución del software en obsolescencia por otro con características vanguardista, para su selección el estudiante hace una revisión exhaustiva de los programas que para la actualidad son de aplicación en investigación y similares a los utilizados a nivel industrial, además, debe ser fácil de manipular y permitir la modificación de la programación; como también fácil acceso a nivel de costos.

Una vez seleccionado, el nuevo software se instala en un computador para proceder a verificar la compatibilidad entre el SAD y el PC. Posteriormente se desarrolla la programación que permite interactuar al estudiante con la máquina, para esto se utilizan los datos obtenidos en la fase de calibración, de ellos depende que en el PC se observe el comportamiento que describe la máquina al ser manipulado. Este comportamiento podrá ser visto en forma gráfica, y con valores numéricos para que el estudiante desarrolle y aplique las ecuaciones que rigen a una turbina hidráulica.

El software utilizado por los estudiantes en la asignatura ingeniería de medición es el LabVIEW 8.20, su programación inicia en el panel frontal (ver figura 7), que es la parte interactiva con el usuario, es el primer paso para



empezar a programar, en el se diseñan todos los elementos que forman el banco de pruebas y los indicadores de medición.

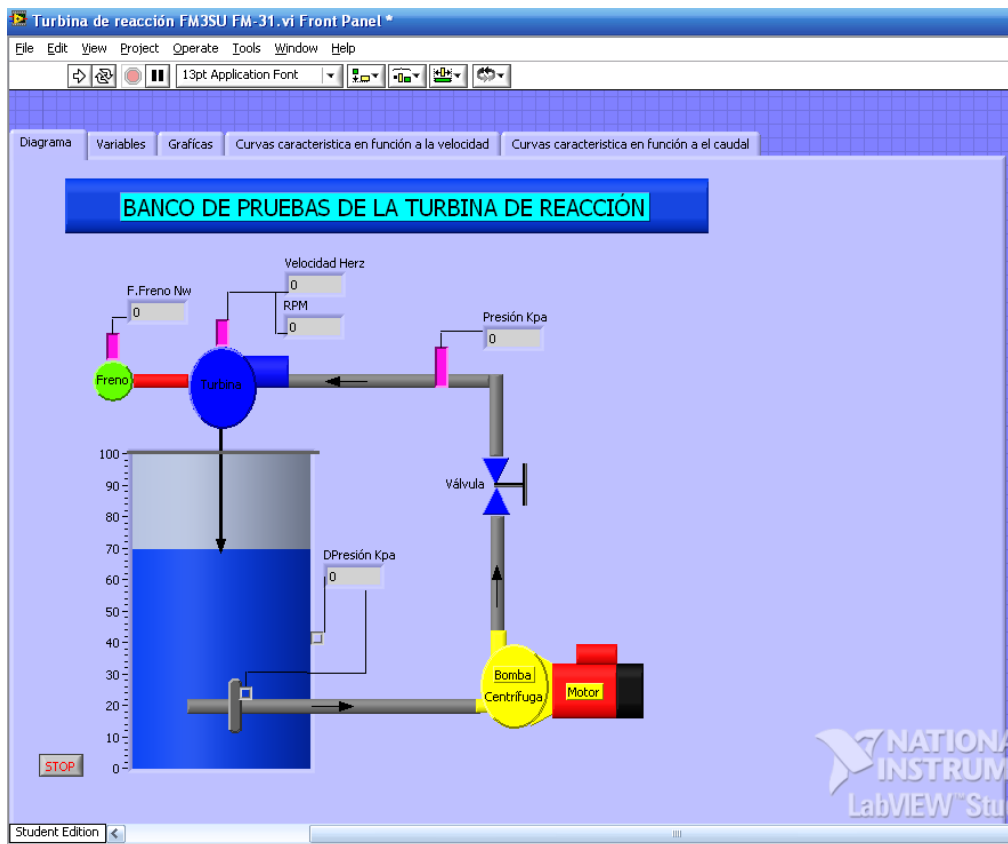


Figura 7. Panel frontal de la turbina hidráulica FM-31

Seguidamente el estudiante desarrolla el diagrama de bloques (Ver figura 8), allí se realiza la implementación del programa del VI para controlar o realizar cualquier procesado de las entradas y salidas que se crearon en el panel frontal. El programa requiere identificar el canal de entrada de cada uno de los sensores de medición, y el tipo de señal que entra. Esto se logra a través del bloque DAQ Assistant donde se selecciona la variable correspondiente a cada canal en el módulo de adquisición de datos. La señal que se transmite desde la tarjeta de adquisición de datos se lleva a las unidades correspondientes de cada variable, aplicando las ecuaciones matemáticas que se determinaron en el proceso de calibración.

Culminado la programación de conversión de las señales, se emplea al final de cada ecuación el indicador numérico correspondiente a cada variable, que ya fue establecido en el panel frontal y automáticamente registrado en el diagrama de bloques, de manera tal que puedan observarse los valores de las variables durante el funcionamiento del equipo.

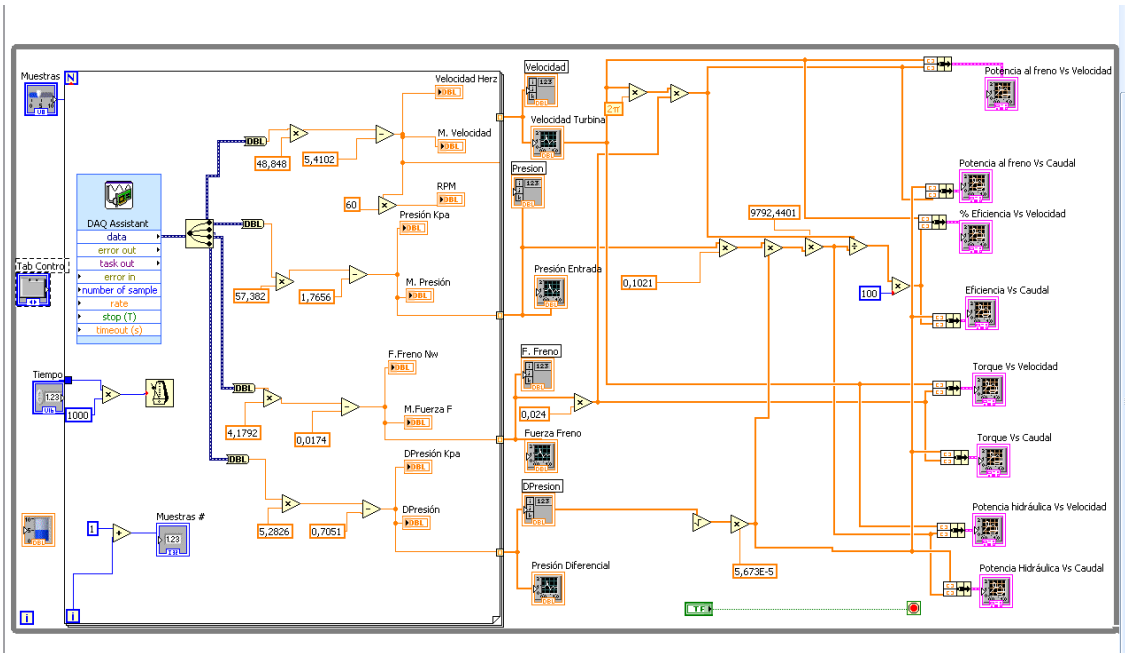


Figura 8. Diagrama de bloque del banco de pruebas FM-31

Ahora el estudiante inicia la incorporación de las ecuaciones que rigen el comportamiento de una turbina hidráulica. La primera es la línea de diferencial de presión correspondiente al caudal que circula por el sistema:

$$Q = \frac{C_d \pi d^2 \sqrt{(2\rho dp_o)}}{4\rho} \quad (1)$$

donde  $C_d$  es 0,63;  $d$  es 0,009 m;  $\rho$  es 998,21 kg/m<sup>3</sup> y  $dp_o$  es el diferencial de presión en la placa orificio, [Pa].

Es importante señalar que la densidad del líquido varía muy poco en función a la temperatura y considerando que la duración de la prueba con el banco FM-31 es por lo general algo rápido, y de esta forma no hay cambios considerables de temperatura en el fluido, la variación de la densidad es despreciable y por ende se considera constante.

La segunda línea corresponde a la señal de fuerza que relaciona a la ecuación 2 correspondiente al torque aplicado a la polea, esta nueva línea del torque es llevado conjuntamente con una toma de velocidad a un clúster y éste las envía al ícono gráfico perteneciente al torque en función a la velocidad para ser mostrada en el panel frontal:

$$T = F_b r \quad (2)$$

donde  $r$  es el radio de la polea 0,024 m y  $F_b$ : es la Fuerza de frenado [N].

La tercera línea incorpora la línea de la señal de velocidad, donde el torque es suministrado de la línea ya programada, para determinar la potencia de freno de la turbina (ecuación 3). La línea de velocidad es llevada a un clúster que une las señales y las envía al ícono gráfico correspondiente a la potencia en función a la velocidad para ser mostrada en el panel frontal:

$$P_b = 2\pi NT \quad (3)$$

donde  $P_b$ : es la Potencia al freno [W];  $N$  es la Velocidad angular del rotor [Hz] y  $T$  es el Torque [Nm].

La ecuación 4, corresponde a la altura hidráulica, se incorpora a la línea de señal de presión a la entrada de la turbina:

$$H = \frac{P_1}{g\rho} \quad (4)$$

donde  $H$  es Altura hidráulica [m];  $P_1$  Es la presión de entrada a la turbina [Pa];  $\rho$  es la densidad del agua a temperatura ambiente [ $998,21 \text{ kg/m}^3$ ] y  $g$  es la aceleración de gravedad [ $9,81 \text{ m/s}^2$ ].

Del mismo modo se programa la ecuación 5 perteneciente a la potencia hidráulica y la ecuación 6 correspondiente a la eficiencia de la turbina. El caudal y la altura hidráulica son tomadas de las líneas ya programadas, al igual que la línea de potencia al freno. Esta nueva línea de eficiencia es llevada también a un clúster y a su vez enviada a la gráfica correspondiente a la eficiencia en función a la velocidad.

$$P_h = Q_v H g \rho \quad (5)$$

donde  $P_h$  es la Potencia hidráulica [W];  $\rho$  es  $998,21 \text{ kg/m}^3$ ;  $g$  es  $9,81 \text{ m/s}^2$ ;  $Q_v$  y  $H$  son variables programadas en el sistema

$$E = \frac{P_b}{P_h} 100 \% \quad (6)$$

De la misma manera que se generaron las gráficas mencionadas anteriormente, el estudiante puede repetir la experiencia determinando la de potencia al freno, potencia hidráulica, torque y eficiencia; todas con respecto al caudal.

## *2.5. Resultados*

Una vez finalizada la automatización del banco de pruebas de la turbina de reacción FM-31, se procede a realizar una práctica para obtener los valores de las distintas variables (velocidad, torque, presión de entrada y diferencial de depresión en la placa orificio). El procedimiento consiste en manipular el tornillo de tensión (el freno) de la turbina, aumentado el freno con pequeños giros de tensión hasta lograr obtener 15 muestras. Cada giro se efectúa en un tiempo de 3 segundos, y se considera suficiente para lograr la estabilidad del Sistema de Adquisición de Datos en vista que este posee un compilador gráfico que permite la máxima velocidad de ejecución de las mediciones (1000 muestras/segundos). Para comprobar la estabilidad se realizaron varias pruebas manteniendo los mismos parámetros. Finalmente se hace una valoración de las gráficas y datos arrojados por el software, esto permite que el estudiante verifique si la información obtenida en la etapa de calibración fueron los mejores resultados.

### *2.5.1. Curva de torque-velocidad de la turbina*

En la figura 9 se muestra el comportamiento del torque en función a la velocidad manteniendo el flujo constante y variando la fuerza del freno, en ella se observa una línea descendente que al aumentar la velocidad el torque disminuye; para este caso el comportamiento es el esperado debido a que teóricamente a medida que la fuerza al freno aumenta el torque se hace mayor y la velocidad disminuye considerablemente.

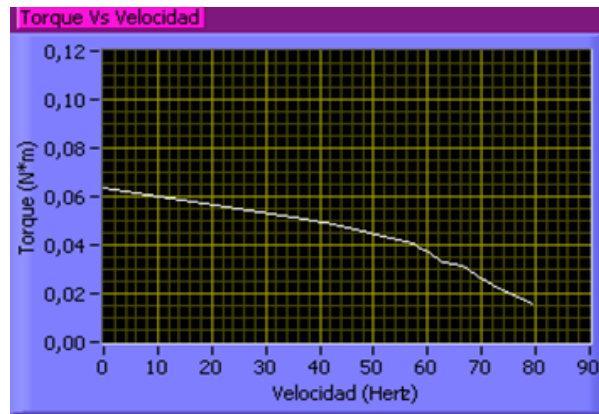


Figura 9. Curva Torque-Velocidad de la turbina

### 2.5.2. Curva de potencia al freno-velocidad de la turbina

En la figura 10 se presenta el comportamiento de la potencia al freno con respecto a la velocidad variando el freno, en ella se observó una curva casi parabólica con un valor máximo de 14,26 W y corresponde al rendimiento óptimo de la turbina, estando la turbina sometida únicamente al freno impuesto por las resistencias pasivas tanto mecánica como hidráulica. Se puede decir que el freno simula la demanda de energía eléctrica de los consumidores ya que el aumento de la fuerza del freno representa el requerimiento de mayor energía donde se debe aumentar la potencia de la turbina.

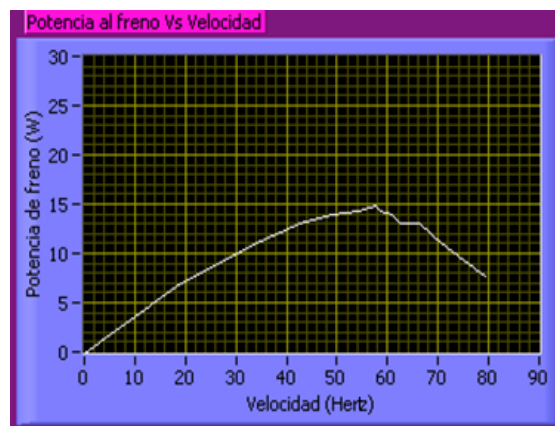


Figura 10. Curva Potencia al Freno-Velocidad de la turbina

### 2.5.3. Curva de potencia hidráulica-velocidad de la turbina

En la figura 11 se observa que la potencia hidráulica presenta pequeñas variaciones que puede ser considerado a posibles ruidos absorbidos por el medidor de flujo en el momento de la práctica. Es decir, la velocidad no afecta a la potencia hidráulica el único factor que la afecta es el caudal ya que esta variable es independiente de la misma y en este caso en la práctica se mantiene constante. Sin embargo la gráfica se considera constante al variar la velocidad; el comportamiento ideal para la potencia debe ser una línea recta horizontal que tiende a ser constante.

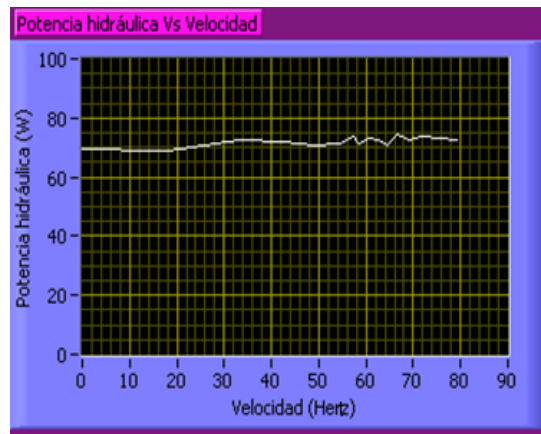


Figura 11. Curva Potencia Hidráulica-Velocidad de la turbina

#### 2.5.4. Curva de eficiencia-velocidad de la turbina

En la figura 12 se muestra la curva que representa la eficiencia de la turbina en función a la velocidad de rotación, en ella se observa que la eficiencia empieza a incrementarse, luego entre 54,25 y 58,48 Hz la eficiencia se mantiene constante y finalmente disminuye. El incremento de la eficiencia se debe a que el rendimiento de la turbina es directamente proporcional a la carga aplicada y a la velocidad ejercida en ella; el rango donde se mantiene constante la eficiencia indica que este tipo de turbina posee mayor rendimiento por su forma plana al transcurrir el tiempo, la disminución de la eficiencia es causada por incremento de la fuerza de frenado y llega a un punto donde es máxima, es allí donde la velocidad se anula al par útil pues la energía extraída del chorro se invierte en las pérdidas mecánicas. También se puede determinar a través de esta gráfica a qué carga aplicada la turbina ejerce una máxima eficiencia en este caso la turbina para una carga de 1,61764 N posee una eficiencia máxima de aproximadamente 20 %.

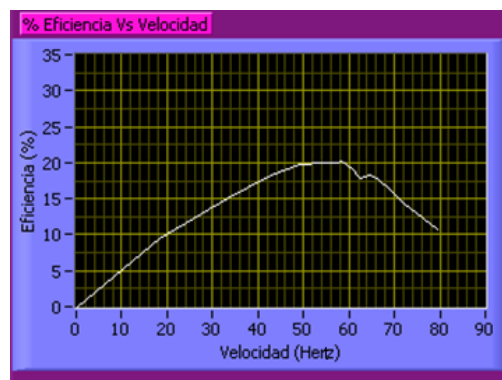


Figura 12. Curva Eficiencia -Velocidad de la turbina

### 3. Conclusiones

La estrategia desarrollada en esta investigación facilitó la enseñanza de la cátedra de ingeniería de medición, mostrándose por parte del alumnado gran motivación en la medida de ser capaces de poner en funcionamiento una unidad deteriorada y en obsolescencia, lo que se traduce en grandes beneficios para la educación. Como resultado de la aplicación del prototipo de la turbina de

reacción, se adquirieron conocimientos y experiencia que abarcan los siguientes tópicos:

- La evaluación del banco de pruebas ARMFIELD FM-31 y la unidad de servicio FM3SU permite conocer las condiciones de funcionamiento de un equipo e inculca destreza al integrar un sistema de adquisición de datos a un conjunto de sensores de medición.
- La verificación del funcionamiento de los sensores y acondicionadores de señales de un sistema de medición permite al estudiante conocer y medir las señales de alimentación, señales de salida, operatividad y rango de medición. Aunado a esto fortalece los conocimientos sobre un proceso de calibración.
- El diseño del entorno gráfico del banco de pruebas a través del software LabVIEW genera un gran interés por parte del programador ante la obsolescencia del mismo. En esta experiencia se conoce la interacción entre una máquina y un computador.
- La comparación de las curvas características de la turbina hidráulica de manera experimental con las descritas por documentos teóricos (Lamadrid, 1986), genera ambición por demostrar otras teorías y hasta expande el abanico por generar investigación.

#### **4. Referencias bibliográficas**

Amendola, L. (1999). *Instrumentación industrial*. Barcelona: Universidad de Oriente, Núcleo Anzoátegui.

Armfield (2007). *Manual de instrucciones FM31* (unidad de demostración de una turbina).

Bigg, J. B. (2005). *Calidad del aprendizaje universitario*. Madrid: Narcea.

Creswell, J. (1994). El procedimiento cualitativo. *Diseño de investigación. Aproximaciones cuantitativas y cualitativas*. Argentina: Universidad de Buenos Aires. (Recuperado: <http://www.catedras.fsoc.uba.ar/biblio/1.2> Creswell. A).

Creus, A. (1989). *Instrumentación industrial*. México: Editorial Alfa Omega, S. A.

De Miguel, M. (2006). *Metodología de la enseñanza aprendizaje para el desarrollo de competencias*. Madrid: Alianza Editorial.

Doebelin, E. (1980). *Ingeniería de medición e instrumentación industrial*. México: Editorial Diana.

Franzini, J. B. y Finnemore, E. J. (1999). *Mecánica de fluidos con aplicaciones en ingeniería*. Novena edición. Madrid: McGraw-Hill.

González, Y. (2007). *Automatización del sistema de adquisición de datos de una bomba recíproca tipo pistón*. Trabajo de Especialización. Barcelona: Universidad De Oriente, Núcleo Anzoátegui.

Horta, C. (2009). *Estudio fluidodinámico en el interior de un inyector de una turbina pelton mediante la aplicación del Software CFD*. Tesis de grado. Barcelona: Universidad De Oriente, Núcleo Anzoátegui.

Iborra, A. e Izquierdo, M. (2010). ¿Cómo afrontar la evaluación del aprendizaje colaborativo? Una propuesta valorando el proceso, el contenido y el producto de la actividad grupal. *Revista General de Información y Documentación*, 20, 221-241.

Lamadrid, A. (1986). *Máquinas hidráulicas, turbinas pelton y bombas centrifugas*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros industriales.

Mataix, C. (1986). *Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas*. Madrid: Ediciones del castillo S.A.

Mendoza, H. (2007). *Estudio de diferentes condiciones de contorno de salida de flujo en una expansión brusca mediante simulación numérica*. Tesis de grado. Barcelona: Universidad De Oriente, Núcleo Anzoátegui.

National Instruments (2003). *LabVIEW™ Development Guidelines*. Part Number 321393D-01.

Pallas, A. (1993). *Adquisición y distribución de señales*. España: Editores Marcombo Boixareu.

Pallas, A. (1987). *Traductores y acondicionadores de señal*. España: Editores Marcombo Boixareu.

Quispe, F. (2005). *Diseño de una turbina de río para la generación de electricidad en el distrito de Mazán-Región Loreto*. Trabajo Especial de Grado. Lima: Universidad Nacional Mayor De San Marcos.

Villa, A. y Poblete, M. (2008). *Aprendizaje basado en competencias*. Bilbao: Universidad de Deusto.