



UNIVERSIDAD DE CARABOBO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

DEPARTAMENTO DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA



**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS
PORTÁTIL PARA EL BANCO DE TURBINA KAPLAN INSTALADA EN
EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA “ELÍAS SÁNCHEZ DÍAZ”, EN
LA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE CARABOBO.**

Tutora:

MSc. Mairim Márquez.

Autores:

Alexander Barreto.

C.I: 23.431.449

Daniel Márquez.

CI: 21.028.179

Naguanagua, Julio de 2016



UNIVERSIDAD DE CARABOBO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

DEPARTAMENTO DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA



**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS
PORTÁTIL PARA EL BANCO DE TURBINA KAPLAN INSTALADA EN
EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA “ELÍAS SÁNCHEZ DÍAZ”, EN
LA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE CARABOBO.**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA
ILUSTRE UNIVERSIDAD DE CARABOBO PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERO ELECTRICISTA**

Tutora:

MSc. Mairim Márquez.

Autores:

Alexander Barreto.

C.I: 23.431.449

Daniel Márquez.

CI: 21.028.179

Naguanagua, Julio de 2016



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



DEPARTAMENTO DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado para evaluar el Trabajo Especial de grado titulado "DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PORTÁTIL PARA EL BANCO DE TURBINA KAPLAN INSTALADA EN EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA "ELÍAS SÁNCHEZ DÍAZ", EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE CARABOBO" realizado por los bachilleres: Barreto Coro Alexander Enrique, C.I. 23.431.449 y Márquez Fariás Daniel Alexander, C.I.21.028.179 hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo.

Teddy Rojas.
JURADO.

Mairim Márquez.
TUTORA.



Oriana Barrios.
JURADO.

Nagunnagua, Julio de 2016 .



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

DEPARTAMENTO DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA



CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado para evaluar el Trabajo Especial de grado titulado **“DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PORTÁTIL PARA EL BANCO DE TURBINA KAPLAN INSTALADA EN EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA “ELÍAS SÁNCHEZ DÍAZ”, EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE CARABOBO”** realizado por los bachilleres: Barreto Coro Alexander Enrique, C.I. 23.431.449 y Márquez Farías Daniel Alexander, C.I.21.028.179 hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo.

Mairim Márquez.

TUTORA.

Teddy Rojas.

JURADO.

Oriana Barrios.

JURADO.

Naguanagua, Julio de 2016

DEDICATORIA

Alexander Barreto

DEDICATORIA

Este trabajo, todo el esfuerzo, tiempo, cariño y sacrificios con el que fue realizado fue sólo para poder dedicárselo y que se sintieran orgullos. Todo lo que he logrado, todo lo que he avanzado, quien soy y en quien me convertiré se lo debo a ustedes Bettys y Reinaldo les agradezco su constante apoyo, sus incontables sacrificios, su infinita paciencia, su infalible fe en mí y sobretodo su interminable amor, quiero algún día poder ver atrás y ver que adquirí la sabiduría, cariño y dedicación de ti mamá, junto con el carisma, amor, serenidad, y moral de ti papá. Los amo

Sería injusto no mencionar a las personas cuyo constante apoyo me ayudo a avanzar, Reinaldo espero que veas este trabajo y te inspire a ser mejor cada día, que veas a nuestros padres como los héroes que son y la suerte que tenemos, gracias por ayudarme cuando te necesite, cuando lo merecía y cuando no. A mis primos Marcos Aníbal, Marcos Tulio y Marcos Manuel siempre han sido un ejemplo para mí y no ha habido un día que no los recuerde, ni a los momentos juntos los amo primos, gracias por su apoyo incondicional y su cariño. A Alicia, Hortencia y Carmen mis abuelas, les agradezco su apoyo, su cariño y sus deseos las amo sin ustedes y su constante preocupación jamás hubiese llegado tan lejos gracias por todo y por enseñarme lo importante y necesario que es la familia. A mi abuelo Hermes espero estés orgulloso, ya lo logré me gustaría mucho que estuvieras conmigo.

En estos 5 años aprendí que además de cuidar a la familia con la que se nace también es importante cuidar de la familia que se hace, a ustedes mis compañeros, mis amigos y mis hermanos Alexander, Miguel, Felipe y Gabriela siempre que los necesite e incluso cuando no, también estuvieron para mí, gracias por el tesoro de su amistad y por su lealtad.

A tí amor por impulsarme a siempre mejorar, a esforzarme por cumplir mis metas, por enseñarme que siempre se puede hacer algo más, por tu cariño, por tus deseos, por tu apoyo y por siempre estar allí cuando era necesario, gracias Mayrene.

Daniel Márquez

AGRADECIMIENTOS

A dios

Joel Sequera

Giorgio

Gisela

Mairim

Flia Felipe, Miguel.

¡A todos gracias!

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS
PORTÁTIL PARA EL BANCO DE TURBINA KAPLAN INSTALADA EN
EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA “ELÍAS SÁNCHEZ DÍAZ”, EN
LA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE CARABOBO.**

RESUMEN

La presente investigación consiste en generar la curva característica de una turbina Kaplan perteneciente al laboratorio de Hidráulica “Elías Sánchez Díaz” de la Escuela de Ingeniería Civil, en el cual se desea implementar una práctica de laboratorio, que permita al usuario estudiar el proceso de generación hidroeléctrica a través de una turbina y de esta forma mostrar al usuario el comportamiento de la misma frente a los cambios que puedan ocurrir en el proceso, pero debido a la gran cantidad de mediciones que se requiere para lograr este objetivo, es necesario implementar un sistema de adquisición de datos que facilite las mediciones y agilice el proceso de generación de la curva característica.

Para ello se implementará un sistema basado en sensores de montaje en protoboard, que trabaje en paralelo con los indicadores analógicos existentes en el banco, el sistema de adquisición de datos tomara mediciones en campo, adecuará las señales, y a través del protocolo de comunicación serial enviará la información obtenida a una unidad de almacenamiento y procesamiento de datos que corresponde a un computador donde a través del programa MATLAB se realizará una interfaz grafica que facilite al usuario la visualización y manipulación de los datos obtenidos.

Descriptores: Turbina, mediciones, sensores, analógico, digital.

INDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14.
CAPÍTULO I	
1 EL PROBLEMA	15
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15.
1.2 OBJETIVOS.....	16
1.2.1 Objetivo general:.....	16
1.2.2 Objetivos Específicos:.....	16
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.	17
1.4 ALCANCE Y LIMITACIONES.....	18
CAPÍTULO II	19
2 MARCO TEÓRICO	19
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	19
2.2 BASES TEÓRICAS	21
2.2.1 Conceptos de Instrumentación.....	21
2.2.2 Equipos de Instrumentación.....	21
2.2.3 Sistema de adquisición de datos	23
2.2.4 Microcontroladores	25
2.2.5 Transductores y Señales de Campo	28
2.2.6 Medición con Transductores.....	28
2.2.7 Puente de Wheatstone.....	30
2.2.8 Acondicionamiento de Señales.....	31
2.2.9 Turbinas	32
2.2.10 Curvas características	34
2.2.10 Ecuaciones básicas.....	35
CAPÍTULO III.....	40
3 MARCO METODOLOGICO	40
3.1 Tipo de la Investigación.	40
3.2 Diseño de la Investigación.	41
3.3 Población y muestra.	41

3.4	Metodología de la investigación.....	42
3.4.1	FASE I. Selección de sensores y módulos de acondicionamiento de la señal	42
3.4.2	FASE II. Diseño, implementación y programación del centro de control del sistema de adquisición de datos.	43.
3.4.3	FASE III. Realización de pruebas y calibración de instrumentos transmisores, convertidores de señales y comunicación entre equipos.	
3.4.4	FASE IV. Generación de un manual de usuario y material de apoyo para el uso correcto del sistema.	
	CAPÍTULO IV.....	45
4	RESULTADOS	
4.1	FASE I. Selección de sensores y módulos de acondicionamiento de la señal.....	45.
4.2	FASE II. Diseño, implementación y programación del centro de control del sistema de adquisición de datos.	
4.3	FASE III. Realización de pruebas y calibración de instrumentos transmisores, convertidores de señales y comunicación entre equipos..	
4.4	FASE IV. Generación de un manual de usuario y material de apoyo para el uso correcto del sistema.	
5	CONCLUSIONES	
6	RECOMENDACIONES	
7	BIBLIOGRAFÍA	
8	ANEXOS	

INDICE DE FIGURAS

- Figura 2.1 Estructura interna de un manómetro tipo Bourdon.
- Figura 2.2 Estructura Básica de una placa orificio.
- Figura 2.3 Ilustración explicativa sobre el sistema de adquisición de Datos.
- Figura 2.4 Registro OSCCON0 para selección de frecuencia de trabajo de oscilador interno.
- Figura 2.5 Tabla de Selección de frecuencia del convertidor analógico digital según la frecuencia del dispositivo.
- Figura 2.6 Esquema de envío de datos a través de protocolo de comunicación RS232.
- Figura 2.7 Representación usual del Puente de Wheatstone.
- Figura 2.8 Ilustración explicativa sobre la medición con puente de Wheatstone.
- Figura 2.9 Fotos de la turbina Kaplan perteneciente al Laboratorio de Hidráulica.
- Figura 4.1 Sensores HW24PCCFA6D y HW24PCCFB6G.
- Figura 4.2 Esquema de Conexiones de sensores.
- Figura 4.3 Amplificador de Instrumentación.
- Figura 4.4 Esquemático del módulo de acondicionamiento de la señal correspondiente al sensor de 15 psi.
- Figura 4.5 Esquemático del módulo de acondicionamiento de la señal proveniente del sensor de 0.5 psi.
- Figura 4.6 Circuito de protección acoplado a la salida de cada amplificador de los sensores.
- Figura 4.7 Diseño del sistema de adquisición de datos (SAD).
- Figura 4.8 Línea de tendencia para compensación del error canal 0.
- Figura 4.9 Línea de tendencia para compensación del error canal 1.
- Figura 4.10 Línea de tendencia para compensación del error canal 2.
- Figura 4.11 Conexiones PIC16F887, Módulo de Comunicación Serial.
- Figura 4.12 Diagrama de Flujo para el Sub-Programa de Medición.
- Figura 4.13 Diagrama de Flujo de la Programación Principal.
- Figura 4.14 Ventana de bienvenida e inicialización de la interfaz gráfica.

Figura 4.15 Ventana de identificación de usuario.

Figura 4.16 Introducción a la Turbina Kaplan.

Figura 4.17 Introducción al sistema de adquisición de datos instalado.

Figura 4.18 Ventana de solicitud de ingreso de parámetros de trabajo para la práctica.

Figura 4.19 Ventana de mediciones.

Figura 4.20 Ilustración de la posición de las válvulas para el primer conjunto de mediciones

Figura 4.21 Ilustración de la posición de las válvulas para el segundo conjunto de mediciones.

Figura 4.22 Ventana de indicación de mediciones realizadas.

Figura 4.23 Ventana de conversión de unidades y cálculo de variables independientes.

Figura 4.24 Ventana de representación gráfica de las mediciones de caudal realizadas.

Figura 4.25 Gráfica comparativa de valores adquiridos.

Figura 4.26 Gráfica comparativa de valores corregidos adquiridos.

INDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Distribución de Puntos de Medición y Valores Máximos.

Tabla 4.2 Tabla de mediciones para la compensación del circuito de aterramiento del canal 0.

Tabla 4.3 Tabla de mediciones para la compensación del circuito de aterramiento del canal 1.

Tabla 4.4 Tabla de mediciones para la compensación del circuito de aterramiento del canal 2.

Tabla 4.5 Relación de Canales Analógicos y Sensor de Presión.

Tabla 4.6 Valores de presión en puntos de medición de la turbina.

Tabla 4.7 Valores Corregidos de presión en puntos de medición de la turbina.

Tabla 4.8 Valores Promedio de las variables dependientes de presión en puntos de medición de la turbina.

INTRODUCCIÓN

Una turbina hidráulica es una máquina que aprovecha la energía de un fluido que pasa a través de ella para producir un movimiento de rotación que transferido mediante un eje, mueve directamente una máquina o bien un generador que transforma la energía mecánica en eléctrica.

Una de estas turbinas es la Kaplan, su principal característica es que contiene álabes regulables, su función es controlar la componente tangencial de la velocidad a la entrada del rodete, en consecuencia el fluido sale de los álabes directores (distribuidor) y entra en la rueda con un momento angular adquirido.

Debido a esto, el sistema de turbina Kaplan perteneciente al laboratorio de Hidráulica “Elías Sánchez Díaz” de la Escuela de Ingeniería Civil de Universidad de Carabobo se reactivó luego de haber estado inoperante por más de 40 años, y así, además de adquirir conocimiento sobre un sistema de turbina tan complejo que presenta una característica única de poder variar el caudal a través de dos órganos reguladores, este sistema permitirá a cientos de estudiantes poder hacer uso del sistema de turbina Kaplan contribuyendo en la formación académica de los usuarios, permitiéndole egresar de la universidad de Carabobo con la experiencia en un sistema hidráulico que ninguna otra universidad a nivel nacional cuenta.

Debido a la gran cantidad de mediciones que se requiere para lograr este objetivo, es necesario implementar un sistema de adquisición de datos.

El SAD (sistema de adquisición de datos) fue desarrollado con el propósito de reducir los tiempos en las tomas de dato de los puntos de medición existentes en el cuerpo de la turbina Kaplan, así como también su procesamiento en la obtención de parámetros dependientes de los valores censados y el levantamiento de curvas características. Para ello se implementará un sistema basado en sensores de montaje en protoboard, el sistema de adquisición de datos tomará mediciones en campo, adecuará las señales, y a través del protocolo de comunicación serial enviará la información obtenida a una unidad de almacenamiento y procesamiento de datos que corresponde a un computador.

El computador logra a través un software diseñado exclusivamente para la elaboración de una práctica de laboratorio, que permita a los usuarios comprender el funcionamiento de la turbina, así como también establecer criterios sobre la operabilidad del sistema.

Además de esto, se elaboró un manual de usuario para el Sistema de Adquisición de Datos que servirá de guía en la elaboración de la práctica de laboratorio incluida, así como también define los parámetros de seguridad, precaución, información y mantenimiento, esenciales en el cuidado de los equipos y en su correcto uso, igualmente anexo en el manual se encuentra una sección de mantenimiento que determina las posibles fallas que pueda presentar el sistema de adquisición de datos y su corrección de manera satisfactoria.

La investigación realizada se desarrolló de la manera como se refleja en los siguientes capítulos:

En el Capítulo I, se reseña el Planteamiento del Problema partiendo de la situación encontrada en el área de estudio, se establece el objetivo general, los objetivos específicos, justificación, las limitaciones y el alcance.

En el Capítulo II, donde se revisan las bases teóricas y los antecedentes de la investigación que fundamentaron el presente trabajo.

En el Capítulo III, se muestra el Marco Metodológico, donde señala el nivel, tipo y fases de elaboración en la que se estructura el estudio.

En el Capítulo IV, se presentan los resultados de los objetivos específicos, se discuten el cumplimiento de los objetivos planteados y se analizan los resultados obtenidos acorde con las fases previamente planteadas.

En el Capítulo V de investigación se presenta las conclusiones obtenidas sobre el desarrollo del estudio, planteando las recomendaciones necesarias para la consecución de las metas propuestas, así como se proponen recomendaciones para darle continuidad a futuras investigaciones. Seguidamente se muestran las referencias bibliográficas y anexos mencionados a lo largo del desarrollo de la investigación.

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La transformación de la energía es uno de los tópicos fundamentales en el área de la ingeniería; a nivel mundial y particularmente en Venezuela, una de las formas más limpias de generación de energía eléctrica y la más importante es la que aprovecha la energía hidráulica.

El proceso de transformación de energía hidráulica en energía eléctrica se logra a través del uso de turbinas, las cuales son máquinas diseñadas para convertir la energía cinética del fluido (que se hace pasar por ella) en energía mecánica de rotación de un eje acoplado a un generador quien se encarga de realizar la transformación final a energía eléctrica, de acuerdo Mataix,C. (1982).[1]

En la generación de energía eléctrica utilizando turbinas resulta de gran importancia el control sobre aquellas variables que influyen en el proceso y su eficiencia. Una forma de describir el comportamiento de una turbina en función de sus variables es a través del desarrollo de su curva característica, la cual permite de forma gráfica observar la influencia de los cambios en las variables como: caudal, velocidad y torque en la turbina Kaplan. Sin embargo en esta turbina se puede definir el punto de trabajo requerido (estableciendo los ángulos óptimos de funcionamiento) gracias a la posibilidad de variación del ángulo de admisión del agua y el ángulo de las aspas del rodete de la turbina.

En la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, se tiene un sistema de turbina Kaplan perteneciente al laboratorio de Hidráulica “Elías Sánchez Díaz” de la Escuela de Ingeniería Civil el cual había estado inoperante por más de 40 años, actualmente se encuentra en funcionamiento tras la ejecución de varios trabajos de mantenimiento y reingeniería, pero es necesario aun realizar la automatización del proceso de registro de los datos recolectados durante la práctica de laboratorio enfocada al uso de la turbina Kaplan.

Se requiere mucho tiempo para tomar las distintas mediciones asociadas a las diferentes posiciones de los ángulos de admisión del agua y del ángulo de las aspas del rodete, de aquí surge la necesidad de contar con un sistema de monitoreo computarizado que permita representar de manera eficaz la curva característica de la turbina.

La formulación del problema de esta investigación es:

¿Es posible el desarrollo de un sistema de monitoreo portátil para el banco de turbina Kaplan instalado en el laboratorio “Elías Sánchez Díaz”, para monitorear las variables en tiempo real y permita la verificación de los parámetros relevantes de la turbina para ser representada de forma gráfica a través de las curvas características de la misma?

1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

1.2.1 Objetivo general.

Diseñar un sistema de adquisición de datos para el banco de la turbina Kaplan instalada en el Laboratorio de Hidráulica “Elías Sánchez Díaz” de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo.

1.2.2 Objetivos específicos.

- 1.- Seleccionar sensores, dispositivos de adaptación y de manejo de señales que permitan digitalizar las señales analógicas.
- 2.- Diseñar la plataforma digital del sistema de adquisición para realizar las prácticas de la turbina Kaplan.
- 3.-Implementar los dispositivos que conformaran el sistema de adquisición de datos en el banco de la turbina Kaplan.
- 4.-Validar los resultados provenientes del diseño implementado con los datos obtenidos de la operación manual de la turbina.
- 5.-Elaborar un manual de usuario del sistema de adquisición de datos.

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

Desde el punto de vista institucional esta investigación servirá de base para futuros trabajos de investigación realizados en esta área.

Con el reacondicionamiento del banco de turbinas y debido al soporte técnico aportado por este sistema para el análisis y procesamiento de datos se les brindará a los estudiantes de la facultad de ingeniería una herramienta de trabajo para la adquisición y uso de los conocimientos sobre la generación de energía eléctrica a través del uso de turbinas Kaplan.

Esta investigación es un aporte a la ejecución del proyecto identificado con el N° 2013001499 que tiene por nombre: “Reactivación de tres bancos de pruebas de generadores eléctricos de alta, media y baja potencia para la conversión de energía hidráulica, adaptados a condiciones locales y regionales de Venezuela, en el laboratorio de hidráulica “Elías Sánchez Díaz” de la facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo”. Producto de la línea de investigación: HIDROLOGÍA Coordinado por el CIHAM (Centro de Investigaciones Hidráulicas y Ambientales) y financiado por FONACIT.

Adicionalmente esta investigación va a contribuir a la base de digitalización de procesos industriales como una guía de referencia para los otros bancos de turbinas (Peltón y Francis) que serán implementados a futuro en el laboratorio en la línea de investigaciones de las turbo máquinas y el diseño de sistemas a escala piloto que permitan el desarrollo de estudios aplicables en el diseño de modelos utilizados en vida real en centrales hidroeléctricas en Venezuela para la generación de energía eléctrica.

En el aspecto social reconociendo la gravedad de la crisis energética en Venezuela esta práctica de laboratorio les permite a los estudiantes adquirir conocimientos y por ende la posibilidad a futuro de desarrollarse en el campo de generación de energía a partir de recursos hídricos.

1.4 ALCANCE Y LIMITACIONES.

Teniendo en cuenta que toda investigación debe necesariamente especificar límites en su estudio para un mejor análisis, este trabajo se enmarco de la siguiente manera:

El alcance del presente trabajo consiste en el desarrollo de un sistema de adquisición de datos portátil para el banco de turbina Kaplan instalada en el laboratorio de hidráulica “Elías Sánchez Díaz”, en la escuela de ingeniería civil de la facultad de ingeniería de la Universidad de Carabobo. A partir de esta investigación se desarrollará una práctica de laboratorio para los alumnos del séptimo semestre, donde podrán realizar ensayos en este banco de turbina y comparar los diferentes puntos de funcionamiento obtenidos.

La limitación presente en esta investigación es la situación actual de la economía venezolana para la adquisición de sensores y equipos importados, que se necesitan para la ejecución de este proyecto de investigación.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

En este capítulo se presentan los fundamentos teóricos necesarios y los trabajos investigativos con realización previa que sirvieron para la fundamentación y documentación para la realización del presente trabajo de grado.

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION.

La investigación de trabajos realizados anteriormente sirven de apoyo para el ordenamiento de ideas y obtener información valiosa que puede ser aporte a esta investigación se presentan algunos antecedentes.

Marcalla A. y Guillen P. (2011), [2] .Automatización de las turbo máquinas del laboratorio de fluidos de la facultad de mecánica de la Escuela Superior de Chimborazo. Riobamba- Ecuador.

En esta investigación se realizó la automatización de algunos equipos del laboratorio de fluidos, logrando controlar una serie de operaciones y de magnitudes simultáneamente, a través de diversos instrumentos controlados por la información suministrada por el computador, mediante la utilización de sensores e instrumentos de medición se logró automatizar el funcionamiento de las variables como presión, velocidad, torque entre otros.

Debido a la similitud de los procesos a automatizar este trabajo sirve de aporte a la presente investigación como referencia en la metodología del sistema de adquisición de datos para el banco de turbinas que se utilizará.

Martínez R. (2012), [3] .Caracterización de una turbina axial y creación de aplicación gráfica para procesamiento de datos. Universidad de Jaén, Jaén Andalucía .España.

El objetivo principal de este trabajo fue realizar un estudio teórico del funcionamiento de las turbinas para luego representar sus curvas características, se realizó una programación de interfaz gráfica para integrar las curvas características.

Esta investigación aportara a este trabajo información sobre la metodología para la caracterización de las curvas de rendimientos de una turbina.

Salazar .I (2015),[4] .Propuesta para la reactivación de los bancos de turbinas del laboratorio de hidráulica Elías Sánchez Díaz de la escuela de ingeniería civil de la Universidad de Carabobo, se planteó la puesta en marcha del sistema inoperante del banco de turbinas Kaplan, donde se caracterizaron los componentes del banco.

Su aporte a esta investigación fue la información aportada sobre estructuración, composición y caracterización del banco de turbinas Kaplan.

García J. y Pacheco M. (2015), [5] .Evaluación de la operación del sistema de turbinas Kaplan en el laboratorio de hidráulica Elías Sánchez Díaz de la escuela de ingeniería civil de la Universidad de Carabobo.

Propusieron un estudio donde se analizaron las variables de ajuste de caudal (alabes móviles del distribuidor y alabes móviles del rodete), al realizar variación de los distintos casos de estudio, permitiendo conocer el comportamiento de la turbina trazando las distintas curvas características de la turbina Kaplan.

El aporte de este trabajo es que se implementó en el sistema de turbinas Kaplan objetivo de estudio de esta investigación permitiendo utilizar sus resultados como validación de la misma, además tanto la metodología de operación del banco como el procedimiento de obtención de datos a usar es semejante a la requerida en esta investigación.

2.2 BASES TEÓRICAS.

2.2.1 Conceptos de instrumentación.

A) Rango: Es el conjunto de valores de la variable a medir que están comprendidas dentro de los límites superior e inferior de la capacidad de medición del instrumento. Viene expresado estableciendo los dos valores extremos.

B) Span: Es la diferencia algebraica entre los valores superior e inferior del campo de medida del instrumento. Consiste en un parámetro importante al momento de referirnos a la calibración de medidores, transductores ya que define cual será el valor límite del rango de medición.

C) Zona muerta: Es el máximo campo de variación de la variable en el proceso real, para el cual el instrumento no registra ninguna variación en su indicación, registro o control.

D) Exactitud: Hace referencia al error existente entre la medición obtenida y el verdadero valor de la medición.

E) Precisión: Hace referencia a la existencia o no de pequeñas variaciones aleatorias en la medición de la variable.

F) Velocidad de respuesta: Tiempo necesario que le toma al transductor procesar un cambio en la salida ante un cambio en la entrada.

E) Repetitividad: No estar sujeto a fallas frecuentes es decir que al tener una misma entrada en 2 instantes de tiempo distintos la lectura obtenida sea muy similar en ambas ocasiones.

2.2.2 Equipos de instrumentación.

A) Manovacuómetros.

El manómetro es un instrumento de medición para la presión de fluidos contenidos en recipientes cerrados, generalmente determinando la diferencia de la presión entre el fluido y la presión local. Un Manovacuómetro consiste en un instrumento que es capaz de medir la presión de un fluido ya sean inferiores o superiores a la presión atmosférica.[6]

B) Manómetro tipo Bourdon.

El manómetro tipo Bourdon es un tipo de manómetro que emplea como elemento sensible un tubo metálico curvado o elíptico, de sección transversal aplanada. Como se puede ver en la figura 1 un extremo del tubo está cerrado, y la presión que se va a medir se aplica por el otro extremo. A medida que la presión aumenta, el tubo tiende a adquirir una sección circular y enderezarse. El movimiento del extremo libre (cerrado) es proporcional a la presión aplicada por el fluido lo que a través de dispositivos mecánicos internos trasladan y amplifican el movimiento generado en el tubo bourdon en el movimiento rotatorio de la aguja.[6]

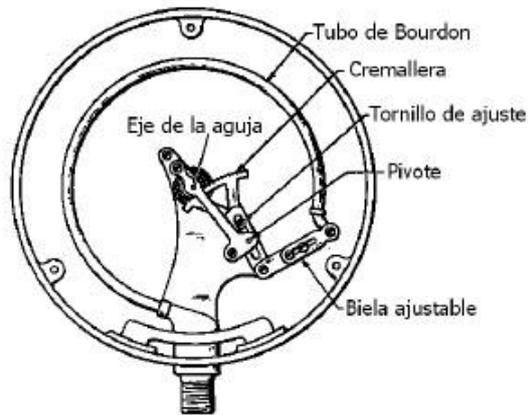


Figura 2.1 Estructura interna de un manómetro tipo Bourdon.

Fuente: Texto en línea [6].

C) Placa Orificio.

La presión diferencial es la diferencia entre un determinado valor de presión y otro valor de referencia. Una placa orificio es una restricción con una abertura más pequeña que el diámetro de la cañería en la que está inserta. La placa orificio típica presenta un orificio concéntrico, de bordes agudos. Debido a la menor sección, la velocidad del fluido aumenta, causando la correspondiente disminución de la presión.

El caudal puede calcularse a partir de la medición de la caída de presión en la placa orificio, P1-P3. La placa orificio es el sensor de caudal más comúnmente utilizado, pero presenta una presión no recuperable muy grande, debido a la turbulencia alrededor de la placa, ocasionando un alto consumo de energía.[7]

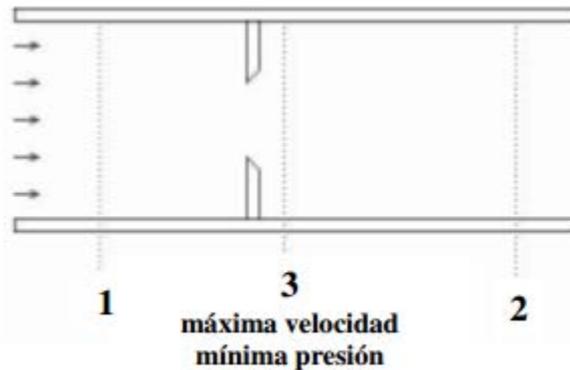


Figura 2.2 Estructura Básica de una placa orificio.

Fuente: Texto en línea [7].

2.2.3 Sistemas de adquisición de datos (SAD).

Existen variadas aplicaciones donde es necesario que los datos analógicos se deban digitalizar y transferir a la memoria de una computadora. A este proceso mediante el cual la computadora adquiere estos datos analógicos digitalizados se le denomina Adquisición de Datos.

La adquisición de datos consiste en obtener o generar información de manera automatizada desde recursos de medidas analógicas y digitales como sensores y dispositivos bajo prueba y utiliza una combinación de hardware y software basados en un computador para brindar un sistema de medidas flexible y definido por el usuario.[8]

El esquema descriptivo del proceso de adquisición de datos, en el que se puede distinguir claramente los pasos que sigue la señal censada hasta llegar al computador es el siguiente:

Primero, el sensor registra el fenómeno físico (presión, caudal, velocidad, etc.) que se está analizando y emite una señal de salida correspondiente ya sea analógica o digital, luego pasa a una etapa de acondicionamiento que adecua la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital.

El elemento que realiza dicha transformación es la tarjeta o módulo de adquisición de datos la cual una vez que las señales eléctricas analógicas se convierten en digitales, se envían a través del bus de datos dentro de la memoria del computador, con lo cual se las puede procesar con un programa de aplicación adecuado al uso, donde se visualizan, analizan y almacenan según se requiera.

Las ventajas de un sistema típico de adquisición son: flexibilidad de procesamiento, posibilidad de realizar tareas en tiempo real o en análisis posteriores, capacidad de almacenamiento, rápido acceso a la información y toma de decisión, posibilidad de emular una gran cantidad de dispositivos de medición.

Un sistema de adquisición de datos (SAD), es considerado como una parte importante de los sistemas de medición que interactúan con un equipo de cómputo. Estos sistemas digitales basados en una PC dependen de cada uno de los siguientes elementos:

- .- Transductores
- .- Acondicionamiento de señal.
- .-Hardware de adquisición de datos
- .-PC
- .-Software

Generalmente en conjunto con los sistemas de adquisición de datos se utilizan aplicaciones de “apuntar y clickear” de control de software denominadas interfaces gráficas que eliminan la necesidad de aprender algún tipo de lenguaje de programación al usuario facilitándole la manipulación de los datos, su análisis, y su visualización según y cómo sea diseñada.

La facilidad de creación de estas interfaces y la libertad que proveen para su diseño lo vuelve la herramienta perfecta para este tipo de aplicaciones donde se busca generar una aplicación visual que guíe y además ayude al usuario a utilizar el sistema de forma segura, sencilla, didáctica y eficiente. [9]

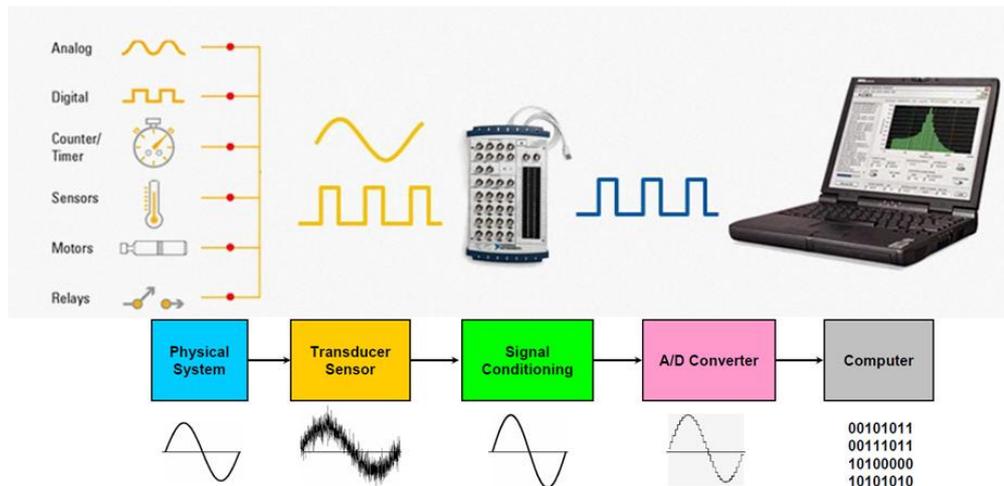


Figura 2.3 Ilustración explicativa sobre el sistema de adquisición de Datos.

Fuente: Texto en línea [10].

2.2.4 Microcontrolador (PIC).

Es un circuito lógico programable que hace el papel de computador especializado para realizar una determinada tarea y que posee programado en su memoria las instrucciones para cumplir una función específica además posee la capacidad de puertos de tipo entrada-salida que soportan la conexión y permiten la conexión con otros dispositivos. Su nombre PIC hace referencia a Controlador de Interfaz Periférico. Están compuesto por los mismos componentes de una computadora en 3 divisiones principales: unidad de procesamiento, memoria y periféricos de entrada/salida.

A) Características del Microcontrolador PIC16F887A.

A.1) Oscilador Interno: Los microcontroladores requieren de un reloj que genere flancos de forma tal que este sea el que determine la velocidad de trabajo del mismo. Este reloj generalmente está conformado por un oscilador el cual según el microcontrolador podrá ser interno o requerirá de uno de manera externa para trabajar.

Durante la programación existe un registro de control del oscilador interno donde se selecciona el tipo de oscilador a utilizar externo o interno y en caso de seleccionar interno la frecuencia a la cual se trabajará. [11]

REGISTER 4-1: OSCCON: OSCILLATOR CONTROL REGISTER

U-0	R/W-1	R/W-1	R/W-0	R-1	R-0	R-0	R/W-0
—	IRCF2	IRCF1	IRCF0	OSTS ⁽¹⁾	HTS	LTS	SCS
bit 7							bit 0

Legend:			
R = Readable bit	W = Writable bit	U = Unimplemented bit, read as '0'	
-n = Value at POR	'1' = Bit is set	'0' = Bit is cleared	x = Bit is unknown

bit 7	Unimplemented: Read as '0'
bit 6-4	IRCF<2:0>: Internal Oscillator Frequency Select bits 111 = 8 MHz 110 = 4 MHz (default) 101 = 2 MHz 100 = 1 MHz 011 = 500 kHz 010 = 250 kHz 001 = 125 kHz 000 = 31 kHz (LFINTOSC)
bit 3	OSTS: Oscillator Start-up Time-out Status bit ⁽¹⁾ 1 = Device is running from the external clock defined by FOSC<2:0> of the CONFIG1 register 0 = Device is running from the internal oscillator (HFINTOSC or LFINTOSC)
bit 2	HTS: HFINTOSC Status bit (High Frequency – 8 MHz to 125 kHz) 1 = HFINTOSC is stable 0 = HFINTOSC is not stable
bit 1	LTS: LFINTOSC Stable bit (Low Frequency – 31 kHz) 1 = LFINTOSC is stable 0 = LFINTOSC is not stable
bit 0	SCS: System Clock Select bit 1 = Internal oscillator is used for system clock 0 = Clock source defined by FOSC<2:0> of the CONFIG1 register

Figura 2.4 Registro OSCCON0 para selección de frecuencia de trabajo de oscilador interno.

Fuente: Hoja de datos del PIC16F887 [11].

A.2) Convertidor Analógico Digital: Este microcontrolador tiene un convertidor analógico digital con una resolución de 10 bits, para su uso tiene la posibilidad de conectarse a través de 10 canales analógicos multiplexados en un solo circuito retenedor de voltaje o circuito HOLD y esta salida se conecta al convertidor analógico digital donde a través de aproximación sucesiva se genera un resultado de 10 bits el cual se almacena en los registros ADRESL y ADRESH para realizar la conversión el convertidor posee la capacidad de referencias seleccionables ya sea la alimentación del controlador o un voltaje de referencia.

Este proceso de conversión analógico digital toma un tiempo de $11T_{ad}$ siendo T_{ad} el tiempo de adquisición para completar la conversión de 1 bit. [11]

Por ello para realizar varias mediciones o incluso cambios de canales analógicos se requiere de un tiempo de espera que viene determinado por la figura 2.5.

TABLE 9-1: ADC CLOCK PERIOD (T_{AD}) Vs. DEVICE OPERATING FREQUENCIES (V_{DD} ≥ 3.0V)

ADC Clock Period (T _{AD})		Device Frequency (F _{osc})			
ADC Clock Source	ADCS<2:0>	20 MHz	8 MHz	4 MHz	1 MHz
F _{osc} /2	000	100 ns ⁽²⁾	250 ns ⁽²⁾	500 ns ⁽²⁾	2.0 μs
F _{osc} /8	001	400 ns ⁽²⁾	1.0 μs ⁽²⁾	2.0 μs	8.0 μs ⁽³⁾
F _{osc} /32	010	1.6 μs	4.0 μs	8.0 μs ⁽³⁾	32.0 μs ⁽³⁾
F _{RC}	x11	2-6 μs ^(1,4)	2-6 μs ^(1,4)	2-6 μs ^(1,4)	2-6 μs ^(1,4)

Legend: Shaded cells are outside of recommended range.

Note 1: The F_{RC} source has a typical T_{AD} time of 4 μs for V_{DD} > 3.0V.

2: These values violate the minimum required T_{AD} time.

3: For faster conversion times, the selection of another clock source is recommended.

4: When the device frequency is greater than 1 MHz, the F_{RC} clock source is only recommended if the conversion will be performed during Sleep.

Figura 2.5 Tabla de Selección de frecuencia del convertidor analógico digital según la frecuencia del dispositivo.

Fuente: Hoja de datos del PIC16F887 [11].

Donde podemos observar que según el valor seleccionado en el oscilador interno tendremos ahora un determinado tiempo de adquisición de datos y por ende una determinada programación del registro del convertidor analógico digital.

A.3) Protocolo Serial: El microprocesador también posee un modulo EUSART el cual corresponde a un módulo mejorado universal sincrónico y asincrónico receptor y transmisor el cual corresponde a un modulo de comunicación periférico serial a través del cual se establecerá la comunicación con la interfaz grafica del computador. Este modulo requiere que tanto el equipo receptor como el emisor posean ciertos parámetros establecidos que permitirán efectuar una correcta comunicación como lo son velocidad de transmisión de datos (baud rate), cantidad de bits de datos, paridad, numero de bits de stop.

Esta comunicación se basa en el envío de la información según el siguiente formato en la figura 2.6. [12]

Data framing

Bit number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Start bit	5-8 data bits								Stop bit(s)		
	Start	Data 0	Data 1	Data 2	Data 3	Data 4	Data 5	Data 6	Data 7	Data 8	Stop	

Figura 2.6 Esquema de envío de datos a través de protocolo de comunicación RS232.

Fuente: Texto en línea [12].

2.2.5 Transductores y señales de campo

Transductor es todo dispositivo o elemento que convierte una señal de entrada de una determinada naturaleza física en una señal de salida de diferente naturaleza, utilizando propiedades intrínsecas del material para realizar la conversión de la energía, normalmente se desea transformar señales de naturaleza físicas o químicas, en magnitudes eléctricas que permitan analizar el comportamiento de la variable física. Estos transductores pueden tener distintos tipos de salidas analógicos, o digitales una salida analógica hace referencia a una señal cuyo valor es conocido para cualquier instante de tiempo, es decir una señal matemática continua. El otro tipo de salida es una señal digital que consiste en la codificación de la señal representada en valores discretos, esto no significa que la señal a codificar sea discreta solo que su representación en este caso corresponde a una señal digital.[21]

2.2.6 Mediciones con transductores.

A) Transductores resistivos: El principio de medida con sensores resistivos se basa en la medida de la variación de la resistencia inducida por la deformación en función de la presión. La resistencia de un conductor eléctrico está definida por la ecuación 2.1. Donde:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} \quad (2.1)$$

R = Resistencia eléctrica

ρ = Resistencia específica

l = longitud

A = Superficie de la sección

Una tracción del conductor aumenta la longitud y reduce la superficie de sección con la consecuencia de un aumento de la resistencia eléctrica, ya que la resistencia específica se mantiene constante. Una deformación provocada por compresión tendría el efecto contrario. Para la realización del principio se utiliza un cuerpo base que se deforma de manera controlado al someterle a presión. A menudo este cuerpo consiste en una membrana con una parte fina. El valor de la deformación en función de la presión se mide mediante una cinta extensiométrica.

Habitualmente se encuentran cuatro cintas extensiométricas en una membrana de las cuales unas están ubicadas en el área de dilatación, otras en el área del recalado. La deformación de la membrana provoca la deformación de las cintas con el efecto de un aumento proporcional de la resistencia (dilatación) o de una reducción (recalado). Para realizar una medición precisa se conecta las cintas a un puente Wheatstone.

B) Transductores piezorresistivos.

El principio de la medida con sensores piezorresistivos es similar al de los sensores resistivos. La diferencia reside en la utilización de semiconductores como cintas extensiométricas en vez de metal y la deformación provoca en este caso una variación de la resistencia específica.

Las cintas metálicas pueden colocarse en cualquier material mientras las cintas semiconductoras están incorporadas como microestructura en la membrana. Por lo tanto las cintas extensiométricas y el cuerpo expuesto a la deformación están compuestas del mismo material. Normalmente se incorpora cuatro cintas en una membrana de silicio formando un puente de Wheatstone.

El gran volumen del efecto piezorresistivo permite la aplicación de estos sensores también para presiones muy bajas. Sin embargo la elevada sensibilidad a efectos de temperatura requiere una compensación de temperatura individual para cada sensor. [22]

2.2.7 Puente de Wheatstone.

Este circuito se conoce con el nombre de puente de Wheatstone. El primero que diseñó un circuito como éste fue S. Hunter Chistie en 1833. Por lo general, la configuración con la que se representa este circuito es la mostrada en la Figura 4, y la condición de equilibrio del Puente, ocurre cuando la corriente por el galvanómetro es igual a cero cuando la resistencia de ambas ramas de la figura 2.7 posean la misma resistencia.[13]

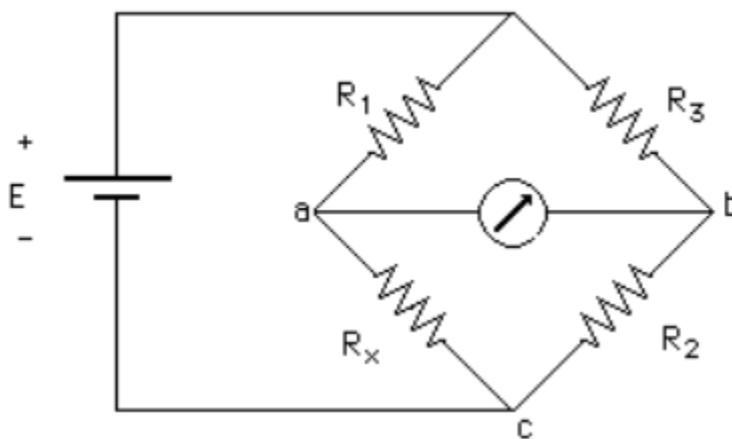


Figura 2.7 Representación usual del Puente de Wheatstone.

Fuente: Texto en línea [13].

Una de las formas de medición más comunes haciendo uso de una configuración de puente de Wheatstone es utilizando una medida por deflexión.

Este es el método habitual de obtener una medida utilizando el puente de Wheatstone, en este caso se desea que el puente esté desequilibrado y se mide la referencia de tensión entre ambas ramas o bien la corriente que por él circula. [14]

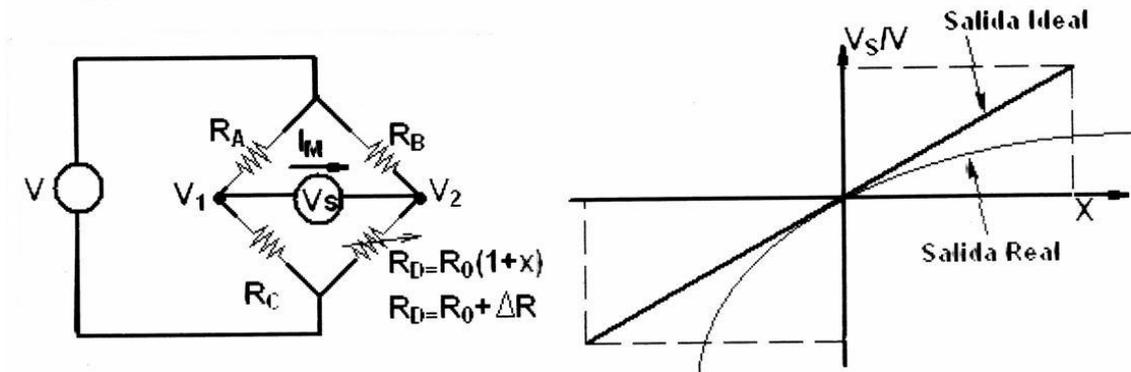


Figura 2.8 Ilustración explicativa sobre la medición con puente de Wheatstone.

Fuente: Apuntes de la profesora Mairim Márquez [14].

2.2.8 Acondicionamiento de Señales.

Según el tipo de salida proveniente de nuestro sensor, transductor o medidor se requerirá algún procesamiento para la señal de forma tal de asegurar compatibilidad con el siguiente dispositivo o para obtener valores de medición más precisos y exactos. Algunos de los procesos de acondicionamiento de señales serán descritos a continuación:

- A) **Amplificación:** Consiste en amplificar la salida del sensor y llevarlo desde un rango inicial a un nuevo rango a una escala diferente, con la finalidad de no trabajar con valores de voltaje pequeños y aprovechar al máximo el rango de conversión digital y obtener una mayor precisión. Generalmente los circuitos de amplificación de señales utilizan amplificadores operacionales que consisten en dispositivos electrónicos con 2 entradas y una salida que según la configuración puede llegar a ser incluso hasta miles de veces la entrada según el factor de ganancia. Uno de los arreglos recomendados para amplificación en caso de utilizar un puente de wheatstone con este método de amplificación es el arreglo de amplificador de instrumentación.
- B) **Aislamiento:** Durante el proceso de medición podrían existir señales fuera de rango que podrían generar daños los dispositivos a continuación que recibirán las señales por lo que es necesario tener aislamiento y atenuación del mismo.

C) Filtrado: Al medir una señal es posible que esta se vea afectada por artefactos (señales invasivas a niveles frecuenciales fuera de nuestra área de estudio), por lo que nos vemos en la necesidad de eliminarlas y filtrar nuestra señal a fin de eliminar los artefactos existentes. [13]

2.2.9 Turbinas.

Se llama turbina a las máquinas donde la energía cinética generada por el movimiento de un fluido (agua, vapor, aire, o productos de la combustión de combustible) se transforma en energía mecánica al producir una fuerza tangencial que impulsa al rotor, debido al choque del fluido con las hélices colocadas alrededor de la circunferencia del rotor. El elemento principal es un rodete o rotor giratorio a través del cual pasa un fluido de forma continua, cambiando este su cantidad de movimiento por acción del fluido.

A) Turbina Hidráulica.

Corresponde a aquellas turbinas donde el fluido utilizado no sufre cambios de densidad considerable al fluir a través del rodete como turbinas de agua, molinos de viento, pero a su vez estas se subdividen en 2 tipos de turbinas. Las turbinas de acción y las turbinas de reacción.

Las turbinas de acción son aquellas donde la corona directriz de la turbina reduce la presión del fluido entrante hasta la presión atmosférica transformando así la energía potencial en energía cinética haciendo que al rodete llegue un fluido a presión constante, es decir energía cinética únicamente.

Las turbinas de reacción son aquellas donde la conversión de la energía potencial ocurre principalmente en el rodete ya que el fluido entra con una presión superior a la atmosférica y a su salida presenta una depresión. [23]

B) Turbina Kaplan.

Las turbinas Kaplan son uno de los tipos más eficientes de turbinas de agua de reacción de flujo axial, se emplean en saltos de pequeña altura y grandes caudales. Las amplias palas o álabes de la turbina son impulsadas por agua a una presión superior a la presión atmosférica.

Los álabes del rodete en las turbinas Kaplan son siempre regulables y tienen la forma de una hélice, mientras que los álabes de los distribuidores pueden ser fijos o regulables.

Para su regulación, los álabes del rodete giran alrededor de su eje, accionados por unas manijas, que son solidarias a unas bielas articuladas a una cruceta, que se desplaza hacia arriba o hacia abajo por el interior del eje hueco de la turbina.

La Turbina Kaplan es una turbo máquina de reacción de hélice con álabes ajustables, de forma que la incidencia del agua en el borde de ataque del álabe pueda producirse en las condiciones de máxima acción, cualesquiera que sean los requisitos de caudal o de carga. Esta turbina debe su nombre al ingeniero Víctor Kaplan (1876-1934) quien concibió la idea corregir el paso de los álabes automáticamente con las variaciones de la potencia.[24]



Figura 2.9 Fotos de la turbina Kaplan perteneciente al Laboratorio de Hidráulica.

Fuente: Propia.

2.2.10 Curvas Características.

Se entiende por curva característica de una máquina la representación gráfica de su funcionamiento, La representación se realiza en un sistema de ejes coordenados cartesianos, figurando en abscisas, en ordenadas, y como parámetros las entidades que entran en juego en el fenómeno físico, y definiendo las escalas convenientes de éstas, se anotan sus magnitudes.

Cada punto de las curvas características es un punto de funcionamiento de la máquina, de tal manera, que aquellas podrían ser definidas como “el lugar geométrico de los puntos en que puede funcionar una turbina hidráulica”.

En el laboratorio, o bien con la máquina real instalada en la central, se realizan los ensayos necesarios haciendo funcionar la turbina de todas las maneras posibles, tomando medidas de las diferentes variables.

Estas variables son: altura neta, caudal turbinado, grado de abertura del distribuidor, potencia útil y revoluciones por minuto de la máquina.

Para tomar estas medidas se necesita un manómetro para medir la altura neta; un caudalímetro para conocer el caudal, un freno tipo Prony o vatímetro para conocer la potencia útil, y un tacómetro para medir la velocidad de giro de la máquina.

En cada uno de los puntos con los que se han construido las curvas “potencia – velocidad de giro”, se pueden anotar los valores del rendimiento y de la velocidad específica.

De la misma manera con que se procede en un plano topográfico para trazar las líneas de nivel, se dibuja la familia de curvas que tienen el mismo rendimiento y la misma velocidad específica, adquiriendo alguna de estas curvas la misma forma que las líneas de nivel de una colina, de ahí su nombre.

Con estos valores, y ya en gabinete, puede calcularse otras variables, con que construir otras curvas características, como son: potencia absorbida, velocidades específicas, par, y sobre todo el rendimiento manométrico. [25]

2.2.11 Ecuaciones básicas.

Dentro del sistema de turbina Kaplan el conocimiento del caudal que pasa por los tramos de tubería es de suma importancia ya que esto representa el volumen hidráulico que puede manejar el sistema a distintas condiciones de operación.

Para conocer la cantidad de flujo con la cual está operando el sistema se utiliza una placa con orificio concéntrico, ubicado a 2,15 m de la entrada de la turbina Kaplan. Esta placa es el elemento principal para la medición de flujo, por medio de las lecturas de presión diferenciales permite determinar el caudal. Esto se obtiene a través de un piezómetro diferencial Hg-H₂O que se encuentran ubicado en tomas conectada en la parte anterior y posterior de la placa que captan esta presión diferencial. [15].

Para el cálculo de la placa de orificio se va a utilizar, la norma ISO 5167. Las ecuaciones de placa orificio vienen dadas por las ecuaciones 2.2 hasta 2.9.

$$Q = C * A_o * \sqrt{\frac{2 * \Delta P_{placa}}{\rho_{H_2O}}} \quad (2.2)$$

Dónde:

Q: Caudal del sistema (m³/s).

C: Ctte de la placa orificio (adimensional).

A_o: Área interna de la placa orificio (m²).

P_{placa}: Delta de presiones (Pa).

$$A_o = \frac{\pi * d^2}{4} \quad (2.3)$$

Dónde:

A_o: Área de orificio (m²).

d: Diámetro del orificio (m).

$$C = \frac{Cd}{\sqrt{1 - \beta^4}} \quad (2.4)$$

Dónde:

C: Ctte de la placa orificio (adimensional).

Cd: Coeficiente de descarga (adimensional).

β : Relación de diámetro (adimensional).

$$\beta = \frac{d}{D_i} \quad (2.5)$$

Dónde:

β : Relación de diámetro (m).

d: Diámetro del orificio (m).

D_i : Diámetro interno de la tubería (m).

El peso específico del agua viene dado por:

$$\gamma = \rho * g \quad (2.6)$$

Dónde:

γ : Peso específico del agua (N/m³).

ρ : Densidad del agua (kg/m³).

g: Gravedad (m/s²).

$$\rho = 1000 - \frac{(T - 4)^2}{180} \quad (2.7)$$

Dónde:

ρ : Densidad del agua (kg/m³).

T: Temperatura del agua (°C).

Para determinar el coeficiente de descarga en placas de orificio, se utiliza la expresión general de Stolz:

$$Cd = 0,5959 + 0,0312\beta^{2,10} - 0,1840\beta^8 + 0,0029\beta^{2,5} \left(\frac{10^6}{Re}\right)^{0,75} + \frac{0,09L_1\beta^4}{(1-\beta^4)} + \dots - 0,0337L_2\beta^3 \quad (2.8)$$

Dónde:

Cd: Coeficiente de descarga (adimensional).

β : Relación de diámetro (adimensional).

Re: Reynolds (adimensional).

$L_1 = l_1 / D$: es la relación que existe entre la distancia desde el plano de la toma de alta presión aguas arriba hasta la cara de la placa orificio y el diámetro de la tubería.

$L_2 = l_2 / D$: es la relación que existe entre la distancia desde el plano de la toma de baja presión aguas abajo hasta la cara de la placa orificio y el diámetro de la tubería.

En el caso de que la Placa orificio sea concéntrica y de cantos vivos, como la del banco en estudio, los valores de L_1 y L_2 serán:

$$L_1 = 1$$

$$L_2 = \frac{1}{2}$$

$$Re = \frac{4 * Q}{* * D_i} \quad (2.9)$$

Dónde:

Re: Reynolds (adimensional).

Q: Caudal del sistema (m³/s).

: μ (adimensional).

: Viscosidad cinemática del agua (m²/s).

D_i : Diámetro interno de la tubería (m).

La velocidad que experimenta el fluido en la tubería de entrada y de salida de la turbina esta influenciada por el área interna de la tubería y el caudal que fluye por la misma viene dada por la ecuación 2.10.

$$v = \frac{Q}{A} \quad (2.10)$$

Dónde:

Q: Caudal del sistema (m³/s)

v: Velocidad lineal (m/s)

A: Área de la sección transversal de la tubería (m²)

Estas ecuaciones se obtienen de la aplicación y adaptación de las ecuaciones diferenciales Bernoulli al sistema del banco de la Turbina Kaplan instalado en el Laboratorio de Hidráulica Elías Sánchez Díaz.

$$H = \frac{P_e - P_s}{\gamma} + \frac{V_e^2 - V_s^2}{2g} + Z_e - Z_s \quad (2.11)$$

Dónde:

H = Altura Neta (m).

P = Presión (N/m²).

V = Velocidad (m/s).

γ = Peso específico (N/m³).

g = Gravedad (m/s²).

Z = Altura (m).

$$\eta = \frac{P_a}{P} * 100 \quad (2.12)$$

Dónde:

: Eficiencia (%).

P_a: Potencia hidráulica (W).

P: Potencia al freno (W)

$$P = Q * \rho * g * H \quad (2.13)$$

Dónde:

P: Potencia hidráulica (W).

Q: Caudal del sistema (m³/s).

ρ : Densidad del agua (kg/m³).

g: Gravedad (m/s²).

H = Altura Neta (m).

$$P_a = 0,1047 * N * M = 0,1047 * N * (W - F) * d \quad (2.14)$$

Dónde:

P_a : Potencia al freno (W).

N: Velocidad de giro (RPM).

M: Fuerza torsional (N*m).

W: Pesas (N).

F: Dinamómetro (N).

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

De acuerdo con Aular M. (2013). [16]. Toda investigación se fundamenta en un marco metodológico, este definirá el uso de métodos, técnicas, instrumentos, estrategias y procedimientos a utilizar en el desarrollo de la investigación.

La metodología del proyecto incluye el tipo de investigación, las técnicas y los procedimientos que serán utilizados para llevar a cabo la indagación, es el ¿cómo se realizará el estudio para responder al problema?”. Arias. F (2012) [17].

3.1 Tipo de investigación.

El estudio se enmarcó dentro de una investigación de carácter descriptivo, Según Arias. F (2012) [17]. Define: “la investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a profundidad de los conocimientos se refiere.

Es descriptiva puesto que se dispone de elementos que llevan un orden y secuencia para realizar la recolección de datos en situaciones y actitudes predominantes en el sitio de estudio, ya que se obtienen directamente de la realidad tomando en cuenta sus efectos causales.

Describir en términos metodológicos consiste en indicar todas las características del fenómeno que se estudia Hernández S y otros (2012) [18], precisan aún más esto señalando que “desde el punto de vista científico, describir es medir”. Esta última definición es importante, por cuanto implica por parte del investigador la capacidad y disposición de evaluar y exponer, en forma detallada, las características del objeto de estudio.

Agrega además Tamayo M, (1997) [19]. Aclara que “cuando los datos se recogen directamente de la realidad, por lo cual los denominados primarios, su valor radica en que permite cerciorarse de las verdaderas condiciones en que se han obtenido los datos”.

3.2 Diseño de la Investigación.

Ya definida la tipología de la investigación se hace necesario concretar cómo se va a recolectar toda la información indispensable para revelar la naturaleza del tema de estudio.

Un diseño de investigación se define como el plan global de investigación que integra de un modo coherente y adecuadamente correctas técnicas de recogida de datos a utilizar, análisis previstos y objetivos. El diseño de una investigación intenta dar de una manera clara y no ambigua respuestas a las preguntas planteadas en la misma.

Esta investigación es de tipo experimental, según Hernández y otros (2012) [8], en este tipo de investigación se manipulan deliberadamente una o más variables independientes (supuestas causas), para analizar las consecuencias de esa manipulación sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos), dentro de una situación de control para el investigador.”

3.3 Población y muestra.

Dentro de una investigación es importante establecer cuál es la población a estudiar y si no es posible medir toda la población, se toma una muestra representativa teniendo en cuenta que la característica fundamental del estudio está basado en la población que es accesible, “que es una población finita de la población objetivo, a la que realmente se tiene acceso y se denomina una muestra”. (Arias, 2006). [7]

La población de este trabajo está integrada por todas las posibles mediciones que se pueden realizar con la turbina la cual posee la capacidad de variación de los ángulos del rodete en 9 diferentes posiciones [-5°, 0°, 5°, 10°, 15°, 20°, 25°, 30°, 35°], y al igual que la variación de los ángulos del distribuidor que posee 9 posibles posiciones [1”, 1 1/8”, 1.25”, 1 3/8”, 1.5”, 1 5/8”, 1.75”, 1 7/8”, 2”], adicionalmente la bomba del banco de la turbina posee un selector de velocidades que a su vez posee 7 posibles posiciones [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7], finalmente otro factor que se debe considerar al momento de realizar las mediciones es la velocidad de la turbina la cual se estudia en 5 distintos valores [200rpm, 400rpm, 600rpm, 800rpm, 1000rpm, 1200rpm].

El criterio utilizado para la selección de la muestra es trabajar en aquellos rangos de medición que no impliquen un esfuerzo excesivo a ningún elemento del banco de la turbina Kaplan, por lo que la selección final de los rangos corresponde a las 9 posiciones de los ángulos del rodete, las 9 posiciones del ángulo del distribuidor, solo las primeras 5 velocidades de la bomba del banco de la turbina y por último los primeros 4 valores de velocidad de estudio de la turbina Kaplan.

3.4 Metodología de la investigación.

De acuerdo con los objetivos planteados en esta investigación, se presentan las diferentes fases necesarias para desarrollar el proyecto.

3.4.1 FASE I. Selección de sensores y módulos de acondicionamiento de señal.

El objetivo de esta fase es determinar que componentes se implementaran en el sistema de adquisición de datos que permitirán medir la variable física de interés (presión). Existen en el banco de turbina Kaplan 3 zonas de medición que son de nuestro interés, a su vez cada una de estas zonas posee asociada 2 puntos medición los cuales corresponden a distintos tipos de medición de presión según la tabla 3.1.

Tabla 3.1: Distribución de Puntos de Medición

Bomba	Placa Orificio	Turbina
Manométrica	Diferencial	Manométrica
Vacio		Vacio

Fuente: Propia.

Considerando el tipo de medición de presión requerida y teniendo en cuenta las distintas variables que puedan afectar en el proceso de medición especificar los rangos de presión, la compatibilidad de los instrumentos de medición con el medio, el Spam de la salida y tipo de salida (Digital o Analógica) especificar cuál y cuantos transductores serán necesarios al igual que definir qué tipo de acondicionamiento de señal es requerido, para asegurar una optima conversión Analógico/Digital y obtener de esta forma una medida confiable que cumpla con rangos de tolerancia aceptables.

3.4.2 FASE II.- Diseño, implementación y programación del centro de control del sistema de adquisición de datos.

En esta etapa se busca generar el sistema patrón, un sistema virtual que permita verificar el funcionamiento del sistema propuesto antes de ser implementado permitiendo asegurar su funcionamiento al igual que la compatibilidad entre los distintos bloques de medición y acondicionamiento.

Una vez que se obtenga el sistema prototipo se procederá a implementar el sistema por modulo donde cada modulo estará compuesto por el sensor y su correspondiente arreglo de acondicionamiento de la señal, permitiendo así verificar su funcionalidad.

Al haber implementado cada modulo de forma correcta se procederá a realizar la etapa de lectura de la señal, su conversión Analógica/Digital y almacenamiento para luego ser enviada al computador según los protocolos de comunicación disponibles.

Una vez obtenidos los datos en el computador será necesario manipular dichos datos para la representación y construcción de las curvas características de la turbina esta manipulación de datos es hecha a través de del programa Matlab en el cual se diseñara una interfaz gráfica.

FASE III.- Realización de pruebas y calibración de instrumentos transmisores, convertidores de señales y comunicación entre equipos.

Esta etapa consiste en la verificación del funcionamiento del sistema de adquisición de datos implementado en comparación con el sistema virtual modulo por modulo (Adquisición de datos, Acondicionamiento de Señales, Transmisión de datos, Programación Matlab) y finalmente el sistema completo para de esta forma identificar errores, desviaciones o fallas para proceder a realizar cualquier ajuste de calibración necesario correspondiente de forma tal de minimizar cualquier error entre los sistemas y obtener un funcionamiento optimo.

FASE IV.- Generación de un manual de usuario y material de apoyo para el uso correcto del sistema.

Una vez en estado funcional el sistema de adquisición de datos requiere del desarrollo de un manual que explique su metodología de funcionamiento y que explique al usuario como deberá utilizarlo para de esta forma evitar medidas erróneas, malfuncionamiento, danos al sistema y así proteger tanto a los usuarios como a los equipos y asegurar una larga permanencia de forma operativa en el laboratorio.

CAPITULO IV

RESULTADOS

Este capítulo describe los procedimientos utilizado para cumplir con las fases planteadas en el capitulo anterior.

4.1 FASE I. Selección de sensores y módulos de acondicionamiento de señal.

Previo al diseño de un sistema de adquisición de datos lo más importante es la correcta selección de los sensores, transductores, entre otros. Ya que estos elementos son los que definirán el rango de trabajo del sistema, sus limitaciones y su funcionamiento; es por esto que se requiere un análisis exhaustivo del proceso y sus características antes de proceder a realizar esta selección.

En cuanto a la selección de los sensores se decidió utilizar aquellos que no comprometieran la calidad de las mediciones, que sean de bajo costo, y que fueran adecuados para el sistema de adquisición de datos, por ello se decidió utilizar un tipo sensor de presión para montaje en protoboard. Son sensores miniatura de baja presión que proporcionan una salida de voltaje que cambia según la presión que se le aplique al mismo.

Una vez seleccionado el tipo de sensor a utilizar es necesario definir todos los criterios que permitirán caracterizarlo. Para ello basados en la guía de sensores de montaje en protoboard proporcionada por Honeywell se procedió a descartar opciones según los requerimientos del sensor necesarios para el proceso, un parámetro crítico e indispensable fue la compatibilidad del medio, la cual debe permitir al sensor realizar medidas en medios líquidos sin exponerse a daños, otro criterio es el rango de presión que es capaz de medir el sensor debido a que las mediciones realizadas se encuentran entre (- 2 y 9) psi.

La selección también quedó sujeta al tipo de presión a medir, ya que en este proceso se deben utilizar sensores que permitan mediciones de presión diferencial, absoluta y de vacío.

El último criterio es el tipo de salida que suministra el sensor, en este caso se decidió utilizar sensores de salida de tipo analógico, no amplificada, ya que el sistema de adquisición de datos a implementar tiene la capacidad de realizar conversión analógico/digital, permitiendo una disminución de costos y además debido a que el entorno donde se implementarán no expone al sensor a temperaturas variantes, ni extremas, que afecten su funcionamiento, no fue necesario implementar sensores compensados ante variaciones de temperatura.

De acuerdo al análisis de todos estos criterios, los sensores de la serie 24PC son los requeridos, según la guía de selección de sensores de presión para el montaje en protoboard Honeywell.

Al definir la serie 24PC se consigue un nuevo conjunto de opciones de selección, que incluyen sensores de baja presión en miniatura desde 0.5 psi hasta 250 psi. Para este caso, la elección se hizo en función de los valores máximos registrados en los puntos de medición del banco de turbina Kaplan, ver tabla 4.1. Por lo que los sensores seleccionados de la serie 24PC corresponden a los sensores HW24PCCFA6G y HW24PCBFA6D con rangos de presión de 15psi y ± 5 psi.

Tabla 4.1 Distribución de Puntos de Medición y Valores Máximos.

Bomba	Placa Orificio	Turbina
Manométrica 7 Psi	Diferencial 5.1 Psi	Manométrica 9 Psi
Vacío 2 Psi		Vacío 0Psi

Fuente: Propia.

Cada uno de estos sensores se presentan en un módulo encapsulado 4-SIP, de 4 pines, en los que la medición se realiza aprovechando el efecto de la piezoresistividad, es decir, que al aplicar al sensor una presión a través de sus puertos y llegar al diafragma se produce una variación de la resistencia, dicha variación se ve reflejada en la salida del sensor gracias a la configuración de puente de Wheatstone.

Adicionalmente se observan que para el sensor de $\pm 5\text{psi}$ se tendrá una salida de 115mV y para los sensores de presión de 15psi el rango de salida es de 225mV .



Figura 4.1 Sensores HW24PCBFA6D y HW24PCCFB6G.

Fuente: Honeywell. [20]

Los sensores seleccionados para esta investigación son tres (3): el primero es un modelo HW24PCBFA6D y los otros dos modelos HW24PCCFB6G (Ver figura 4.1), el sensor HW24PCBFA6D de tipo diferencial se empleo para las mediciones de vacío, debido a su rango de presión no puede ser utilizado para la medición diferencial, lo cual hace necesario que la medición en la placa orificio deba realizarse a través de la diferencia obtenida entre ambas mediciones absolutas.

Estos sensores se dispondrán en un tablero con la finalidad de ser protegidos del ambiente húmedo del laboratorio, los sensores se encontrarán conectados al cuerpo del banco de la turbina Kaplan a través de mangueras de 8mm que a su vez están conectadas a distintas válvulas, con la finalidad de poder separar cada sensor del punto de medición cuando sea necesario.

Adicionalmente, se implementó un arreglo de válvulas que permite conectar un mismo sensor a dos puntos de medición.

Todas estas conexiones se ubicarán en una lámina fijada en la parte externa del tablero donde se pueden realizar estos cambios de forma rápida y segura evitando posibles fallas debido a fugas en conexiones. Ver figura 4.2.

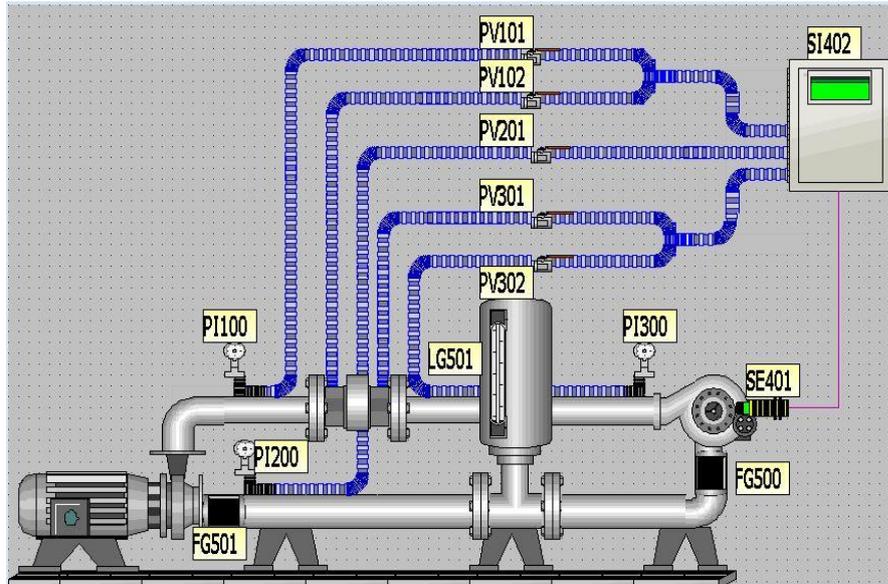


Figura 4.2 Esquema de Conexiones de sensores.

Fuente: Propia.

Se hace evidente la necesidad de realizar la amplificación de la señal de salida de los sensores, ya que estas corresponden a un valor máximo de 225 mV y 115mV respectivamente, los cuales son valores muy pequeños en comparación con el rango de conversión analógico/digital que va de 0V a 5V. Es por esto que se decide emplear un amplificador diferencial de instrumentación (ver figura 4.3), el cual asegura condiciones de medición y amplificación óptimas en las conexiones debido a su alta impedancia de entrada, se conectan a la salida del puente de Wheatstone y de esta forma, se aprovecha al máximo la resolución del convertidor A/D y se obtiene una lectura más precisa.

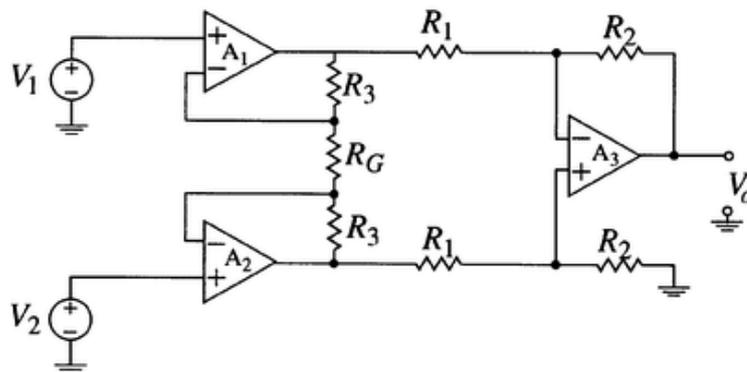


Figura 4.3 Amplificador de Instrumentación.

Fuente: Apuntes Prof. Mairim Márquez.[14]

En la figura 4.4 y 4.5, se observa que el sistema de acondicionamiento de la señal utilizado en cada uno de los módulos de los sensores tiene una variación con respecto al sistema mostrado en la figura 4.3, donde se adicionó un seguidor de tensión en la referencia negativa del sensor, que permite mantener la salida intacta al momento de medirla. La selección del integrado lm324 proporciona una alta impedancia que evita alterar las mediciones durante la calibración y/o el mantenimiento.

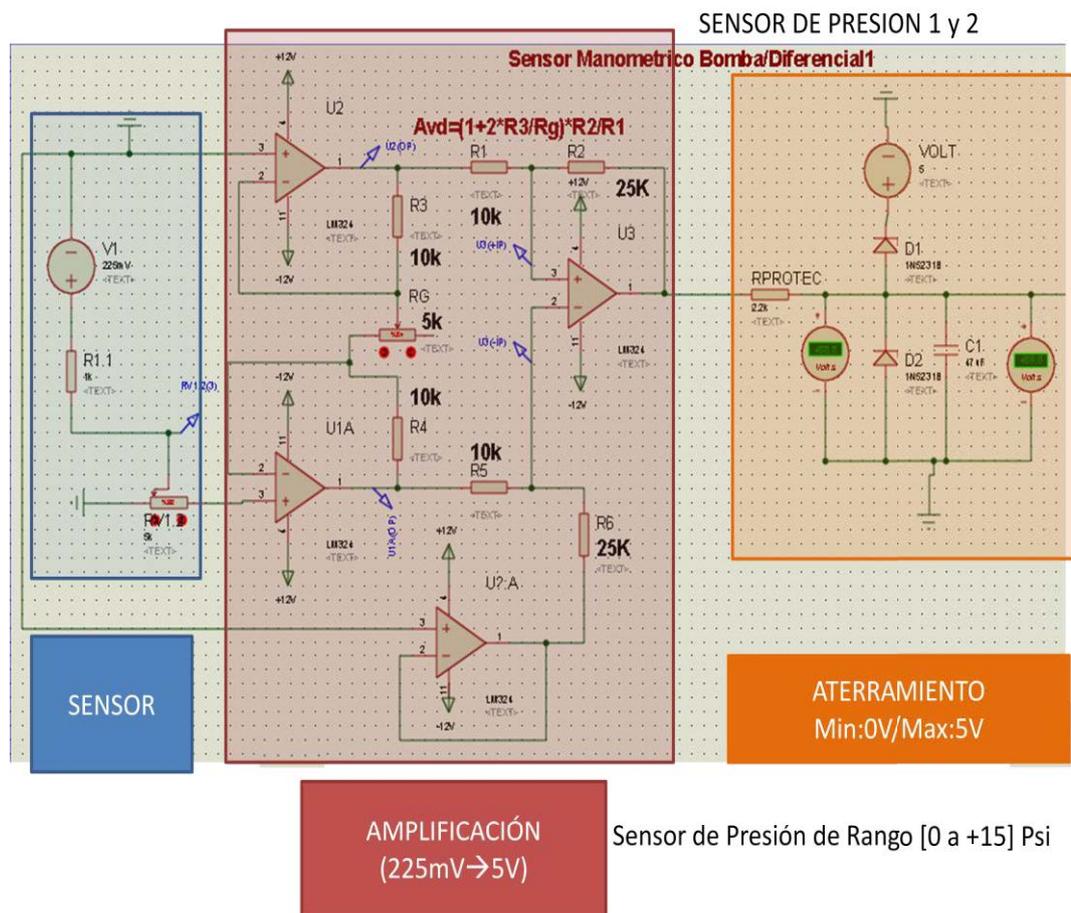


Figura 4.4 Esquemático del módulo de acondicionamiento de la señal correspondiente al sensor de 15 psi.

Fuente: Propia.

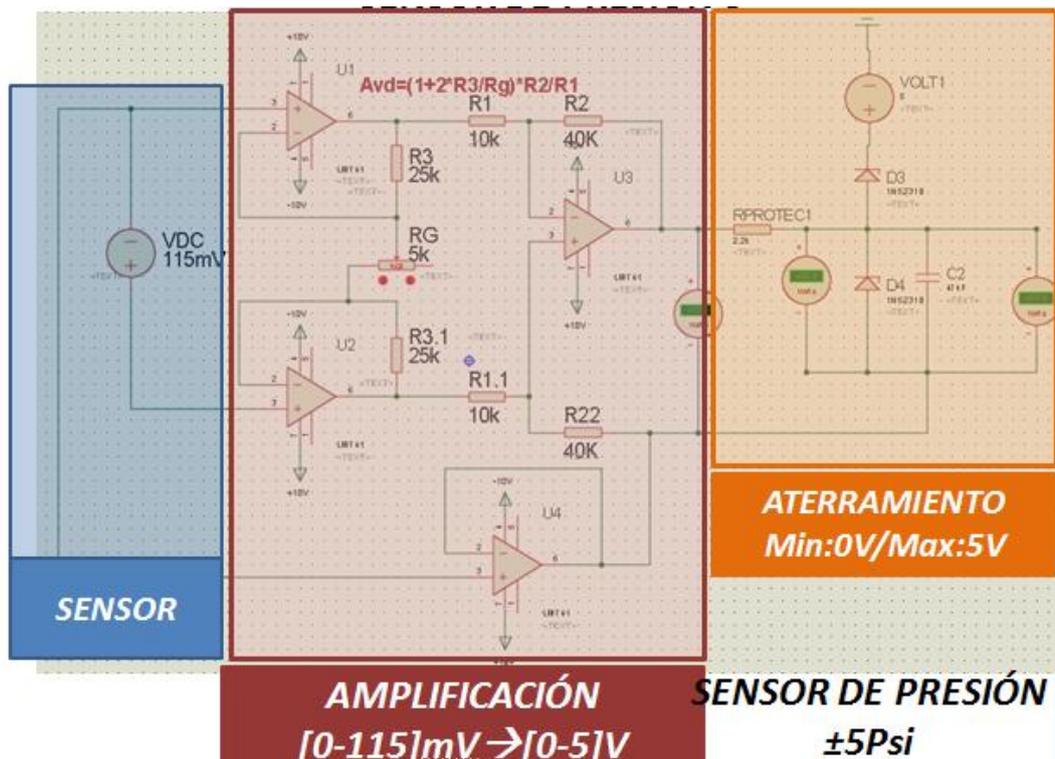


Figura 4.5 Esquemático del módulo de acondicionamiento de la señal proveniente del sensor de 5 psi.

Fuente: Propia.

Para evitar que se sobrepasen los rangos permisibles se implementó un circuito de aterramiento en cada una de las entradas, los rangos permisibles expuestos son $[-0,3V < AnX < 5,3V$ donde $X=1,2,3$], según la hoja de datos del PIC16F887, para ello se utiliza el diseño mostrado en la figura 4.6, el cual está basado en dos diodos zener ambos de 5.1 V que aseguran que el voltaje no sobrepase dichos valores.

Este diseño además introduce una resistencia de 2.2KΩ que protege la entrada analógica del microcontrolador (An0, An1 y An2) ante valores de corriente superiores al límite expuesto por la hoja de datos del microcontrolador correspondiente a un valor de 20mA, finalmente se agrega un capacitor como filtro para disminuir los picos de sobretensión.

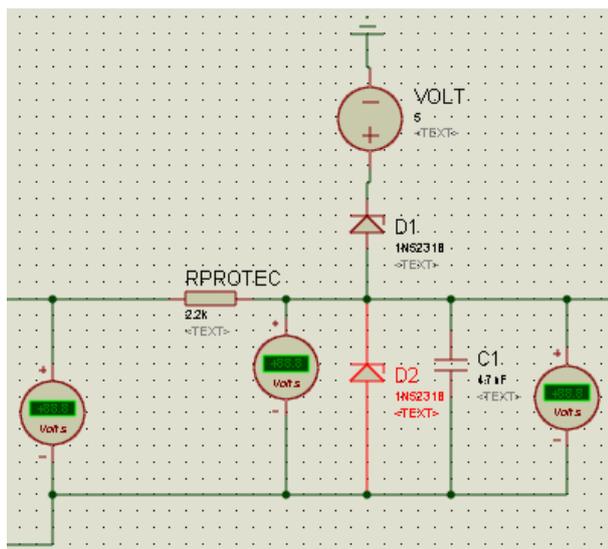


Figura 4.6 Circuito de protección acoplado a la salida de cada amplificador de los sensores.

Fuente: Propia.

4.2 FASE II. Diseño, implementación y programación del centro de control del sistema de adquisición de datos.

En la figura 4.7 se muestra el proceso en bloques, bajo el diseño de una estructura para SAD, obtenida a partir del estudio del comportamiento del sistema que conforma el banco de turbina Kaplan.

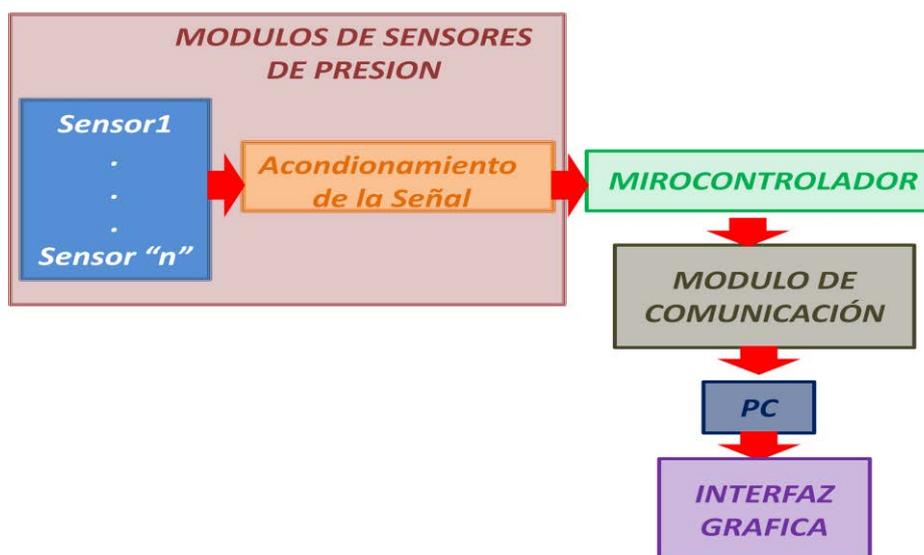


Figura 4.7 Diseño del sistema de adquisición de datos (SAD).

Fuente: Propia.

El circuito de protección acoplado a la salida de cada amplificador de los sensores produce una caída de tensión generada por la resistencia RPROTEC (Ver Figura 4.6), lo que hizo necesario la corrección de este efecto. El ajuste se logró construyendo tablas de compensación, una para cada módulo de aterramiento, debido a las variaciones en la tolerancia de los resistores de carbón y las variables involucradas en la producción de los semiconductores. Las tablas (N° 4.2, 4.3, 4.4) permiten la comparación de las mediciones a la entrada y salida del circuito. Mediante estas tablas de mediciones se levantaron un grupo de gráficas, que permitió el estudio de su comportamiento, seleccionando la línea de tendencia que representa de forma analítica las variaciones generadas y la relación entre la entrada y la salida del sistema. Luego, estas ecuaciones se programaron en el microcontrolador para hacer la compensación del error según el canal de lectura.

El rango presiones a medir en el banco de la turbina Kaplan fijó los límites de las tablas de compensación asociadas a los canales 0, 1 y 2 donde se conectaron los circuitos de aterramiento.

Tabla 4.2 Tabla de mediciones para la compensación del circuito de aterramiento del canal 0.

V	Canal 0	V	Canal 0						
3.102	3.091	2.502	2.502	1.905	1.909	1.309	1.335	0.705	0.821
3.052	3.042	2.452	2.453	1.855	1.861	1.25	1.28	0.655	0.784
3.002	2.993	2.412	2.413	1.801	1.808	1.2	1.233	0.605	0.75
2.952	2.944	2.348	2.349	1.752	1.759	1.157	1.195	0.551	0.714
2.902	2.894	2.308	2.308	1.706	1.714	1.1	1.144	0.506	0.686
2.852	2.845	2.254	2.256	1.657	1.666	1.056	1.105	0.45	0.652
2.802	2.796	2.205	2.207	1.604	1.615	1.001	1.1057	0.411	0.63
2.752	2.747	2.146	2.147	1.556	1.568	0.951	1.015	0.353	0.598
2.702	2.698	2.108	2.11	1.506	1.521	0.903	0.975	0.3085	0.575
2.652	2.649	2.055	2.055	1.449	1.467	0.851	0.933	0.2498	0.546
2.602	2.600	2.007	2.007	1.4	1.42	0.801	0.893	0.2054	0.528
2.552	2.551	1.952	1.957	1.352	1.375	0.755	0.858	0.1568	0.505

Fuente: Propia.

Tabla 4.3 Tabla de mediciones para la compensación del circuito de aterramiento del canal 1.

V	Canal 0								
3.100	3.025	2.500	2.552	1.905	2.008	1.304	1.483	0.702	1.003
3.050	2.985	2.448	2.503	1.851	1.964	1.252	1.44	0.651	0.966
3.000	2.946	2.412	2.47	1.803	1.922	1.202	1.396	0.606	0.935
2.950	2.907	2.352	2.414	1.753	1.877	1.152	1.357	0.552	0.897
2.900	2.867	2.306	2.375	1.705	1.834	1.104	1.316	0.507	0.868
2.850	2.828	2.252	2.324	1.655	1.786	1.047	1.27	0.457	0.83
2.800	2.788	2.217	2.294	1.607	1.747	1.007	1.237	0.402	0.8
2.750	2.749	2.147	2.23	1.551	1.698	0.954	1.195	0.351	0.769
2.700	2.710	2.107	2.194	1.507	1.659	0.904	1.154	0.301	0.739
2.650	2.670	2.048	2.14	1.449	1.61	0.851	1.13	0.252	0.711
2.600	2.631	2.005	2.103	1.403	1.568	0.801	1.078	0.241	0.685
2.550	2.591	1.955	2.058	1.354	1.528	0.751	1.039	0.1531	0.657

Fuente: Propia.

Tabla 4.4 Tabla de mediciones para la compensación del circuito de aterramiento del canal 2.

V	Canal 0	V	Canal 0	V	Canal 0	V	Canal 0	V	Canal 0
2.15	2.1505	1.7	1.710625	1.257	1.275	0.809	0.859	0.35	0.53
2.1	2.101625	1.65	1.66175	1.2	1.22	0.752	0.809	0.3065	0.511
2.05	2.05275	1.6	1.612875	1.155	1.178	0.701	0.766	0.2532	0.489
2	2.003875	1.55	1.564	1.103	1.128	0.65	0.726	0.1992	0.468
1.95	1.955	1.502	1.512	1.05	1.078	0.605	0.691	0.1491	0.451
1.9	1.906125	1.451	1.462	1	1.032	0.554	0.653	0.107	0.44
1.85	1.85725	1.406	1.418	0.95	0.984	0.503	0.617	0.0519	0.427
1.8	1.808375	1.351	1.366	0.901	0.941	0.453	0.586	0	0.42
1.75	1.7595	1.304	1.32	0.852	0.896	0.4	0.556		

Fuente: Propia.

En las figuras 4.8, 4.9 y 4.10 se observan las representaciones de las líneas de tendencia obtenidas para cada canal.

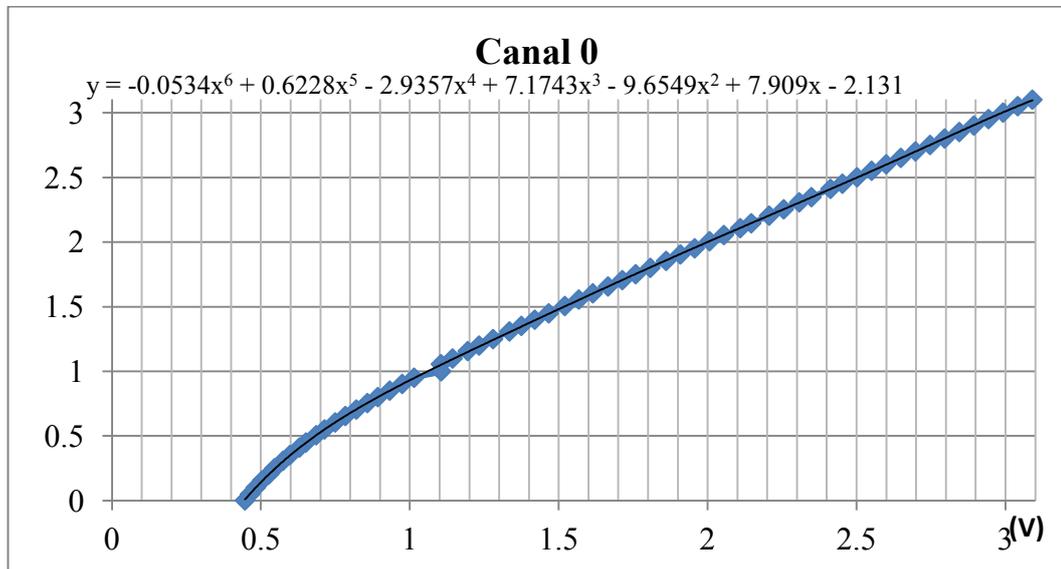


Figura 4.8 Línea de tendencia para compensación del error canal 0.

Fuente: Propia.

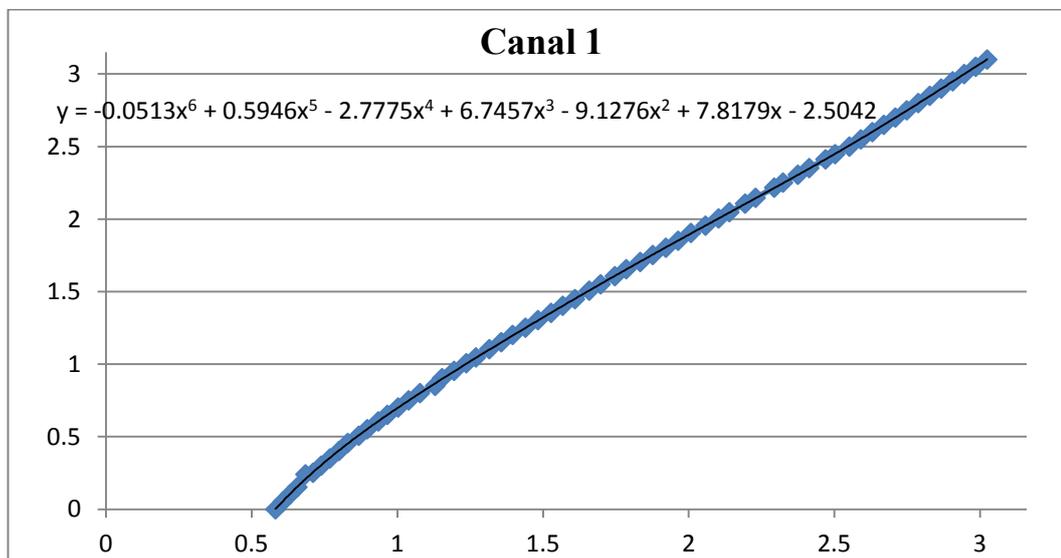


Figura 4.9 Línea de tendencia para compensación del error canal 1.

Fuente: Propia.

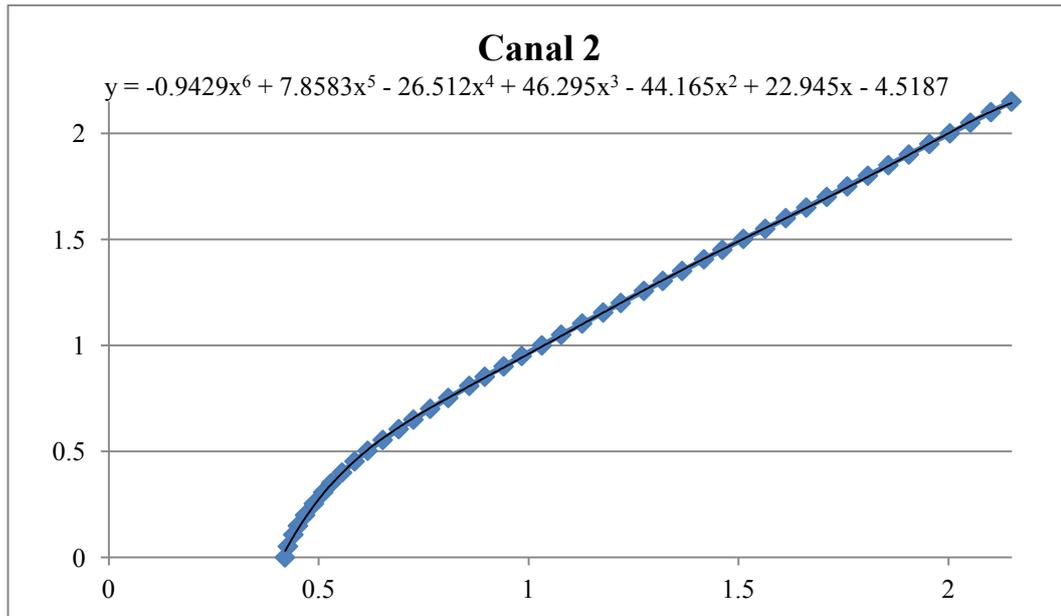


Figura 4.10 Línea de tendencia para compensación del error canal 2.

Fuente: Propia.

Las señales generadas a la salida de cada uno de los sensores llegan a la etapa de amplificación y luego pasan a través del circuito de protección, donde es recibida por los canales de conversión analógico/digital del microcontrolador.

En este punto se aplica la función de compensación, que según el canal analógico del que se obtuvo, se hace la conversión correspondiente a presión. Este valor representa la medición de presión que será enviada a través del protocolo de comunicación serial con un conector DB-9.

La selección de este protocolo está basada en que ambos elementos tanto el PIC, como el computador son capaces de comunicarse a través del mismo y además la interfaz gráfica posee la capacidad de adquirir los datos directamente del puerto DB-9, lo que permite al Software MatLab adquirir el dato para su posterior organización, clasificación y cálculo según los requerimientos de la práctica.

Tabla 4.5 Relación de Canales Analógicos y Sensor de Presión.

Canal Analógico	Span del Sensor (mV)	Rango de Presión (psi)	Factor de Conversión (V→P)
AN0	±115	±5	1
AN1	225	15	3
AN2	225	15	3

Fuente: Propia.

En la figura 4.11 se muestra como la interconexión entre el computador y el microcontrolador pic se establece a través una interfaz basada en el uso del integrado MAX-232. Función de esta interfaz es entonces la de establecer un protocolo de comunicación entre ambos elementos con los niveles de voltaje adecuados.

MODULO COMUNICACIÓN Y COLOR DEL DIAGRAMA

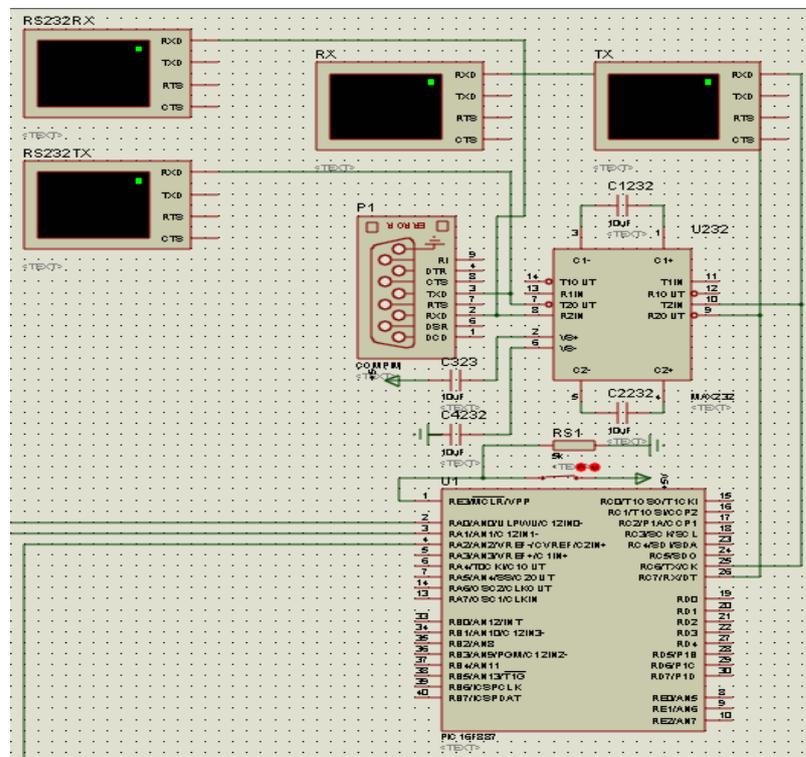


Figura 4.11 Conexiones PIC16F887, Módulo de Comunicación Serial.

Fuente: Propia.

Los diagramas de flujo que se muestran en la figura 4.12 y 4.13 esquematizan la estructura de diseño del sub-programa de medición y del programa principal del microcontrolador.

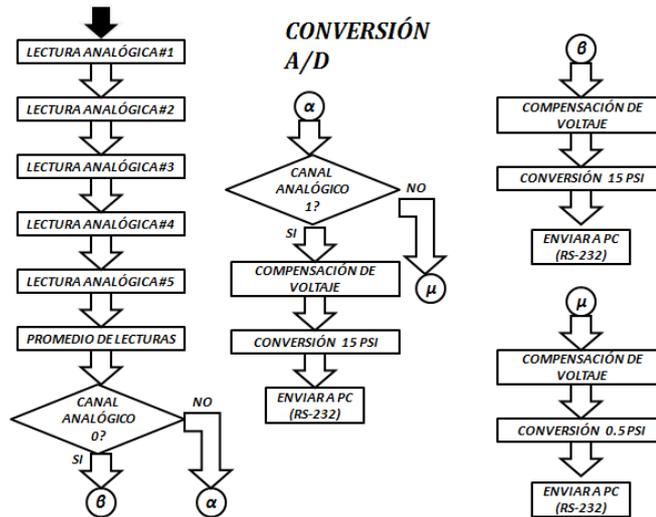


Figura 4.12 Diagrama de Flujo para el Sub-Programa de Medición.

Fuente: Propia.

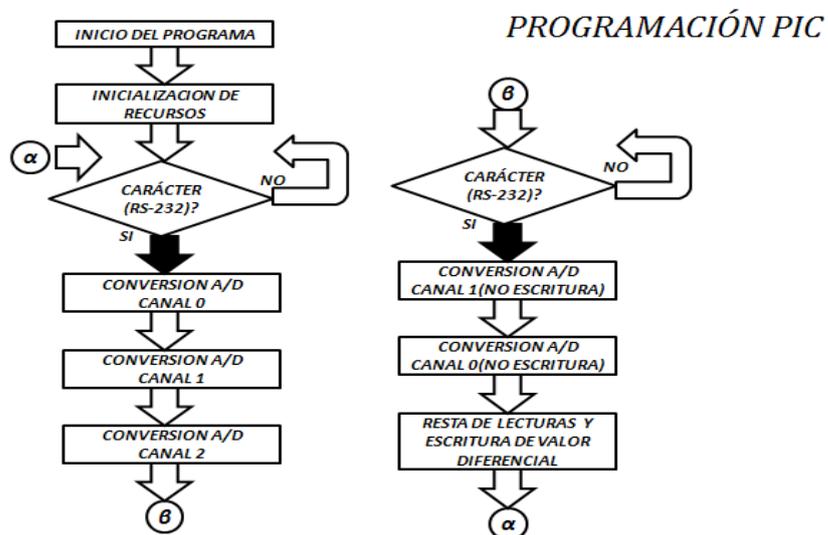


Figura 4.13 Diagrama de Flujo de la Programación Principal.

Fuente: Propia.

La secuencia establecida para la programación del PIC inicia con la lectura de los valores analógicos presentes en alguno de sus canales de entrada (0,1 o 2) y su inmediata conversión a un valor digital, luego se pasa a la fase de conversión y corrección (con el empleo de las tablas 4.2, 4.3, 4.4). Finalmente, se hace uso del protocolo de comunicación serial del PIC para lograr el envío de cada dato hacia el computador.

Los datos serán recibidos en el computador por medio de una interfaz gráfica, la cual estará encargada de interactuar con los distintos usuarios (profesores y estudiantes) y guiarles durante la medición. El diseño de la interfaz gráfica del SAD sirve de orientación en la ejecución cabal de una práctica del laboratorio, evaluando los resultados que se van obteniendo y advirtiéndoles si las mediciones son correctas o no.

4.3 Fase III. Realización de pruebas y calibración de instrumentos transmisores, convertidores de señales y comunicación entre equipos.

La comparación de los valores medidos con el SAD y los valores esperados hizo necesaria la creación de una base de datos construida a partir de registros de las distintas posiciones del ángulo del rodete, del ángulo del distribuidor y de las velocidades de la turbina.

La elaboración de la interfaz gráfica funciona de dos formas dependiendo de la proveniencia de los datos, la primera consiste en la manipulación de datos precargados en tablas que conforman una base de datos patrón, y la segunda adquiere, organiza y manipula los datos provenientes del proceso de medición al momento de realizar la práctica.

El sistema inicializa con su nombre SAD (ver figura 4.14) para luego proceder a definir el tipo de usuario (estudiante o profesor), se hizo a través de un sistema de control de acceso que permite a cada usuario ingresar al sistema (ver figura 4.15), donde solo el usuario “profesor” podrá observar las gráficas obtenidas a partir del sistema de datos precargados.

La metodología para la construcción de la interfaz de acuerdo a los dos tipos de datos descritos fue la siguiente:

Inicialmente el programa da una pequeña introducción a la turbina Kaplan, su funcionamiento, sus posibles aplicaciones y al sistema instalado (ver figura 4.16 y 4.17), para luego comenzar el proceso de mediciones, que consiste en la selección de los parámetros: velocidad de la bomba, ángulo de rodete y el peso en libras colocado sobre el rotor de la turbina (ver figura 4.18), el siguiente paso una vez definido los parámetros es llevar la turbina a la velocidad de medición requerida indicada por el sistema y realizar las mediciones siguiendo la guía del programa el cual irá habilitando al usuario posibilidades de acción según vaya avanzando en las mediciones.

El primer valor a introducir es la lectura del dinamómetro, el cual se puede observar directamente en la turbina. En la figura 4.19 aparecerá habilitada la casilla de introducción de la lectura del dinamómetro, en esta casilla solo se deberán escribir valores numéricos. Una vez introducido el valor se habilitan los botones para “medir”, de manera que al ser pulsados se activan las mediciones de los sensores 0, 1 y 2 correspondientes con las presiones:

- Entrada de la bomba (PV201).
- Salida de la bomba (PV101).
- Entrada de la turbina (PV301).
- Placa orificio (PV101D – PV301D).



Figura 4.14 Ventana de bienvenida e inicialización de la interfaz gráfica.

Fuente: Propia.



Figura 4.15 Ventana de identificación de usuario.

Fuente: Propia.

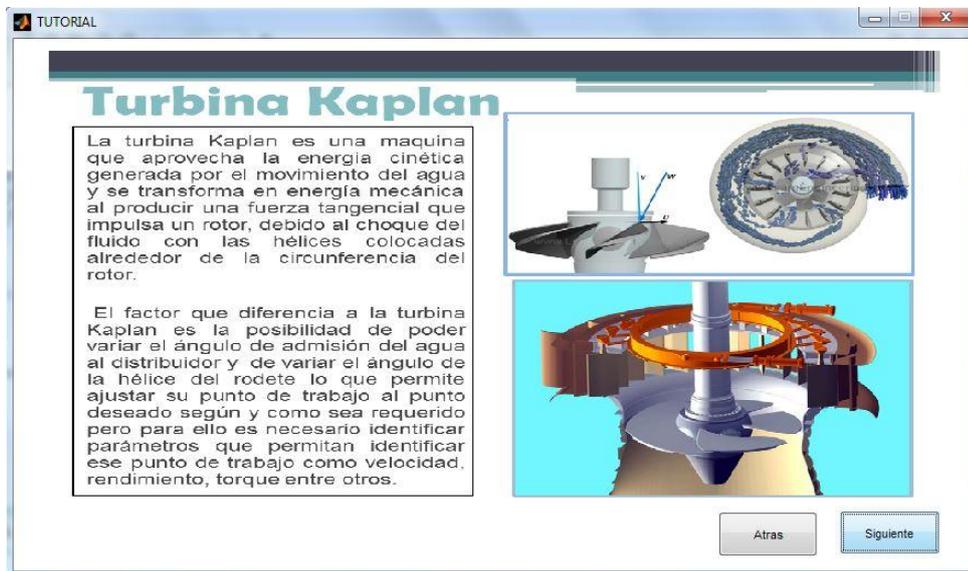


Figura 4.16 Introducción a la Turbina Kaplan.

Fuente: Propia.

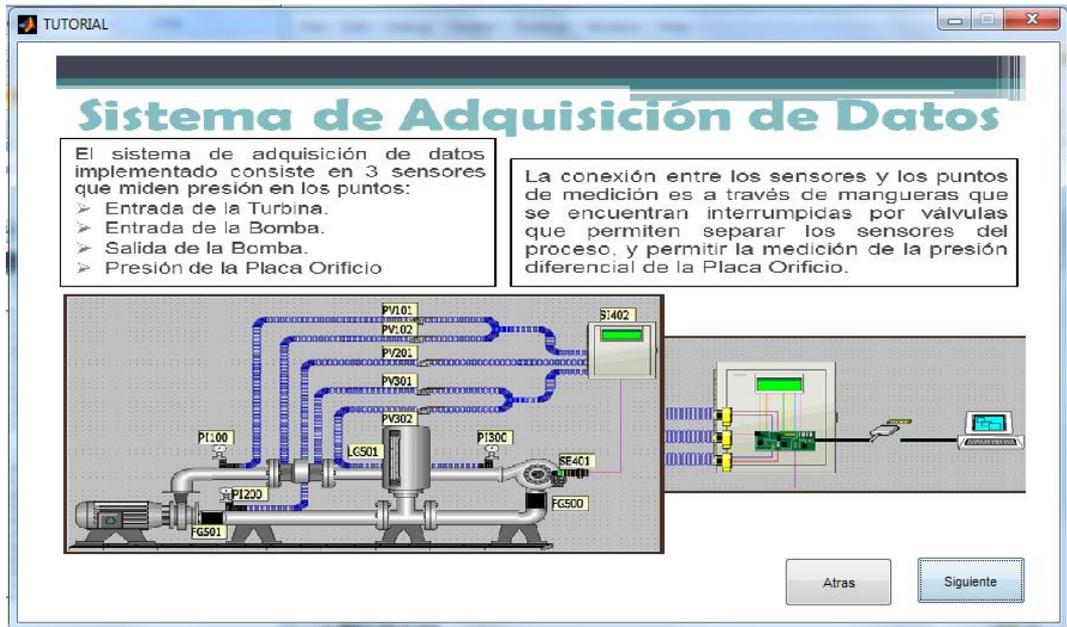


Figura 4.17 Introducción al sistema de adquisición de datos instalado.

Fuente: Propia.



Figura 4.18 Ventana de solicitud de ingreso de parámetros de trabajo para la práctica.

Fuente: Propia.



Figura 4.19 Ventana de mediciones.

Fuente: Propia.

Al momento en que el usuario hace click sobre el botón medir se activa una ventana de mensaje que le indica la posición en que deben encontrarse las válvulas, ver figura 4.20. Al cerrar la ventana el programa a través del cable de conexión envía al microcontrolador un carácter de verificación al PIC, para iniciar el sub-programa CHECK y CONVERSION del microcontrolador.

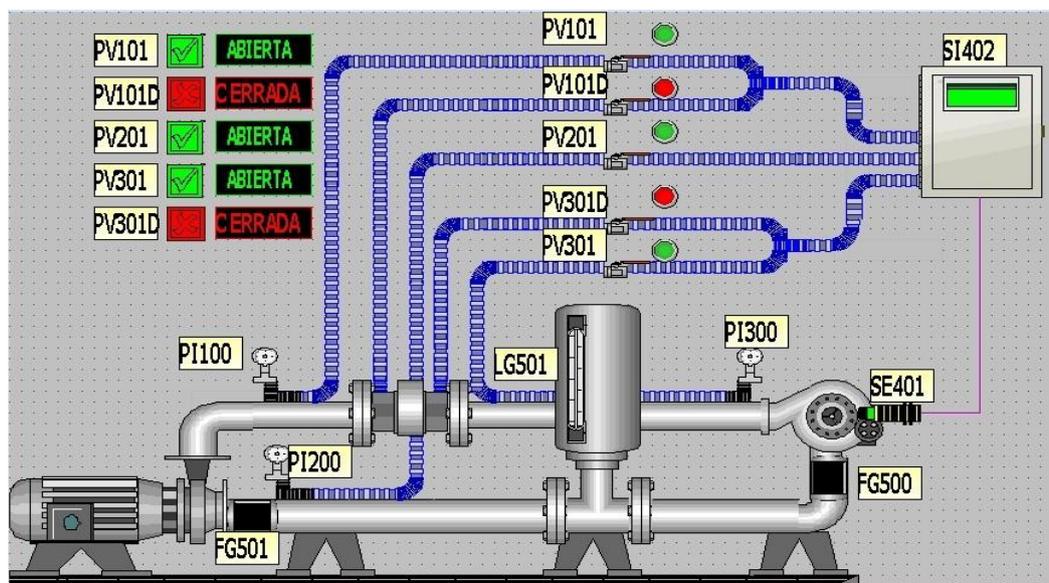


Figura 4.20 Ilustración de la posición de las válvulas para el primer conjunto de mediciones.

Fuente: Propia.

Al hacer click sobre el segundo botón medir se indica al usuario cual debe ser la configuración de válvulas adecuada para realizar la medición correspondiente, ver figura 4.21, una vez que se cierre la ventana al igual que antes el programa envía al PIC un carácter el cual inicia el subprograma de CHECK y CONVERSION que realizan la medición diferencial de las presiones.

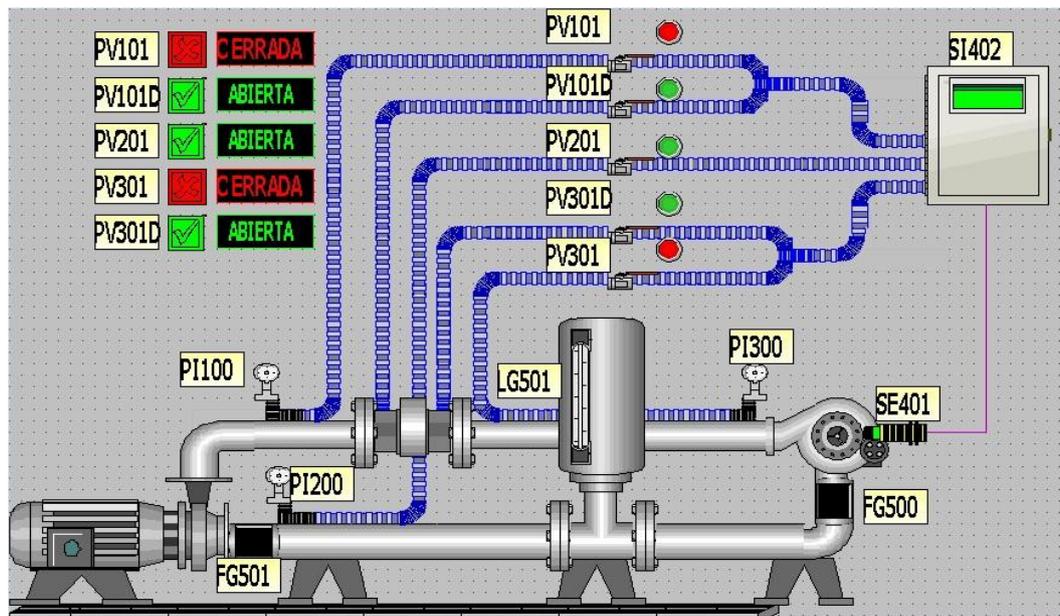


Figura 4.21 Ilustración de la posición de las válvulas para el segundo conjunto de mediciones.

Fuente: Propia.

Este procedimiento se deberá repetir 9 veces (debido a que se deben hacer 9 ajustes en el ángulo del distribuidor a pasos de 1/8" entre 1" hasta 2") para cada velocidad de la turbina, considerando que la velocidad inicial es de 200 RPM y las siguientes velocidades a medir son 400, 600 y 800 RPM, entonces la tabla de mediciones que se genera tiene un total de 36 filas por ángulo del rodete.

Una vez finalizada la toma de mediciones y generada la respectiva tabla, es mostrada al usuario (ver figura 4.22), para posteriormente realizar un procedimiento de conversión de unidades (ver figura 4.23) que permite introducir los valores medidos en las ecuaciones correspondientes en el capítulo 2 (2.1 hasta 2.14).

Estas variables calculadas son dependientes de las presiones de entrada y salida de la bomba, así como también de entrada y salida de la turbina, además de la presión diferencial generada en la placa orificio del banco de la turbina Kaplan.

Una vez obtenida la matriz de datos procesados estos son guardados en una variable global del sistema y mostrados nuevamente al usuario, estas operaciones de cálculo están configuradas para ser realizadas automáticamente en el momento en el que el usuario entre en la etapa descrita y estos datos son representados en las gráficas.

Para la elaboración de las gráficas son necesarios los valores de caudal (ver figura 4.24), y además son requeridos los valores de rendimiento que coinciden entre ellos por ángulo del distribuidor en pasos de 1/8 pulgadas, con lo que el usuario podrá observar la curva característica en colina de la turbina.

En la etapa final de validación de la práctica será necesario que el profesor corrija, empleando su clave de usuario, pudiendo hacer la apertura del par de graficas que tendrá a disposición, donde la primera es la construida por el estudiante y la segunda es una gráfica comparativa elaborada con los datos precargados en la base de datos. Para lograr la realización exitosa de la práctica fueron elaboradas ventanas de error, advertencia y ayuda, que logran a los usuarios reducir errores en el desarrollo.

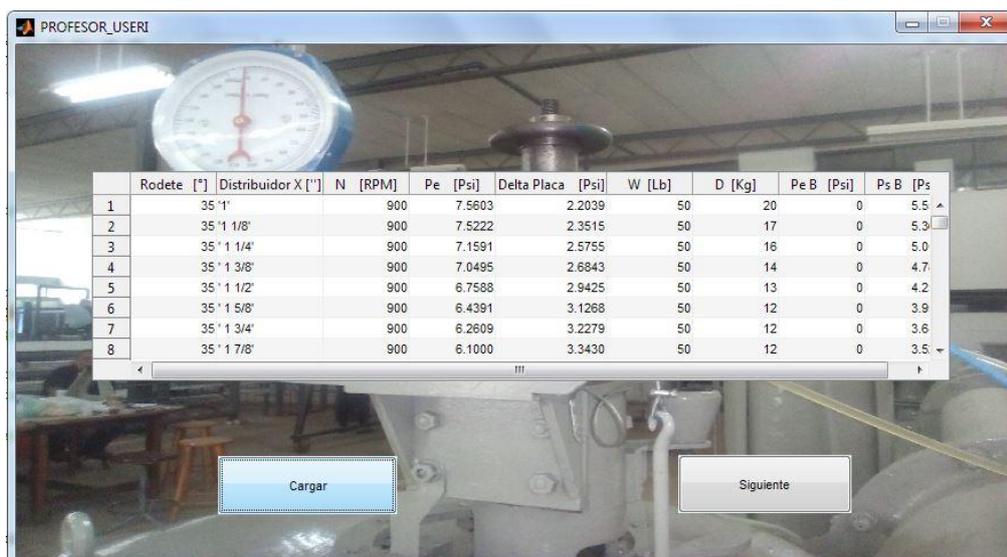


Figura 4.22 Ventana de indicación de mediciones realizadas.

Fuente: Propia.

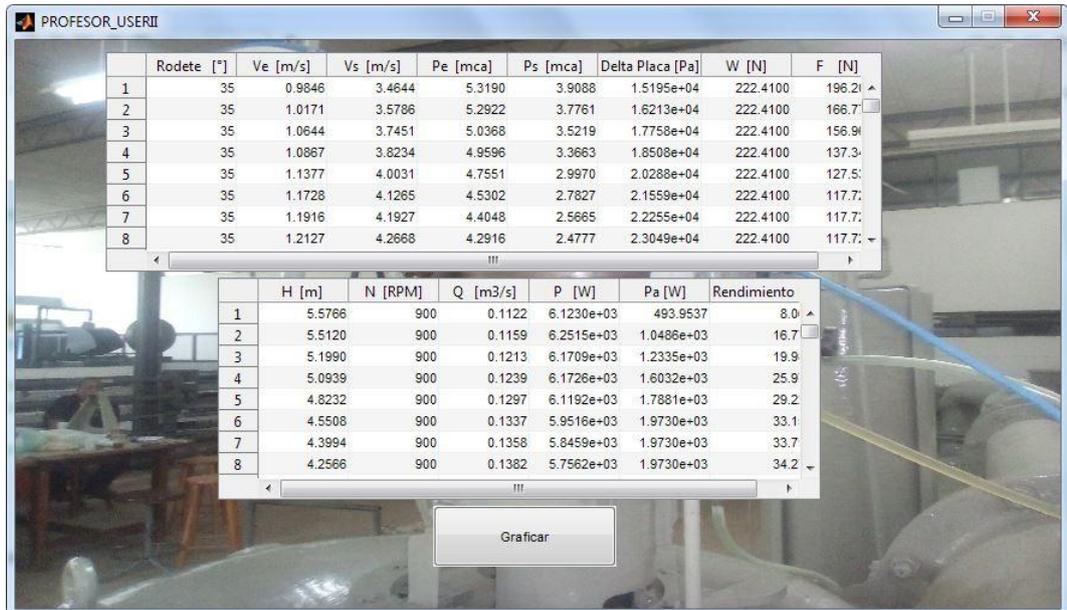


Figura 4.23 Ventana de conversión de unidades y cálculo de variables independientes.

Fuente: Propia.

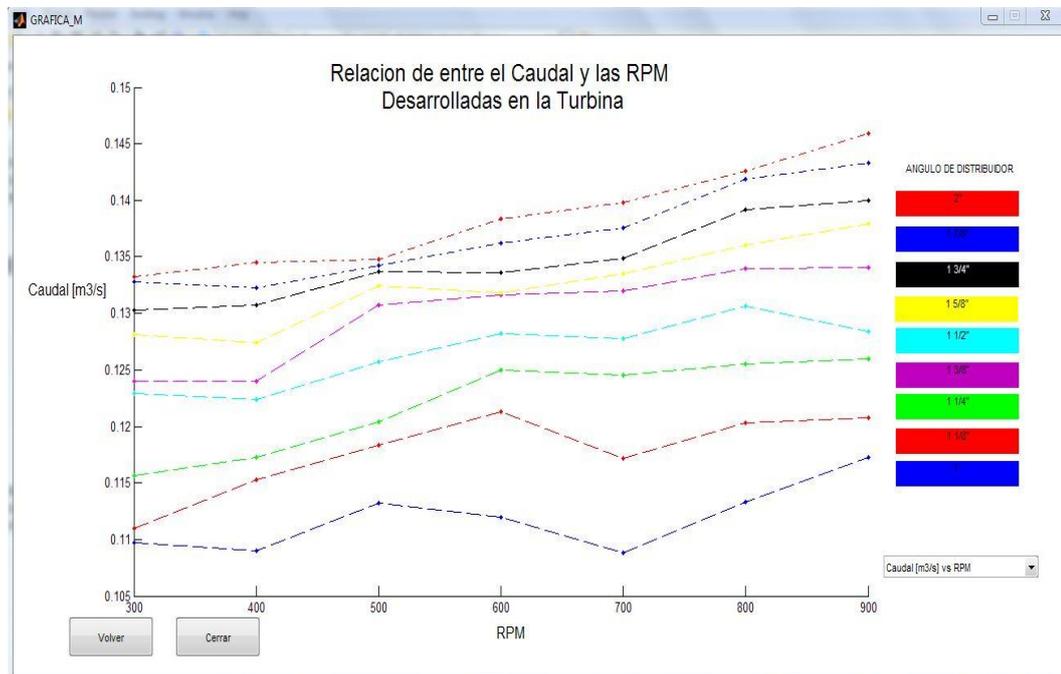


Figura 4.24 Ventana de representación gráfica de las mediciones realizadas.

Fuente: Propia.

Las tablas 4.6 y 4.7 definen las mediciones de comparación realizadas para la verificación del sistema de adquisición de datos. En la tabla 4.6 se muestran los valores de las primeras mediciones, permitiendo ajustar el error entre los sistemas según los resultados de la comparación en todas las mediciones.

Tabla 4.6 Valores de presión en puntos de medición de la turbina. Fuente Propia

Numero De Muestras	Pent Turb Sensor	Psal Bomba Sensor	Pdif Sensor	Pent Turb	Psal Bomb	Pdif
1	6,120,317	5,855,863	2,284,909	6,80	6,20	2,20
2	6,082,171	5,667,266	2,292,536	6,40	6,00	2,21
3	5,719,147	5,305,932	265,658	6,00	5,80	2,50
4	5,609,461	5,084,707	276,538	5,60	5,60	2,68
5	5,318,818	4,559,828	3,023,545	5,30	5,40	2,94
6	4,999,058	4,255,317	3,207,824	4,90	5,20	3,12
7	4,820,858	3,948,008	3,308,858	4,70	5,00	3,22
8	4,659,988	3,821,788	3,574,034	4,40	4,80	3,49
9	4,514,905	3,653,141	3,565,786	4,20	4,70	3,49
10	6,098,932	5,955,001	212,734	6,20	6,00	2,04
11	5,792,944	5,540,275	2,412,744	5,80	5,70	2,33
12	5,624,413	5,168,434	2,637,899	5,60	5,60	2,55
13	5,414,692	4,865,283	286,644	5,20	5,40	2,75
14	5,276,771	461,684	3,022,088	5,00	5,20	2,94
15	4,989,958	4,264,915	3,116,862	4,80	5,10	3,05
16	4,784,559	4,064,092	3,269,721	4,60	4,90	3,18
17	4,678,233	3,809,272	3,400,435	4,40	4,80	3,31
18	4,525,614	3,703,421	3,438,779	4,20	4,60	3,35
19	6,102,028	583,674	1,952,919	6,20	6,00	1,87
20	5,925,754	5,664,647	2,282,474	6,00	5,70	2,20
21	5,737,213	5,355,914	2,593,124	5,60	5,50	2,51
22	5,509,016	5,035,381	2,738,098	5,30	5,40	2,65
23	5,291,781	4,683,229	2,928,423	5,00	5,20	2,84
24	506,977	4,360,784	2,997,388	4,70	4,80	2,91
25	4,801,235	4,138,508	3,062,248	4,40	4,70	2,98
26	4,682,786	3,927,237	3,189,746	4,20	4,60	3,10
27	4,537,858	3,791,195	330,109	4,00	4,40	3,22
28	6,488,751	6,141,294	2,072,175	6,10	6,00	1,99
29	618,456	5,832,874	2,453,788	5,80	5,80	2,37
30	5,900,039	5,467,259	2,611,878	5,40	5,60	2,53

Continuación. Tabla 4.6 Valores de presión en puntos de medición de la turbina. Fuente Propia

31	5,705,688	5,229,364	2,755,284	5,20	5,40	2,67
32	5,516,442	4,906,919	2,912,452	5,00	5,20	2,80
33	498,846	437,035	292,045	4,60	4,80	2,83
34	4,816,334	4,177,034	3,004,114	4,30	4,60	2,92
35	4,630,991	3,918,925	3,127,703	4,20	4,50	3,04
36	4,560,785	3,791,195	3,228,504	4,00	4,40	3,14
37	6,375,433	6,018,193	2,124,937	6,10	5,90	2,04
38	6,264,325	5,929,673	2,331,554	5,90	5,80	2,25
39	5,651,491	5,208,185	2,416,612	5,40	5,40	2,33
40	5,765,789	5,349,357	2,643,285	5,20	5,50	2,56
41	5,659,093	5,107,345	2,871,386	5,00	5,40	2,79
42	541,018	4,789,912	2,950,471	4,80	5,10	2,86
43	5,230,364	4,554,384	3,005,827	4,50	4,90	2,90
44	5,071,233	4,381,288	3,033,956	4,40	4,80	2,92
45	4,902,508	4,112,341	3,056,391	4,10	4,60	2,97
46	5,888,007	5,762,476	1,958,049	5,80	5,50	1,87
47	6,051,785	5,720,079	2,206,922	5,60	5,50	2,10
48	5,737,213	5,366,419	2,285,268	5,20	5,40	2,20
49	5,535,947	5,102,013	2,499,104	5,00	5,10	2,40
50	5,357,722	4,943,123	2,571,412	4,80	5,00	2,50
51	5,197,352	4,685,926	2,719,312	4,70	4,80	2,60
52	4,962,857	437,582	2,872,551	4,40	4,60	2,79
53	4,792,141	4,142,641	2,876,376	4,00	4,40	2,79
54	465,082	4,044,771	3,047,688	3,90	4,20	2,96
55	5,783,817	5,592,206	1,987,133	5,50	5,40	1,87
56	5,725,246	5,441,121	2,035,743	5,40	5,30	1,90
57	5,628,978	5,279,566	2,221,518	5,20	5,10	2,28
58	5,458,062	5,119,306	2,522,661	5,00	5,00	2,44
59	5,348,781	4,993,978	2,571,937	4,90	5,00	2,49
60	5,597,499	5,035,381	2,751,141	4,80	5,00	2,67
61	5,461,175	4,824,937	2,848,989	4,80	5,00	2,76
62	5,342,723	4,727,841	2,964,789	4,70	4,90	2,88
63	4,872,381	4,314,249	2,986,678	4,30	4,40	2,94

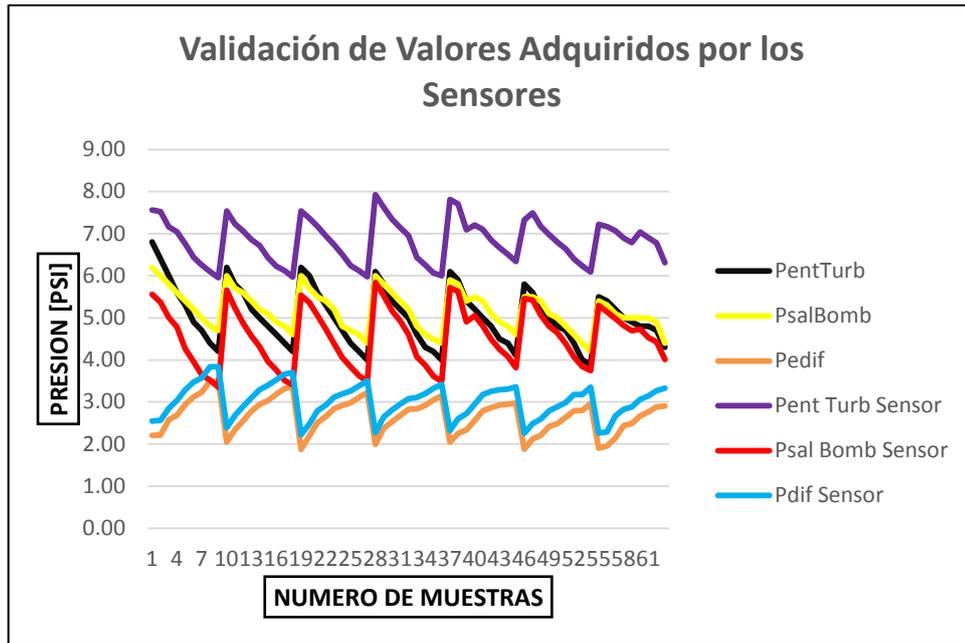


Figura 4.25 Gráfica comparativa de valores adquiridos.

Fuente: Propia.

En la figura 4.17 se muestra la relación entre las presiones de manómetros y los sensores, utilizando los instrumentos como patrón para los reajustes de las líneas de tendencia estimadas previamente y cargadas al pic. Donde los valores del sensor 1 estuvieron por encima de los manométricos en un error apreciable de 1Psi mientras que en el caso del sensor 2 se estima un error por debajo de los valores manométricos en aproximadamente 0.5 psi. Se realizaron ajustes a las curvas de medición de los manómetros mediante una maleta de calibración neumática de precisión “Wallace & Tiernan Pennwalt Portable Precisión Pneumatic Calibrator FA-145” (Ver Anexo), de esta manera las medidas patrón son confiables y efectivas en la realización de ajustes.

Tabla 4.7 Valores Corregidos de presión en puntos de medición de la turbina.

Fuente: Propia.

Numero De Muestras	Pent Turb Sensor	Psal Bomba Sensor	Pdif Sensor	Pent Turb	Psal Bomb	Pdif
1	6.000317	5,855,863	2,403,909	6,80	6,20	2,20
2	5.962171	5,667,266	2,411,536	6,40	6,00	2,21
3	5.599147	5,305,932	277,558	6,00	5,80	2,50
4	5.489461	5,084,707	288,438	5,60	5,60	2,68

Continuación. Tabla 4.7 Valores Corregidos de presión en puntos de medición de la turbina. Fuente: Propia.

5	5.198818	4,559,828	3,142,545	5,30	5,40	2,94
6	4.879058	4,255,317	3,326,824	4,90	5,20	3,12
7	4.700858	3,948,008	3,427,858	4,70	5,00	3,22
8	4.539988	3,821,788	3,693,034	4,40	4,80	3,49
9	4.394905	3,653,141	3,684,786	4,20	4,70	3,49
10	5.978932	5,955,001	224,634	6,20	6,00	2,04
11	5.672944	5,540,275	2,531,744	5,80	5,70	2,33
12	5.504413	5,168,434	2,756,899	5,60	5,60	2,55
13	5.294692	4,865,283	298,544	5,20	5,40	2,75
14	5.156771	461,684	3,141,088	5,00	5,20	2,94
15	4.869958	4,264,915	3,235,862	4,80	5,10	3,05
16	4.664559	4,064,092	3,388,721	4,60	4,90	3,18
17	4.558233	3,809,272	3,519,435	4,40	4,80	3,31
18	4.405614	3,703,421	3,557,779	4,20	4,60	3,35
19	5.982028	583,674	2,071,919	6,20	6,00	1,87
20	5.805754	5,664,647	2,401,474	6,00	5,70	2,20
21	5.617213	5,355,914	2,712,124	5,60	5,50	2,51
22	5.389016	5,035,381	2,857,098	5,30	5,40	2,65
23	5.171781	4,683,229	3,047,423	5,00	5,20	2,84
24	4.94977	4,360,784	3,116,388	4,70	4,80	2,91
25	4.681235	4,138,508	3,181,248	4,40	4,70	2,98
26	4.562786	3,927,237	3,308,746	4,20	4,60	3,10
27	4.417858	3,791,195	342,009	4,00	4,40	3,22
28	6.368751	6,141,294	2,191,175	6,10	6,00	1,99
29	6.06456	5,832,874	2,572,788	5,80	5,80	2,37
30	5.780039	5,467,259	2,730,878	5,40	5,60	2,53
31	5.585688	5,229,364	2,874,284	5,20	5,40	2,67
32	5.396442	4,906,919	3,031,452	5,00	5,20	2,80
33	4.86846	437,035	303,945	4,60	4,80	2,83
34	4.696334	4,177,034	3,123,114	4,30	4,60	2,92
35	4.510991	3,918,925	3,246,703	4,20	4,50	3,04
36	4.440785	3,791,195	3,347,504	4,00	4,40	3,14
37	6.255433	6,018,193	2,243,937	6,10	5,90	2,04
38	6.144325	5,929,673	2,450,554	5,90	5,80	2,25
39	5.531491	5,208,185	2,535,612	5,40	5,40	2,33
40	5.645789	5,349,357	2,762,285	5,20	5,50	2,56

Continuación. Tabla 4.7 Valores Corregidos de presión en puntos de medición de la turbina. Fuente: Propia.

41	5.539093	5,107,345	2,990,386	5,00	5,40	2,79
42	5.29018	4,789,912	3,069,471	4,80	5,10	2,86
43	5.110364	4,554,384	3,124,827	4,50	4,90	2,90
44	4.951233	4,381,288	3,152,956	4,40	4,80	2,92
45	4.782508	4,112,341	3,175,391	4,10	4,60	2,97
46	5.768007	5,762,476	2,077,049	5,80	5,50	1,87
47	5.931785	5,720,079	2,325,922	5,60	5,50	2,10
48	5.617213	5,366,419	2,404,268	5,20	5,40	2,20
49	5.415947	5,102,013	2,618,104	5,00	5,10	2,40
50	5.237722	4,943,123	2,690,412	4,80	5,00	2,50
51	5.077352	4,685,926	2,838,312	4,70	4,80	2,60
52	4.842857	437,582	2,991,551	4,40	4,60	2,79
53	4.672141	4,142,641	2,995,376	4,00	4,40	2,79
54	4.53082	4,044,771	3,166,688	3,90	4,20	2,96
55	5.663817	5,592,206	2,106,133	5,50	5,40	1,87
56	5.605246	5,441,121	2,154,743	5,40	5,30	1,90
57	5.508978	5,279,566	2,340,518	5,20	5,10	2,28
58	5.338062	5,119,306	2,641,661	5,00	5,00	2,44
59	5.228781	4,993,978	2,690,937	4,90	5,00	2,49
60	5.477499	5,035,381	2,870,141	4,80	5,00	2,67
61	5.341175	4,824,937	2,967,989	4,80	5,00	2,76
62	5.222723	4,727,841	3,083,789	4,70	4,90	2,88
63	4.752381	4,314,249	3,105,678	4,30	4,40	2,94

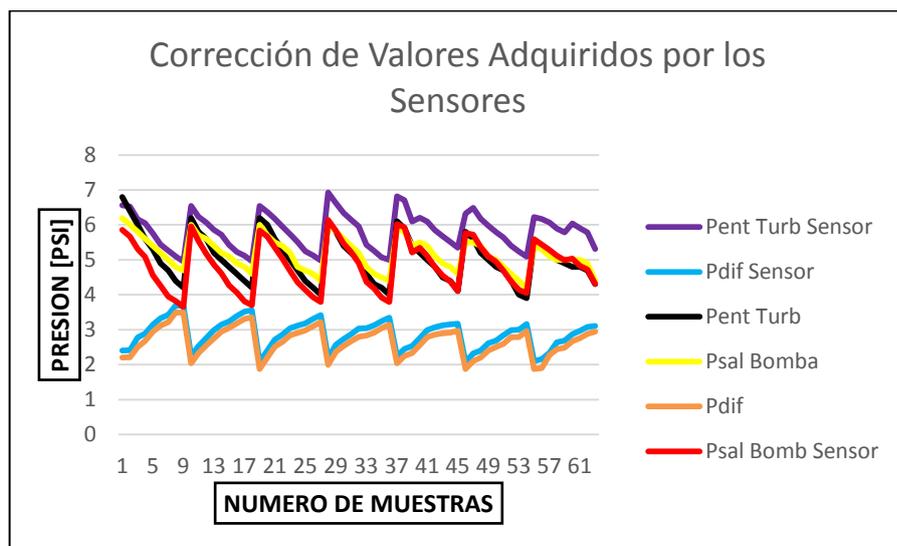


Figura 4.26 Gráfica comparativa de valores corregidos adquiridos.

Fuente: Propia.

Realizado el ajuste y la compensación del error de los sensores se aprecia en la figura 4.18 que el error existente entre los 2 métodos de medición es reducido. La tabla 4.7 fue cargada a la base de datos para servir como valores característicos de la curva de la turbina esenciales para que el profesor corrija la práctica, dicha curva puede ser utilizada como una herramienta de criterio en la corrección de la práctica de laboratorio.

Tabla 4.8 Valores Promedio de las variables dependientes de presión en puntos de medición de la turbina.

Cprom (m3/s)	Hprom (m)	RenProm (%)
0,12308	3,68	30,08
CPsensor (m3/s)	HPsensor (m)	RenPsensor (%)
0,125097069	3,82	28,31
Error Caudal (%)	Error H (%)	Error Rend (%)
1,6138064	3,562685853	5,895355749

Fuente propia

Desarrollando los cálculos de ambos sistemas, los valores dependientes las medidas de presión como lo son el caudal (Q), salto de agua (H) y rendimiento (%), se muestran en la tabla 4.8, indispensables en la elaboración de la curva característica de la turbina, todos los valores fueron tomados a velocidad constante desde 300RPM hasta 900RPM en pasos de 100RPM, a un ángulo de rodete de 35 grados, y variando los ángulos del distribuidor desde 1'' hasta 2'' en pasos de 1/8'', con lo que se obtuvo un total de 63 muestras.

Se calculó el promedio de los valores de caudal, salto de agua de la turbina y rendimiento tanto en las mediciones directas como en las mediciones digitales, realizando un cálculo de error entre ellas que determinó una diferencia, la cual viene dada tanto por errores tanto eléctricos como mecánicos presentes en la construcción del sistema de adquisición de datos, y en la construcción inicial de los elementos que conforman al banco de turbina Kaplan respectivamente.

4.4 Fase IV. Generación de un manual de usuario y material de apoyo para el uso correcto del sistema.

Se elaboró un Manual de usuario para el sistema de Adquisición de Datos que servirá de guía en la elaboración de la práctica de laboratorio incluida, así como también define los parámetros de seguridad, precaución, información y mantenimiento, esenciales en el cuidado de los equipos y en su correcto uso.

Basados en el “Manual de Prácticas de Laboratorio Mecánica de los Fluidos II” versión 1 -2016, se diseñó una práctica de laboratorio que cumpliera los requerimientos necesarios para ser incluida como parte del itinerario del Laboratorio.

Con relación a la práctica se elaboró una toma de datos que se mantenga por debajo de los valores límites de los equipos de medición y los valores límite de funcionamiento del banco, evitando posibles errores de usuario, aún pudiendo observar el comportamiento del sistema turbina/bomba y realizar un análisis de resultados apropiado. Los parámetros de seguridad fueron implantados para salvaguardar la integridad de los usuarios, estableciendo posibles riesgos de accidentes y zonas de precaución. Los parámetros de precaución están orientados en el resguardo directo de los equipos, sus rangos de trabajo y los pasos a seguir en el uso de los mismos, se elaboró una lista de los equipos, su ubicación y una descripción de su funcionamiento en el banco de turbina Kaplan en lo referente a los parámetros de información. A través de diagramas de flujo se identifican las posibles fallas y como solucionarlas, esto se logra cumpliendo a cabal los pasos, de manera que los usuarios pueden detectar la falla, que la provoca y su posible reparación.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

El desarrollo del Sistema de Adquisición de Datos (SAD), permitió optimizar la práctica del Laboratorio de Hidráulica “Elías Sánchez Díaz” que tiene por objetivo principal estudiar el comportamiento de la Turbina Kaplan. Esto se logró a través de la automatización de las mediciones de las presiones en los puntos estratégicos del sistema. Lo cual se refleja en la reducción del tiempo de ejecución de la práctica, en comparación con el procedimiento de medición manual.

1. La selección de los sensores HW24PCEFA6D, HW24PCCFA6D marca Honeywell de la serie 24PC, es primordial para la implementación de un sistema de adquisición de datos preciso que pueda realizar una conversión de valores de presión dentro de un rango determinado en una salida de voltaje variable que represente fielmente los cambios de presión del sistema, estos sensores son compatibles para las mediciones en medios hidráulicos, poseen un rango de presión adecuado para las mediciones del proceso, una salida de tipo analógica, diferencial, lineal basada en puente de Wheatstone, y cumplen con las características esenciales requeridas de precisión, repetitividad y exactitud en sus mediciones.

La adaptación de la señal para su correcta interpretación en los procesos siguientes requiere de la amplificación de la señal, la cual se logró mediante el diseño de un módulo de adaptación basado en amplificadores de instrumentación, utilizando circuitos integrados lm324n, ideales para la amplificación de salidas analógicas provenientes de un puente de Wheatstone, además la cantidad disponible de amplificadores operacionales, permitió la implementación de un circuito seguidor de tensión que proporciona la facilidad al personal especializado de medir la señal de entrada al módulo, sin afectar dicha señal permitiendo así estudiar de forma exacta la ganancia de cada módulo.

El manejo de la señal requiere de la implementación de módulos de aterramiento que restrinjan el rango de las señales de entrada al convertidor analógico digital entre -0.3Vdc y 5.3Vdc , de forma que no se comprometa la integridad del microcontrolador, con este objetivo se introduce un módulo de aterramiento basado en diodos de 5.1 V que logra mantener la señal dentro de los valores especificados, que en caso de existir voltajes negativos mantiene la señal en un valor mínimo de 0v y en caso de existir sobretensión en la entrada del circuito, esta alcanza un valor máximo de 5 Vdc .

2. Para la implementación de un sistema especializado de mediciones para el banco de turbina Kaplan, es necesario que además de la implementación de un sistema de adquisición de datos se diseñe una plataforma digital que controle, y regule el proceso de adquisición de los datos, los organice y manipule para poder realizar la representación adecuada de los valores medidos en el proceso, para ello utilizando el programa MatLab se logra diseñar a través de la herramienta GUI, una interfaz gráfica que se comunice con la tarjeta de adquisición de datos y regule el proceso de recepción de mediciones, según una metodología previamente estipulada que conforma la estructura de una práctica de laboratorio que será ejecutada en conjunto con los usuarios.

3. El proceso de desarrollo de los diseños previos se logra mediante la implementación de un sistema de adquisición de datos constituido por 5 módulos principales, los cuales fueron divididos en 2 grupos según sus niveles de voltaje de alimentación, el primer grupo consiste en una alimentación de 0Vdc Y 5Vdc incluyendo los módulos de comunicación, aterramiento y procesamiento de la señal, el segundo grupo requiere de los niveles de tensión -12Vdc , 0Vdc y 12Vdc conformado por los módulos de amplificación de cada sensor, a nivel de instrumentación fue necesario la implementación de un diseño de un arreglo de válvulas con la finalidad de poder seleccionar los puntos de medición a censar e incluso de ser necesario poder separar los sensores del proceso.

4. La validación del funcionamiento del sistema es efectuada al realizar la comparación entre las mediciones analógicas contra las lecturas obtenidas al ejecutar la interfaz gráfica y que controla el proceso de adquisición de datos. Las fuentes de error eléctrico se originan en la amplificación de la señal proveniente del sensor debido a que son utilizados componentes electrónicos con tolerancias variables con respecto a las definidas por sus fabricantes, continúan con un circuito de aterramiento que influye una caída de tensión directa de la señal censada gracias a la resistencia que regula la corriente ante posibles fallas en el servicio eléctrico, finalmente la línea de tendencia por software introduce un error debido a que es un polinomio que se acerca a el comportamiento de conversión del sensor, pero no es su ecuación característica. Los errores en la medición por causas mecánicas son atribuidos a las pérdidas de presión existentes en lo largo del sistema de turbina Kaplan, causadas por el roce del fluido con los accesorios involucrados, tales como válvulas, bridas, placa orificio, impulsor de la bomba entre otros, además existe una pérdida de energía en el freno Prony que influye directamente en el error de la medida.

5. La elaboración del manual de usuario permite establecer las reglas y parámetros para el uso correcto y seguro del sistema de adquisición de datos, recomendaciones para su uso, advertencias y precauciones, además de una sección de detección de fallas y fallas comunes, además de esto se incluye instrucciones para su uso frecuente que estipula una metodología de trabajo para ser utilizado como una herramienta de apoyo para la constitución de una práctica de laboratorio factible, la metodología para el diseño del manual se basa principalmente en el "Manual de Prácticas de Laboratorio Mecánica de los Fluidos II" versión 1-2016 donde se encuentran expuestas todas las practicas actualmente implementadas en la materia.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la implementación de un sensor diferencial, que facilite la adquisición de datos para el usuario y disminuya la cantidad de pasos necesarios en las mediciones.
2. Se recomienda que regularmente se haga un estudio de la calibración del sistema considerando la posibilidad de ajuste utilizando los módulos de amplificación, además de la verificación del estado de los sensores, tuberías, y llaves que conforman el sistema.
3. Se recomienda llevar un registro de los valores medidos por el sensor de vacío o de succión de la bomba ya que puede utilizarse como indicador de falla en caso de presentar valores fuera de un rango determinado
4. Se recomienda estudiar la posibilidad de acoplar nuevos sistemas, programas y dispositivos que trabajen en conjunto con el sistema ya instalado de forma de que se mantenga una actualización continua de la automatización del sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

BIBLIOGRAFÍA

[1] Mataix, C. Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas. Segunda edición. México.

[2] Marcalla A. y Guillen P. Automatización de las turbo máquinas del laboratorio de fluidos de la facultad de mecánica Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Riobamba- Ecuador.2011.

[3] Martínez, R. Caracterización de una turbina Kaplan y creación de aplicación gráfica. Universidad de Jaén. 2012.

[4] Salazar, I. Propuesta de reactivación de los bancos de batería de turbinas Kaplan, Peltón y Francis del laboratorio de hidráulica de la facultad de ingeniería de la Universidad de Carabobo. Universidad de Carabobo. –Valencia-Venezuela. 2015.

[5] García J. Evaluación de la operación del sistema de Turbinas Kaplan en el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo. Universidad de Carabobo .Valencia -Venezuela. 2015.

[6]Texto en línea, https://www.academia.edu/attachments/38595097/download_file?s=regpath,22/07/2014

[7]Texto en línea, <https://www.academia.edu/attachments/38595097/downloadfile?s=regpath,22/07/2014>

[8]Texto en línea, <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>, SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS, 23/08/2015

[9]Texto en línea, <http://wiki.genexus.com/commwiki/servlet/wiki?16895,Usando+GeneXus+en+Sistemas+de+Adquisici%C3%B3n+de+Datos+y+Control,18/10/2013>.

[10]Texto en línea, <http://wiki.genexus.com/commwiki/servlet/wiki?16913,Image%3ABasic+Data+Acquisition+System,18/10/2013>.

[11] Hoja de datos del PIC16F887.

[12]Texto en línea, https://en.wikipedia.org/wiki/Universal_asynchronous_receiver/transmitter, 25/06/2016.

[13] Texto en línea, <http://1538445.blogspot.com/2012/11/22-acondicionamiento-de-senales.html>, ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES, 22/08/2015.

[14] Apuntes de la profesora Mairim Márquez.

[15] Texto en línea, Pedro Fernández Díez, “FIUNA”, http://www.ing.una.py/pdf_material_apoyo/turbinas-hidraulicas.pdf. 12/06/1984.

[16] Aular, M (2013). Instructivo para la transcripción de los proyectos de investigación. Universidad de Carabobo.

[17] Arias, F. (2006) .El proyecto de la investigación. Editorial EPISTEME.

[18] Hernández, y otros (2012). Metodología de la investigación. 4ta edición McGrawHill.

[19] Tamayo, M. (1997). El proceso de la investigación científica. Grupo Noriega Editores.

[20] Texto en línea, <http://sensing.honeywell.com/honeywell-sensing-board-mount-24pc-series-miniature-flow-through-low-pressure-sensors-product-sheet-32302911-a-en.pdf>, 22/08/2015, SENSOR DE MONTAJE EN PROTOBOARD.

[21] Texto en línea, http://www.sapiensman.com/controlautomatico/control_automatico7.htm,06/08/2016.

[22] Texto en línea, <http://www.bloginstrumentacion.com/blog/2010/06/28/como-funciona-un-transmisor-de-presion/>,06/08/2016.

[23] Texto en línea, <https://es.wikipedia.org/wiki/Turbina> ,22/06/2016.

[24] Texto en línea, https://es.wikipedia.org/wiki/Turbina_Kaplan, 03/07/2016.

[25] Texto en línea, <https://es.scribd.com/doc/289115558/Fabio-Libro>, APUNTES DE MÁQUINASHIDRÁULICAS, Dto. Ing. Nuclear y Mecánica de Fluidos. E.U.Politécnica de Donostia-San Sebastián, 06/08/2016.