

DISEÑO DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS MEDIANTE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA PARA EL CANAL RECTANGULAR HIDRÁULICO DEL LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL DE UNIVALLE

DATA COLLECTION AND PROCESS SYSTEM DESIGN BY A WIRELESS COMMUNICATION FOR A RECTANGULAR HYDRAULIC CANAL OF CIVIL ENGINEERING LABORATORY AT UNIVALLE

Ing. Milton Daniel Mérida Bolaños
Ing. M. Sc. Teddy Salvador López Monje (2)

RESUMEN

El presente proyecto consiste en el diseño de un sistema de adquisición y tratamiento de datos mediante comunicación inalámbrica para el canal rectangular hidráulico del laboratorio de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Privada del Valle, Cochabamba. Esta herramienta de trabajo permitirá obtener datos más precisos en esta área.

En el canal hidráulico rectangular, la velocidad del agua tiene un flujo laminar, lo cual permite utilizar un molinete hidráulico como sensor de adquisición de datos en el proyecto. Con este instrumento se podrá monitorear la velocidad del agua, ya que es un parámetro muy importante en las prácticas en el Laboratorio de Hidráulica.

El sistema de adquisición y tratamiento de datos cuenta, además, con un molinete hidráulico y un módulo de procesamiento de datos que, mediante comunicación inalámbrica Bluetooth, transfiere datos a una interfaz de usuario que fue desarrollado en Visual Studio.NET, el cual permitirá almacenar los datos en una

Base de Datos en un servidor WAMP (Windows Apache MySQL y PHP). La consulta de estos datos podrá realizarse desde cualquier dispositivo móvil con acceso a Internet.

Palabras clave: Acondicionamiento de señales. Sensores inalámbricos. Adquisición de datos. Comunicación inalámbrica. Canal rectangular hidráulico.

ABSTRACT

This project involves the design of a system for acquiring and processing data by wireless communication for the rectangular hydraulic canal of the laboratory of Civil Engineering at the Universidad Privada del Valle, Cochabamba. This working tool will allow more accurate data in this area.

In rectangular hydraulic canal, the water velocity has a laminar flow, which allows using a hydraulic windlass as sensor data acquisition in the project. With this tool we can monitor the speed of the water, because it is a very important for the practices at the Hydraulics Laboratory parameter.

1. Ing. en Telecomunicaciones Titulado de la Universidad del Valle - Cochabamba.
Administrador de Centro de Cómputos de la Universidad del Valle - Cochabamba.
mmeridab@univalle.edu

2. Ing. Electrónico. Maestría en Educación Superior.
Docente de Facultad de Informática y Electrónica de la
Universidad del Valle - Cochabamba.
tlopezm@univalle.edu

The data acquisition and data processing also has a hydraulic winch and a processing module data through Bluetooth wireless communication, which transfers data at a user interface that was developed in Visual Studio.NET, to store data in a database on a server WAMP (Windows Apache MySQL and PHP). The query of these data may be made from any mobile device with Internet access.

Keywords: Signal Conditioning. Wireless Sensors. Data Acquisition. Wireless Communication. Hydraulic rectangular canal.

INTRODUCCIÓN

Debido a los constantes avances y actualizaciones en el mundo tecnológico, se ha vuelto indispensable el monitoreo de datos, su posterior procesamiento y análisis, ya que esto conlleva a mejorar la calidad de los servicios y su optimización en el área productiva.

Existen maneras de medir el flujo del agua y una de ellas es el método del flotador. Este método consiste en medir el tiempo que tarda en recorrer un tramo del

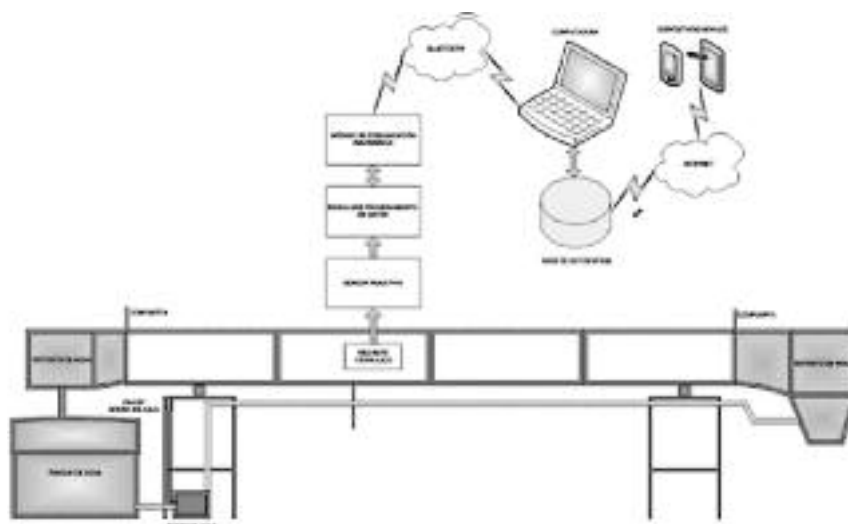
canal, este método es utilizado en el laboratorio de hidráulica para obtener la velocidad del agua. Sin embargo, también existen instrumentos para la medición de la velocidad del caudal en el canal, entre ellos, sensores ultrasónicos, infrarrojos y molinetes.

Tal es el caso del Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Del Valle, que cuenta con un molinete hidráulico para las mediciones del flujo de la corriente de agua (1), esta herramienta de trabajo no se encuentra actualmente en buen estado, evitando el monitoreo de datos. Al no poder contar con esta herramienta de trabajo para las prácticas de laboratorio, y siendo una herramienta muy importante, es que se plantea dar solución para la adquisición de datos, y modernizar esta herramienta con un sistema de visualización y análisis de los mismos.

PREPARACIÓN DEL TRABAJO TÉCNICO

El diseño de un sistema de adquisición y tratamiento de datos mediante comunicación inalámbrica para el canal rectangular hidráulico se desarrolló de acuerdo a la Fig. 1.

Fig. 1. Sistema de adquisición y tratamiento de datos.



Fuente: Elaboración Propia. Abril, 2013.

Como se puede observar en la figura anterior, el medio de trabajo del sistema es el canal por donde circula el agua. Se introduce el Molinete Hidráulico (2) en el agua, el cual cuenta con un Sensor de Proximidad TS12 Shied de la marca Highly (3), éste a su vez está conectado al Módulo de Procesamiento de Datos.

Los datos generados por el Molinete Hidráulico son enviados al Módulo de Procesamiento de Datos, el cual muestra los datos en una pantalla LCD LM1 602 IIC y, posteriormente, éstos son enviados mediante el módulo Bluetooth HC – 05 (4) (5) a una Interfaz de Usuario, en el cual se visualizan la información generada por el Molinete.

Desde la Interfaz de Usuario se puede iniciar el monitoreo de datos como así también la finalización del proceso. En otras palabras, cuando el agua toma un flujo laminar, entonces podemos iniciar el monitoreo del Molinete Digital Hidráulico que toma los datos del número de revoluciones que obtienen los alabes del molinete en el tiempo, luego se procesan estos datos y se obtiene la velocidad del agua que pasa por canal rectangular. Al obtener la velocidad del agua, toda la información es guardada en una base de datos de MYSQL (6). Y como servidor, se podrán visualizar los que se guardan en él. Además, estos datos pueden ser vistos en una página web para así compartirlos.

A. Molinete Hidráulico

El molinete hidráulico con el que se trabajó en este proyecto pertenece al laboratorio de Hidráulica de la UNIVALLE (1), el cual fue mejorado para utilizar un nuevo sensor. Este molinete, internamente tiene un disco que está unido perpendicularmente a su eje. Este disco tiene una ranura que facilita al sensor inductivo TS12 Shied la detección del giro del molinete, así como se puede observar en la Fig. 2.

Fig. 2. Disco Molinete Hidráulico.



Fuente: Laboratorio de Hidráulica de Univalle. Abril, 2013.

Este singular Molinete Hidráulico trabaja de la siguiente manera: al llegar el agua, éste empuja los alabes, si tomamos a la ranura como una partícula u objeto con el movimiento del agua, éste describe un movimiento circular. Como se puede observar en la Fig. 2, esta ranura es la que genera un pulso. El Sensor Inductivo TS12 Shied detecta el metal del disco, que al pasar la ranura y genera el pulso (7). Este pulso generado es recibido en el Módulo de Procesamiento de Datos, para primero obtener el número de revoluciones en el tiempo de monitoreo y posteriormente cal-

cular la velocidad del caudal del Canal Rectangular Hidráulico.

B. Sensor Inductivo TS12 Shield

El sensor inductivo TS12 Shied que se implementó en el proyecto tiene la norma de seguridad IP67 y su circuito electrónico interno está protegido herméticamente (3). Lo que significa que puede ser sumergido en el agua sin que este sufra algún desperfecto al estar en contacto con el agua. Además de esta característica, podemos mencionar que este sensor trabaja con una frecuencia de 1.5 KHz y una distancia de detección de 2 milímetros.

Internamente, tiene un transistor PNP normalmente abierto (NO del inglés Normally Open), este transistor trabaja en saturación: cuando un objeto de metal se aproxima genera una señal análoga. La señal es una corriente de 200 miliamperios [mA], cuando alimentamos con un voltaje de 10 voltios [V], estos datos nos sirvieron para hallar el valor de la resistencia de salida en el sensor.

$$V=I \times R$$

De la ley de Ohm

V = Voltaje

I = Corriente

R = Resistencia

Para obtener el valor de la resistencia, despejamos R de la ecuación de voltaje de la ley de Ohm y obtenemos lo siguiente:

$$R = \frac{V}{I}$$

$$R = \frac{10[V]}{200[mA]}$$

$$R = 50[\Omega]$$

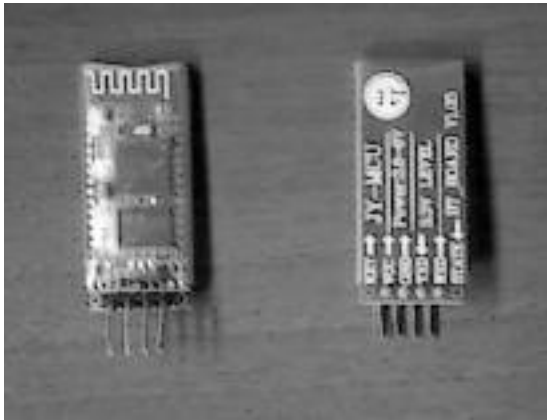
El valor de la resistencia es de 50 [Ω]. El transistor, al trabajar en saturación, genera un voltaje de 10 [V] en la salida. Si trabajamos con el máximo de corriente en la salida del sensor que es de 200 [mA], pero si tomamos en cuenta que el sensor trabaja con un mínimo de corriente de 10 [mA], la resistencia a implementarse es de 1 [kΩ], que es el valor utilizado en nuestro circuito y con el valor de corriente medido con un Multímetro. Posteriormente, se implementó un regulador de voltaje LM7805 para obtener un voltaje de 5 [V] y éste pueda ser conectado a nuestra placa Arduino Nano.

A continuación, la Fig. 3 muestra el sensor inductivo utilizado en nuestro proyecto, el cual forma parte del

- Voltaje de alimentación de 3,6 – 6 [V].
- Niveles de voltajes de 3,3 [V] para transmisión.

En la Fig. 7 podemos ver el módulo que se utilizó en la implementación del circuito final del proyecto.

Fig. 7. Módulo Bluetooth TTL HC – 05.



Fuente: Del Fabricante JY-MCU. Abril, 2013.

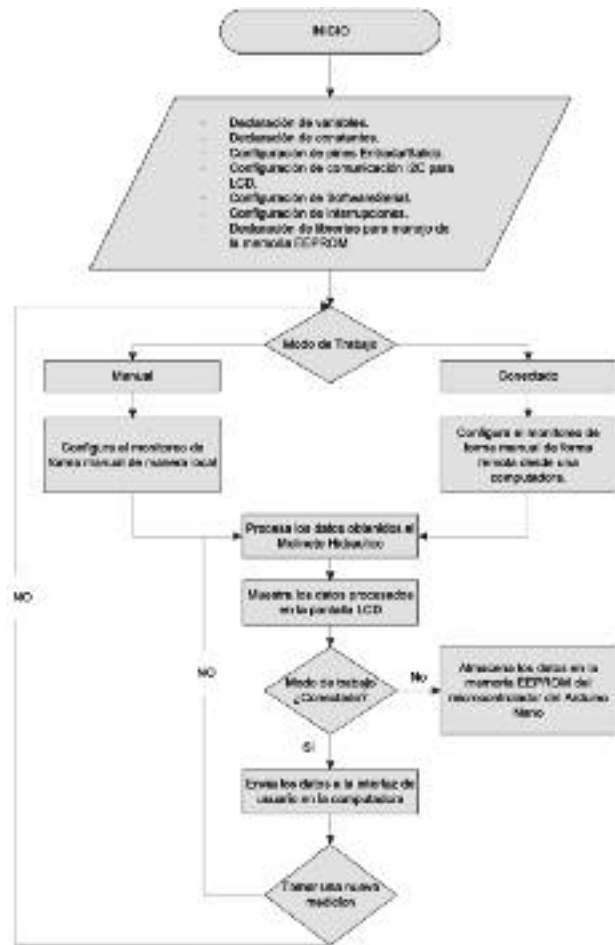
Para el diseño del módulo de procesamiento de datos, primero se diseñó un diagrama de flujo para la placa Arduino, indicando cómo trabajará y qué operaciones realizará el microcontrolador, para implementarlo en forma de código de programación. El código de programación se desarrolló en el Sketch, un software propio de Arduino (8), un programa compilador que utiliza un lenguaje de programación de alto nivel, más estructurado y lleva incorporadas librerías de suma utilidad a la hora de programar con rutinas ya definidas de funciones frecuentes en una programación de Arduino.

Para el desarrollo del diagrama de flujo se consideró lo siguiente:

- Declaración de variables.
- Declaración de constantes.
- Configuración de los pines Entrada/Salida.
- Configuración de comunicación I2C para LCD.
- Configuración de SoftwareSerial.
- Configuración de interrupciones.
- Declaración de librerías para manejo de la memoria EEPROM.

Luego de realizar las configuraciones iniciales, el código tiene que quedar según el diagrama de flujo:

Fig. 8. Diagrama de Flujo Arduino.



Fuente: Elaboración Propia. Marzo, 2013

La Fig. 9 muestra el circuito final, el cual cuenta con los siguientes componentes:

1. Entrada del Molinete Hidráulico, para el ingreso de las señales eléctricas que genere el sensor (10).
2. Regulador de voltaje LM7805, para reducir el voltaje de salida del sensor a 5[V].
3. Placa Arduino Nano sobre él se implementó un software para el funcionamiento del sistema (8).
4. LCM1 602 IIC, un LCD que tiene integrado un módulo de comunicación I2C. En él se visualizan los datos adquiridos y procesados de la medición de la velocidad en el Canal Hidráulico.

5. HC-05 es un módulo Bluetooth (4), que permite la comunicación inalámbrica entre el módulo de procesamiento de datos y la computadora.
6. Interruptor para el encendido o apagado del módulo de procesamiento de datos.
7. Led RGB es un indicador de las acciones que realiza el módulo de procesamiento de datos (No está visible pero sí se observa el bus de conexión en la placa del módulo).
8. El conjunto muestra el circuito eléctrico de los pulsadores resistencias, capacitores y el cableado a los botones del módulo de procesamiento de datos.
9. Entrada de la alimentación eléctrica del módulo de procesamiento de datos.

Fig. 9. Circuito Final Implementado.



Fuente: Elaboración Propia. Junio, 2013.

D. Interfaz de Usuario

La interfaz de usuario es el control remoto del módulo de procesamiento de datos, ya que tiene que interactuar con él, vale decir que tiene que dar instrucciones y también debe recibir los datos que éste mande, es por ello que a continuación enumeramos las tareas que debe realizar:

- Conectarse mediante comunicación serial con el módulo de procesamiento de datos. Esto para configurar con que alabe y tiempo realizara la medición. Recibir los datos requeridos y mostrarlos.
- Almacenar los datos procesados en una Base de Datos.
- Pedir al módulo de sistema los datos que tenga guar-

dados en su memoria EEPROM, y posteriormente guardarlos en la Base de Datos.

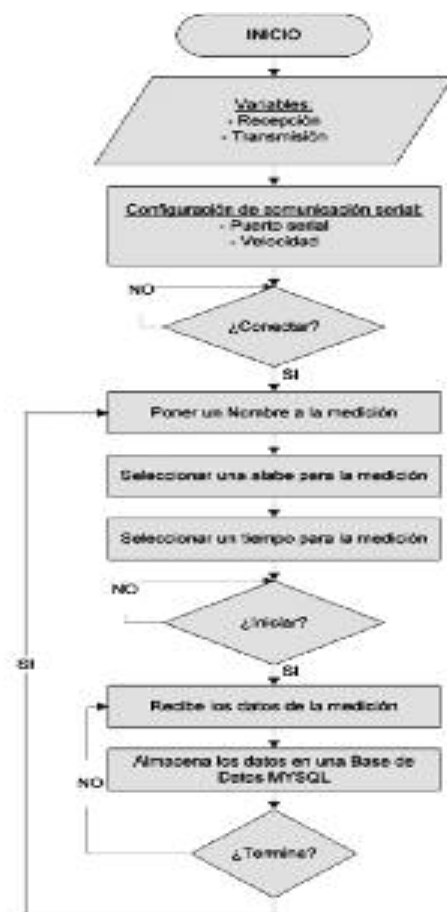
- Utilizar una herramienta matemática para realizar un análisis de los datos adquiridos y que sea manipulado por el alumno en el aula durante la práctica en el laboratorio.

Tomando en cuenta las tareas mencionadas anteriormente, para poder desarrollar el software de interfaz de usuario en el Visual Studio, se consideraron los siguientes requisitos:

- Contar con comunicación por puerto serial.
- Acceder a la Base de Datos MYSQL (6).
- Integrar el MATLAB como herramienta matemática para el análisis de datos.

Con lo requerido anteriormente, se realizó el diagrama de flujo para la interfaz de usuario en Visual Studio .NET (11).

Fig. 10. Diagrama de Flujo Interfaz de Usuario.



Fuente: Elaboración Propia. Abril, 2013.

Finalmente, el diagrama de Flujo que se implementó para la computadora, se desarrolló en la plataforma de programación Visual Studio en la versión .NET y, guiándose en el diagrama de flujo del software, se llegó al programa que se muestra en la Fig. 11.

Fig. 11. Vista de la Interfaz de Usuario.



Fuente: Elaboración Propia. Mayo, 2013.

E. Módulo Server

La creación de la base de datos se realizó en el servidor WAMP SERVER (6), en cual ingresamos al PHPPADMIN para crear la Base de Datos con los parámetros ya indicados como se muestra en la Fig. 12. Una vez que fue creada la Base de Datos en la interfaz de usuario, se implementó el código para la consulta de los mismos y el código para ingreso de nuevos datos, que son adquiridos en la medición, y también cuando se recuperen los datos guardados en la memoria EEPROM de la placa Arduino.

Fig. 12. Creación de una Base de Datos.



Fuente: Elaboración Propia. Mayo, 2013.

Con la implementación del código para realizar la consulta de la Base de Datos tenemos lo siguiente:

Fig. 13. Consulta Base de Datos desde Interfaz de Usuario.

ID	Evento	Fecha	Hora	Usuario	Velocidad
1	Inicio del monitoreo	2013-05-01	10:10:00	1	0.000000
2	Termino el monitoreo	2013-05-01	10:10:00	1	0.000000
3	Monitoreo de datos	2013-05-01	10:10:00	1	0.000000
4	Monitoreo de datos	2013-05-01	10:10:00	1	0.000000
5	Monitoreo de datos	2013-05-01	10:10:00	1	0.000000
6	Monitoreo de datos	2013-05-01	10:10:00	1	0.000000
7	Monitoreo de datos	2013-05-01	10:10:00	1	0.000000
8	Monitoreo de datos	2013-05-01	10:10:00	1	0.000000
9	Monitoreo de datos	2013-05-01	10:10:00	1	0.000000
10	Monitoreo de datos	2013-05-01	10:10:00	1	0.000000
11	Monitoreo de datos	2013-05-01	10:10:00	1	0.000000
12	Monitoreo de datos	2013-05-01	10:10:00	1	0.000000
13	Monitoreo de datos	2013-05-01	10:10:00	1	0.000000
14	Monitoreo de datos	2013-05-01	10:10:00	1	0.000000
15	Monitoreo de datos	2013-05-01	10:10:00	1	0.000000
16	Monitoreo de datos	2013-05-01	10:10:00	1	0.000000
17	Monitoreo de datos	2013-05-01	10:10:00	1	0.000000

Fuente: Elaboración Propia. Mayo, 2013.

Los datos almacenados en la Base de Datos se interpretan de la siguiente manera y según explica la Fig. 14.

Fig. 14. Explicación Eventos en Base de Datos.

ID	Evento	Fecha	Hora	Usuario	Velocidad
1	Inicio del monitoreo	2013-05-01	10:10:00	1	0.000000
2	Termino el monitoreo	2013-05-01	10:10:00	1	0.000000
3	Monitoreo de datos	2013-05-01	10:10:00	1	0.000000
4	Monitoreo de datos	2013-05-01	10:10:00	1	0.000000

Fuente: Elaboración Propia. Mayo, 2013.

- Evento, se refiere a la acción que realiza, puede ser:
 - Inicio del monitoreo.
 - Termino el monitoreo.
 - Monitoreo de datos.
 - Recuperación de datos.
- El nombre de la medición se refiere al nombre que le dio el usuario al momento de configurar la medición de datos.
- Alabe, puede ser #1 o #2, según se ha configurado y empleado durante la medición.
- Por último, el tiempo que se empleó durante la medición de datos.

El número de revoluciones está medido en revoluciones por segundo [rev/s]; y la velocidad en metros por segundo [m/s]. Por último, se implementó un form en cual se integró la herramienta matemática del MATLAB para el análisis de los datos de la medición.

Ya que Visual Studio no cuenta con una herramienta para integrar el MATLAB, se implementó un código para poder acceder a él. Tomando en cuenta que primero tiene que estar instalado MATLAB en la compu-

tadora en que se quiera tener la interfaz de usuario, para así obtener el número de revoluciones del alabe y la medición de velocidad del agua.

Fig. 15. Ventana del MATLAB desde la Interfaz de Usuario.



Fuente: Elaboración Propia. Mayo, 2013.

F. Diseño De Una Página Web Del Proyecto

Como último paso en la realización del proyecto, se creó una página web de consulta a la Base de Datos, y con eso poder consultar los datos sin tener que entrar al software del equipo o interfaz de usuario.

Otro aspecto importante es que por su tamaño, se puede acceder a ella desde cualquier dispositivo que tenga conexión a Internet, ya sea una Tablet, Netbook, un Smartphone, una computadora, etc. Lo importante es tenga conexión a la red y podrá consultar los datos de las mediciones realizadas en el Canal Hidráulico.

Fig. 16. Vista de la página web de consulta de datos.



Fuente: Elaboración Propia. Junio, 2013.

G. Pruebas de Medición

Para realizar las pruebas de medición del molinete se visitó el Laboratorio de Hidráulica y se entrevistó al Ingeniero Sergio Rodríguez, encargado del laboratorio, quien nos orientó sobre el uso del canal y el manejo de caudales en el mismo (12). Según sus recomendaciones, para las pruebas de medición en el canal, primero se calculó el caudal del agua que pasa por el canal rectangular y para ello se utilizó la siguiente ecuación:

$$Q = C_d \times \frac{2}{3} \times (2g)^{0.5} \times b_c \times h_1^{1.5}$$

Donde:

- Q es el caudal del agua en el canal.
- C_d para los cálculos se asume que es 1 para una estimación real.
- g es la gravedad para los cálculos asumimos su valor a 9,78 [m/s²], valor de la gravedad de Cochabamba.
- b_c es el valor de la base del canal rectangular o de la sección donde se calculó el caudal.
- h_1 es la altura de la sección rectangular del canal.

Una vez obtenido el valor del caudal del canal, podemos calcular la velocidad del agua, según la siguiente ecuación:

$$Q = v \times A$$

Donde:

- v velocidad del agua expresada en [m/s].
- A es el área de la sección a medir el caudal.

Despejando la velocidad de la anterior ecuación se obtiene:

$$v = \frac{Q}{A}$$

El área es un dato conocido y se debe al área de la sección donde deseamos obtener el caudal.

Teniendo las dos ecuaciones que nos ayudan a obtener la velocidad del agua en el canal, se realizaron las pruebas de medición del molinete tomando en cuenta los dos alabes con los que cuenta. Para ambos alabes se tomó un tiempo de 30 segundos para la medición de pulsos generados.

PRUEBAS CON EL ALABE 1

El alabe 1 tiene como característica que su diseño está

adecuado para velocidades altas o tirante alto, ya que genera menor rotación a mayor flujo. Otra característica es que este alabe cuenta con tres hélices.

a) Primera medición para el Alabe 1

Para el alabe 1 se realizaron 4 mediciones para determinar el valor de la velocidad. Para la primera medición con este alabe se tomaron los siguientes datos:

- b_c es igual a 27,5 [cm] o su equivalente en metros 0,275 [m].
- h_f es igual a 0,045 [m].

Se reemplazó en la primera ecuación del caudal:

$$Q = 1 \times \frac{2}{3} \times (2 \times 9,78)^{0,5} \times 0,275 \times 0,045^{1,5}$$

Y se obtuvo el valor del caudal:

$$Q = 0,00774 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Con el valor del caudal se reemplazó en la ecuación de la velocidad, en función del caudal y el área:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{b_c \times h}$$

Donde b_c es la misma base de la sección a medir la velocidad y h es la altura en la que se encuentra el molinete en la medición, ya que el caudal es constante en el canal, lo que quiere decir que es el mismo en cualquier parte del canal. La velocidad calculada es (al 60 % de la sección del caudal):

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,00774}{0,275 \times 0,099} = 0,2843 \left[\frac{m}{s} \right]$$

b) Segunda medición para el Alabe 1

A medida que disminuimos el tirante el área también disminuye debido a que la altura de la sección del área de la medición fue bajando, por lo tanto en las siguientes mediciones se obtuvo lo siguiente:

- b_c es igual a 0,275 [m].
- h_f es igual a 0,04 [m].

Se reemplazó en la primera ecuación del caudal:

$$Q = 1 \times \frac{2}{3} \times (2 \times 9,78)^{0,5} \times 0,275 \times 0,04^{1,5}$$

Y se obtuvo el valor del caudal:

$$Q = 0,00649 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Con el valor del caudal se reemplazó en la ecuación de la velocidad en función del caudal y el área, la altura al 60 % de 0,155[m] es 0,093[m], entonces la velocidad es:

$$v = \frac{Q}{b_c \times h} = \frac{0,00649}{0,275 \times 0,093} = 0,25363 \left[\frac{m}{s} \right]$$

c) Tercera medición para el Alabe 1

Los datos de la medición para el cálculo del caudal son:

- b_c es igual a 0,275 [m].
- h_f es igual a 0,035 [m].

Reemplazando en la primera ecuación del caudal tenemos:

$$Q = 1 \times \frac{2}{3} \times (2 \times 9,78)^{0,5} \times 0,275 \times 0,035^{1,5}$$

Obtenemos el valor del caudal:

$$Q = 0,00531 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Con el valor del caudal reemplazamos en la ecuación de la velocidad en función del caudal y el área, la altura al 60 % de 0,14[m] es 0,084[m], entonces la velocidad es:

$$v = \frac{Q}{b_c \times h} = \frac{0,005319}{0,275 \times 0,084} = 0,22983 \left[\frac{m}{s} \right]$$

d) Cuarta medición para el Alabe 1

Los datos de la medición para el cálculo del caudal son:

- b_c es igual a 0,275 [m].
- h_f es igual a 0,02 [m].

Reemplazando en la primera ecuación del caudal tenemos:

$$Q = 1 \times \frac{2}{3} \times (2 \times 9,78)^{0,5} \times 0,275 \times 0,02^{1,5}$$

Obtenemos el valor del caudal:

$$Q = 0,00531 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Con el valor del caudal reemplazamos en la ecuación

de la velocidad en función del caudal y el área, la altura al 60 % de 0,115[m] es 0,069[m], entonces la velocidad es:

$$v = \frac{Q}{b_c \times h} = \frac{0,00229}{0,275 \times 0,069} = 0,12086 \left[\frac{m}{s} \right]$$

e) Tabulación de los datos del Alabe 1.

Posteriormente, los datos obtenidos por el alabe 1 fueron:

Tabla 1. Tabulación de los datos del Alabe 1

Número De Pulsos (η)	Número De Revoluciones (η)	Tiempo (t)	Velocidad (v)
0	0	30	0
8	0,26667	30	0,2843
10	0,33333	30	0,25363
16	0,53333	30	0,22983
21	0,7	30	0,12086

Fuente: Elaboración Propia. Junio, 2013.

f) Ecuación característica para el molinete para el Alabe 1

Para obtener la ecuación característica se realizó una regresión lineal con los datos de la Tabla 1, tomando en cuenta el número de revoluciones por segundo y la velocidad. Donde la ecuación lineal de la velocidad del molinete es:

$$v = a + b\eta$$

Donde hallamos los valores de a, b, y N es el número de mediciones hechas y tomando en cuenta para cuando el número de revoluciones es igual a cero:

$$b = \frac{\sum \eta \sum v - N \sum \eta v}{(\sum \eta)^2 - N \sum \eta^2} = 0,1466$$

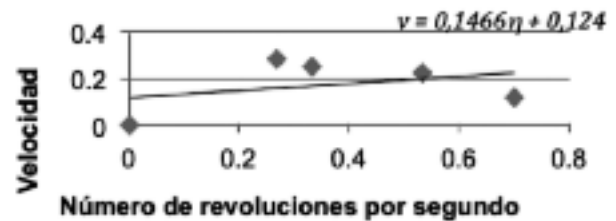
$$a = \frac{(\sum v - b \sum \eta)}{N} = 0,124$$

Por lo tanto, la ecuación característica de este alabe es:

$$v = 0,124 + 0,1466\eta$$

Donde el gráfico de la de la Tabla 1 con ecuación característica es:

Fig. 17. Gráfica característica de Alabe 1



Fuente: Elaboración Propia. Junio, 2013.

PRUEBAS CON EL ALABE 2.

El alabe 2 tiene como característica que está diseñado para velocidades bajas y tirante bajo, ya que genera mayor número de vueltas del alabe al paso del flujo. Este alabe solo cuenta con dos hélices.

a) Primera medición para el Alabe 2

Los datos para la medición son:

- bc es igual a 0,275 [m].
- h1 es igual a 0,05 [m].

Reemplazando en la primera ecuación del caudal tenemos:

$$Q = 1 \times \frac{2}{3} \times (2 \times 9,78)^{0,5} \times 0,275 \times 0,05^{1,5}$$

Obtenemos el valor del caudal:

$$Q = 0,00906 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Con el valor del caudal reemplazamos en la ecuación de la velocidad en función del caudal y el área. La velocidad calculada es (al 60 % de la sección del caudal):

$$v = \frac{Q}{b_c \times h} = \frac{0,00906}{0,275 \times 0,099} = 0,33298 \left[\frac{m}{s} \right]$$

b) Segunda medición para el Alabe 2

Los cálculos de la segunda medición son:

- bc es igual a 0,275 [m].
- h1 es igual a 0,045 [m].

Reemplazando en la primera ecuación del caudal tenemos:

$$Q = 1 \times \frac{2}{3} \times (2 \times 9,78)^{0,5} \times 0,275 \times 0,045^{1,5}$$

Obtenemos el valor del caudal:

$$Q = 0,00774 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Con el valor del caudal reemplazamos en la ecuación de la velocidad en función del caudal y el área, la altura al 60 % de 0,15[m] es 0,09[m], entonces la velocidad es:

$$v = \frac{Q}{b_c \times h} = \frac{0,00774}{0,275 \times 0,09} = 0,31273 \left[\frac{m}{s} \right]$$

c) Tercera medición para el Alabe 2

Los datos de la medición para el cálculo del caudal son:

- b_c es igual a 0,275 [m].
- h_1 es igual a 0,042 [m].

Reemplazando en la primera ecuación del caudal tenemos:

$$Q = 1 \times \frac{2}{3} \times (2 \times 9,78)^{0,5} \times 0,275 \times 0,042^{1,5}$$

Obtenemos el valor del caudal:

$$Q = 0,00698 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Con el valor del caudal reemplazamos en la ecuación de la velocidad en función del caudal y el área, la altura al 60 % de 0,125[m] es 0,075[m], entonces la velocidad es:

$$v = \frac{Q}{b_c \times h} = \frac{0,00698}{0,275 \times 0,075} = 0,33838 \left[\frac{m}{s} \right]$$

d) Cuarta medición para el Alabe 2

Los datos de la cuarta medición para el cálculo del caudal son:

- b_c es igual a 0,275 [m].
- h_1 es igual a 0,035 [m].

Reemplazando en la primera ecuación del caudal tenemos:

$$Q = 1 \times \frac{2}{3} \times (2 \times 9,78)^{0,5} \times 0,275 \times 0,035^{1,5}$$

Obtenemos el valor del caudal:

$$Q = 0,00531 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Con el valor del caudal reemplazamos en la ecuación de la velocidad en función del caudal y el área, la altura al 60 % de 0,1[m] es 0,06[m], entonces la velocidad es:

$$v = \frac{Q}{b_c \times h} = \frac{0,00531}{0,275 \times 0,06} = 0,32177 \left[\frac{m}{s} \right]$$

e) Tabulación de los datos del Alabe 2

Posteriormente los datos obtenidos por el alabe 2 fueron puestos en la Tabla 2:

Tabla 2. Tabulación de los datos del Alabe 2

Número De Pulsos (n)	Número De Revoluciones (η)	Tiempo (t)	Velocidad (v)
0	0	30	0
28	0,93333	30	0,33298
32	1,06667	30	0,31273
34	1,13333	30	0,33838
46	1,53333	30	0,32177

Fuente: Elaboración Propia. Junio, 2013.

Al igual que en el caso del alabe 1, también se realizó una regresión lineal con los datos de la Tabla 2, para hallar la ecuación de la velocidad:

$$v = a + b\eta$$

Y hallamos los valores de:

$$b = \frac{\sum \eta \sum v - N \sum \eta v}{(\sum \eta)^2 - N \sum \eta^2} = 0,2346$$

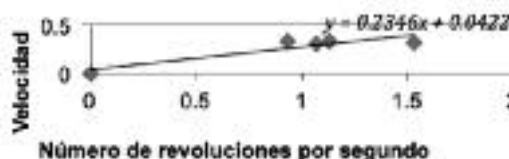
$$a = \frac{(\sum v - b \sum \eta)}{N} = 0,0422$$

Por lo tanto, la ecuación característica de este alabe 2 es:

$$v = 0,0422 + 0,2346\eta$$

Donde el gráfico de la ecuación característica es:

Fig. 18. Gráfica característica del Alabe 2



Fuente: Elaboración Propia. Junio, 2013.

CONCLUSIONES

De acuerdo al planteamiento de los objetivos específicos, se cumplen con la parte física, la cual comprende la infraestructura para el molinete y el diseño electrónico:

- Se investigó la teoría de distribución de velocidades del caudal del agua en el Canal Hidráulico y con ello se comprendió mucho mejor la importancia de la implementación del proyecto.
- Se investigaron los distintos medidores de flujo, con lo que se comprendió mejor el desempeño de estos sensores en este tipo de proyectos.
- Se investigaron y analizaron diferentes molinetes hidráulicos para medir el flujo del agua, incluyendo el molinete con el que cuenta la Universidad Privada del Valle. Finalmente, se implementó el molinete que tiene la universidad que en un inicio estaba dañado, por lo que se reforzó con un sensor inductivo y hermético con grado de protección IP67 para que trabaje dentro el agua y con ello se mejoro la operatividad en las mediciones de velocidad en el canal.
- Se implementó un circuito para adecuar los niveles de voltaje del sensor inductivo ya que se encontraba por encima del voltaje con el que opera los pines de entrada de Arduino.
- Se seleccionó una placa Arduino que lleva un microcontrolador Atmega, por ser la más adecuada y de fácil

implementación e integración en el proyecto.

- Se desarrolló el software para el microcontrolador de la placa Arduino con el cual se podrá de adquirir y procesar datos y posteriormente mostrarlos en la pantalla del módulo. Y también envía los datos por comunicación serial al computador.
- Se investigó e implementó como forma de comunicación inalámbrica el Bluetooth para comunicar el módulo de sistema y la computadora, ya que no se requería un rango amplio de conectividad en función a la distancia entre ambos.
- Se desarrolló un software robusto para la computadora ya que realiza diversas tareas como configuración, adquisición y tratamiento de datos, almacenamiento de datos en un servidor de Base de Datos y desde el cual se podrá compartir a un mayor número de usuarios en la web esto para no depender del software de la interfaz de usuario.
- Se realizaron pruebas en el Canal Rectangular Hidráulico por lo que se observaron las cualidades del sistema y los beneficios para las prácticas de laboratorio son de mucha utilidad para el estudiante de la carrera de Ingeniería Civil.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece la contribución del Ing. Teddy López y el Ing. Sergio Rodríguez por su apoyo en la realización del proyecto y revisión de este documento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) CAMACHO G. Laboratorio de Hidráulica. Brújula Universitaria, Universidad Privada Del Valle.
- (2) TECMES. Micromolinete Digital. [En línea]. [Fecha de acceso 3 de Diciembre de 2012]. URL disponible en: <http://www.tecmes.com/correntometro.pdf>.
- (3) HIGHLY. Sensor Inductivo TS12 Shield. [En línea]. [Fecha de acceso 9 de Enero de 2013]. URL disponible en: <http://www.highly.com/highly/pdf/proximity.pdf>.
- (4) HC Serial Bluetooth Products - User Instructional Manual. [En línea]. [Fecha de acceso 4 de Diciembre de 2012]. URL disponible en: http://www.tec.reutlingen-university.de/uploads/media/DatenblattHC-05_BT-Modul.pdf.
- (5) RUIZ G. ¿Qué es Bluetooth? [En línea]. [Fecha de acceso 9 de Enero de 2013]. URL disponible en: <http://tecnio.com/¿que-es-bluetooth/>.
- (6) RUIZ A. Servidores WAMP. [En línea]. [Fecha de acceso 5 de Mayo de 2013]. URL disponible en: <http://recursostic.educacion.es/observatorio/web/es/software/servidores/800-monografico-servidores-wamp>.
- (7) DONAYRE J. Sensores Inductivos. [En línea]. [Fecha de acceso 9 de Enero de 2013]. URL disponible en: <http://www.mes-sigma.net>.
- (8) ARDUINO. ArduinoBoardNano. [En línea]. [Fecha de acceso 2 de Mayo de 2013]. URL disponible en: http://Arduino-ArduinoBoardNano_files/widget112.ccs.
- (9) ÁLVAREZ D. Capitulo 6 Comunicación I2C. [En línea]. [Fecha de acceso 27 de Abril de 2013]. URL disponible en: <http://tallerarduino.wordpress.com>.
- (10) ÁLVAREZ D. Capitulo 4 Interrupciones. [En línea]. [Fecha de acceso 26 de Abril de 2013]. URL disponible en: <http://tallerarduino.wordpress.com>.
- (11) WIKIPEDIA. Visual Studio.NET. [En línea]. [Fecha de acceso 25 de Marzo de 2013]. URL disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Visual_Studio_.NET.
- (12) HIDRÁULICA LD. Distribución De Velocidades. Guía de laboratorio hidráulica II, Universidad Privada Del Valle. ;: p. Guía de laboratorio hidráulica II.