



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

“AUTOMATIZACIÓN DE LA TOMA DE DATOS EN TIEMPO REAL DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA TURBINA HÉLICE DE EJE HORIZONTAL DEL LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”

**GAMBOA URQUIZO ALEJANDRO RAFAEL
RODRIGUEZ MANZANO ALEX VINICIO**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

**RIOBAMBA – ECUADOR
2016**

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2015-01-20

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

GAMBOA URQUIZO ALEJANDRO RAFAEL
RODRIGUEZ MANZANO ALEX VINICIO

Titulada:

“AUTOMATIZACIÓN DE LA TOMA DE DATOS EN TIEMPO REAL DEL
BANCO DE PRUEBAS DE LA TURBINA HÉLICE DE EJE HORIZONTAL
DEL LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA DE LA FACULTAD DE
MECÁNICA”

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Marco Santillán Gallegos.
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Marco Ordoñez Viñan.
DIRECTOR

Ing. Pablo Montalvo Jaramillo
ASESOR

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: GAMBOA URQUIZO ALEJANDRO RAFAEL

TÍTULO DE LA TESIS: “AUTOMATIZACIÓN DE LA TOMA DE DATOS EN TIEMPO REAL DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA TURBINA HÉLICE DE EJE HORIZONTAL DEL LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”

Fecha de Examinación: 2016-05-13

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Edwin Viteri Núñez PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Marco Ordoñez Viñan DIRECTOR			
Ing. Pablo Montalvo Jaramillo ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Edwin Viteri Núñez
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: RODRIGUEZ MANZANO ALEX VINICIO

TÍTULO DE LA TESIS: “AUTOMATIZACIÓN DE LA TOMA DE DATOS EN TIEMPO REAL DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA TURBINA HÉLICE DE EJE HORIZONTAL DEL LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”

Fecha de Examinación: 2016-05-13

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Edwin Viteri Núñez PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Marco Ordoñez Viñan DIRECTOR			
Ing. Pablo Montalvo Jaramillo ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Edwin Viteri Núñez
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

DERECHOS DE AUTORIA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los Autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Gamboa Urquiza Alejandro Rafael

Rodríguez Manzano Alex Vinicio

DECLARACION DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Gamboa Urquizo Alejandro Rafael y Rodríguez Manzano Alex Vinicio, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Gamboa Urquizo Alejandro Rafael
Cedula de Identidad: 180477627-4

Rodríguez Manzano Alex Vinicio
Cedula de Identidad: 060379107-0

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico primeramente a Dios por haberme dado la sabiduría para elegir esta hermosa carrera y haberme dado la constancia para terminarla, a mis padres, y que se superan guiarme, apoyarme y comportarme en todo momento, a mis hermanos por ser el estímulo y apoyo que necesite para superar todos los momentos difíciles que se me presentaron, por ultimo pero no menos importante dedico este trabajo a una persona que supo ser como una segunda madre para mí por ser la persona que siempre me impulso a seguir siempre adelante y al que siempre tendré presente en mi mente y en mi corazón , a mi abuelita “Lida Torres”

Alejandro Rafael Gamboa Urquizo

Esta tesis la dedico a Dios que supo guiar mis pasos y brindarme todas sus bendiciones para alcanzar esta meta tan anhelada, a mis padres por el apoyo incondicional, en especial a mi madre que siempre estuvo presente en los momentos difíciles que se me han presentado, dándome consejos útiles para afrontarlos.

A mi hijo Jesé que me dio la fortaleza y empuje que hacía falta para culminar este trabajo.

Alex Vinicio Rodríguez Manzano

AGRADECIMIENTO

El agradecimiento más sincero a mis queridos padres y hermanos por el amor y apoyo incondicional recibido toda mi vida.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y en especial al Escuela de Ingeniería Mecánica, y a cada docente que conforma esta gloriosa escuela que supo formarme para más de ser un ente productivo y beneficioso para la sociedad, formarme también como una persona con valores y moral inquebrantable.

Y un especial agradecimiento a cada amigo y compañero que estuvo presente a lo largo de toda mi vida estudiantil, que supieron ser como mis hermanos y con los cuales compartimos las anécdotas de alegrías y derrotas en todo es largo camino y que aún no termina la vida.

Alejandro Rafael Gamboa Urquiza

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por brindarme la oportunidad de obtener una profesión y ser una personas útil para la sociedad.

También un agradecimiento muy especial a mi esposa Carolina, mi padrastro Patricio, a mis hermanos Fander y Bolívar, amigos, compañeros, profesores y demás personas que de una u otra manera me apoyaron para culminar con éxito esta profesión.

Alex Vinicio Rodríguez Manzano

CONTENIDO

Pág.

1.	INTRODUCCIÓN	
1.1	Antecedentes	1
1.2	Justificación	1
1.3	Objetivos	2
1.3.1	<i>Objetivo general.</i>	2
1.3.2	<i>Objetivos específicos.</i>	2
2.	MARCO TEÓRICO	
2.1	Definición de una turbina hidráulica	3
2.2	Clasificación de las turbinas.	3
2.2.1	<i>Clasificación según el grado de reacción.</i>	3
2.2.1.1	<i>Turbinas de acción.</i>	3
2.2.1.2	<i>Turbinas de reacción.</i>	4
2.3	Turbina de hélice de eje horizontal.	5
2.4	Componentes de la turbina hélice.	6
2.4.1	<i>Caja espiral.</i>	6
2.4.2	<i>Distribuidor</i>	7
2.4.2.1	<i>Distribuidor Fink</i>	8
2.4.3	<i>Rodete</i>	8
2.4.4	<i>Codo de entrada en el tubo de aspiración.</i>	8
2.5	Descripción de las variables físicas que intervienen en la automatización.	10
2.5.1	<i>Presión.</i>	10
2.5.1.1	<i>Medidores de presión utilizados en el banco de pruebas de la turbina hélice de eje horizontal.</i>	10
2.5.2	<i>Caudal.</i>	12
2.5.2.1	<i>Medidores de caudal utilizados en el banco de pruebas de la turbina hélice de eje horizontal.</i>	13
2.5.3.1	<i>Velocidad angular.</i>	15
2.5.4	<i>Fuerza.</i>	15
2.5.4.1	<i>Medidores de Fuerza.</i>	15
2.6	Parámetros funcionales de las turbina hélice de eje horizontal	16
2.6.1	<i>Velocidad específica.</i>	16
2.6.2	<i>Numero de revoluciones.</i>	16
2.6.3	<i>Caudal de agua disponible.</i>	16
2.6.4	<i>Torque.</i>	17
2.6.5	<i>Potencia útil.</i>	17
2.6.6	<i>Potencia hidráulica.</i>	17
2.6.6.1	<i>Altura neta.</i>	17
2.6.7	<i>Eficiencia de la turbina.</i>	19
2.7	Componentes de un sistema de adquisición de datos.	20
2.7.1	<i>Sensor.</i>	20
2.7.2	<i>Dispositivo DAQ.</i>	21
2.7.3	<i>PC en un Sistema DAQ.</i>	22
2.8	Software utilizado para la adquisición de datos LabVIEW	22

2.8.1	<i>Estructura del LabView (VIs)</i>	22
3.	SELECCIÓN Y ESPECIFICACIONES DE LOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN LA AUTOMATIZACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS	
3.1	Especificaciones de los elementos utilizados para medir la presión en el banco de pruebas.....	23
3.1.1	<i>Manómetros y vacuómetros</i>	23
3.1.2	<i>Transductor de presión serie PX209</i>	24
3.1.2.1	<i>Transductor de presión PX209-015A5V</i>	24
3.1.2.2	<i>Transductor de presión PX209-30VI5G5V</i>	24
3.2	Especificación del equipo utilizado para medir el caudal en el banco de pruebas.....	25
3.2.1	<i>Sensor de caudal FP 5301</i>	25
3.2.1.1	<i>Funcionamiento del sensor de caudal</i>	248
3.3	Especificación del equipo utilizado para medir la velocidad angular en el banco de pruebas.....	27
3.3.1	<i>Encoder</i>	27
3.4	Especificación del equipo utilizado para medir la fuerza en el banco de pruebas.....	27
3.4.1	<i>Dinamómetro digital</i>	27
4.	REPOTENCIACIÓN Y MONTAJE DE EQUIPOS EN EL BANCO DE PRUEBAS	
4.1	Descripción del banco de pruebas antes de la automatización de la toma de datos.....	29
4.2	Descripción de las partes constitutivas del banco de pruebas.....	30
4.3	Trabajos realizados antes de la automatización.....	32
4.3.1	<i>Bomba Centrífuga</i>	32
4.3.1	<i>Trabajos realizados en la bomba centrífuga</i>	32
4.3.2	<i>Turbina de hélice de eje horizontal</i>	34
4.3.2.1	<i>Trabajos realizados en la turbina de hélice de eje horizontal</i>	34
4.3.3	<i>Tanque reservorio</i>	36
4.4	Trabajos posteriores.....	37
4.4.1	<i>Instalación de los sensores de presión PX 209</i>	37
4.4.2	<i>Instalación del sensor de flujo</i>	37
4.4.3	<i>Instalación del sensor de velocidad angular</i>	45
4.4.4	<i>Instalación del dinamómetro</i>	46
5.	PROGRAMACIÓN DE LA ADQUISICIÓN DE DATOS EN TIEMPO REAL DEL BANCO DE PRUEBAS	
5.1	Descripción del panel frontal del VI del banco de pruebas.....	47
5.2	Configuración del sistema de adquisición de datos por medio de la tarjeta de adquisición (DAQ).....	48
5.3	Descripción de los elementos programados en LabVIEW.....	49
5.3.1	<i>Encendido y apagado de la bomba</i>	49
5.3.2	<i>Sensores de presión</i>	51
5.3.3	<i>Sensor de velocidad</i>	53
5.3.4	<i>Sensor de caudal</i>	55

5.3.5	<i>Sensor de Torque.</i>	57
5.3.5.1	<i>Visión artificial.</i>	57
5.3.6	<i>Generación de reportes.</i>	63

6. ANALISIS DE RESULTADOS DEL BANCO DE PRUEBAS

6.1	Análisis de los resultados de las pruebas en el sistema turbina – bomba...	65
6.2	Curvas características.	65
6.2.1	<i>Interpretación general de resultados.</i>	68

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1	Conclusiones.	69
7.2	Recomendaciones.	69

BIBIOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1	Tipo de sensores 21
2	Características del sensor FP-5301 26
3	Descripción de los elementos del banco de pruebas antes de la automatización 31
4	Adquisición de datos 65
5	Datos para las curvas características a 0° de inclinación..... 65

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1	Clasificación de las turbinas hidráulicas según el grado de reacción..... 4
2	Clasificación general de las turbinas hidráulicas..... 5
3	Central hidroeléctrica con turbina de Hélice 6
4	Caja espiral 7
5	Distribuidor de una turbina de hélice..... 7
6	Distribuidor Fink 8
7	Alabes de una turbina de Hélice 8
8	Tubo de aspiración de una turbina de Hélice..... 9
9	Tipos de presión..... 10
10	Tubo bourdon 11
11	Medidor de diafragma..... 11
12	Medidor de turbina 13
13	Medidor de flujo electromagnético..... 13
14	Encoder..... 14
15	Dinamómetro 15
16	Componentes de un sistema de adquisición de datos 20
17	Sensor de presión..... 20
18	Tarjeta de adquisición de datos DAQ NI-6009 21
19	Manómetro instalado en el banco de pruebas de la turbina de hélice 23
20	Transductor de presión PX209 24
21	Transductor de presión PX209-015A5V 24
22	Transductor de presión manovacuumétrico PX209..... 25
23	Sensor FP-5300..... 26
24	Dinamómetro digital utilizado en el banco de pruebas 27
25	Banco de pruebas de la turbina de hélice de eje horizontal 29
26	Desmontaje de la bomba centrífuga 33
27	Partes principales de la bomba centrífuga 33
28	Montaje de la bomba centrífuga 34
29	Impeler de la turbina de hélice de eje horizontal 34
30	Corrección de fugas en el tubo de aspiración 35
31	Empaque (caucho) 35
32	Montaje de los elementos de la turbina 35
33	Tanque reserborio (desprendimiento de la capa anticorrosiva)..... 36
34	Tanque reservorio (restaurada la capa anticorrosiva)..... 36
35	Montaje de los sensores de presión en la balanza para la determinación de la curva característica (P vs V 37
36	SNUBBERS (Mecanismos de protección contra picos de presión)..... 38
37	Intalación de los sensores de presión PX209..... 38
38	Distancia optima de instalación del sensor de flujo..... 39

39	Distancia del sensor después del acoplamiento de un codo de 90°	39
40	Desviación del sensor de caudal	40
41	Acople para el sensor de caudal.....	41
42	Distancia optima de acoplamiento del sensor de flujo	41
43	Acople experimental uno para el sensor de nivel	42
44	Acople experimental dos para el sensor de nivel.....	42
45	Acople del sensor de caudal	43
46	Señala la dirección de Flujo.....	43
47	Ajuste del sensor de caudal.....	44
48	Montaje del sensor de caudal.....	44
49	Encoder y disco	45
50	Acoplamiento del sensor de RPM (Encoder)	45
51	Instalación del dinamómetro y cámara digital.....	46
52	Panel frontal VI del banco de pruebas.....	48
53	Sistema de adquisición de datos	48
54	Características opcionales de la DAQ 6009	49
55	Opciones de generación de señal DAQ 6009	49
56	Definición de los puertos a ser utilizados en la DAQ 6009.....	50
57	Características de los puertos de encendido y apagado	50
58	Programación de encendido y apagado de la bomba.....	51
59	Definición del tipo de señal a ser medida.....	51
60	Selección del puerto de la DAQ 6009 para el sensor de presión.....	52
61	Configuración de los sensores de presión.....	52
62	Programación de los sensores de presión	53
63	Selección del tipo de señal a ser medida por la DAQ 6009.....	54
64	Selección del puerto de la DAQ 6009 para el sensor de velocidad	54
65	Configuración del puerto para el sensor de velocidad.....	54
66	Programación del sensor de velocidad (RPM) la programación de los sensores de presión.....	55
67	Selección del tipo de señal medida por la DAQ 6009 para el sensor de caudal	56
68	Selección de los puertos para el sensor de caudal	56
69	Configuración de los puertos para el sensor de caudal.....	56
70	Programación del sensor de caudal.....	57
71	Fases de la visión artificial y como están distribuidas en el software	
72	Adisión del Vision Acquisition	59
73	Adición de la cámara	59
74	Adquisición del video	60
75	Modo de video	60
76	Configuración de controles e indicadores.....	60
77	Adquisición de imagen	61
78	Sustracción del color de la imagen.	61
79	Rotación de la imagen	62
80	Configuración del OCR/OCV	62
81	Corrección de lectura OCR/OCV	63

82	Generación de reportes	64
83	Gráfica Altura neta vs Caudal.....	66
84	Gráfica Caudal vs Velocidad.....	66
85	Gráfica Rendimiento vs Velocidad.....	67
86	Gráfica Potencia Útil vs Velocidad	67
87	Gráfica Potencia Útil vs Caudal	68

LISTA DE ANEXOS

- A** Características de los instrumentos utilizados en la automatización.
- B** Calibración de los sensores de presión y de flujo.
- C** Guía de práctica de laboratorio del banco de pruebas.
- D** Manual de mantenimiento del banco de pruebas.
- E** Manual de funcionamiento del banco de pruebas.
- F** Costos de la automatización del banco de pruebas.

RESUMEN

Este proyecto de titulación trata sobre la automatización de la adquisición de datos específicos de una turbina de hélice de eje horizontal mediante el software LabVIEW que servirán de una manera práctica para conocer el comportamiento en tiempo real de las variables físicas que están inmersas en su funcionamiento.

Se describe los principios fundamentales que rigen el funcionamiento de esta y demás turbinas hidráulicas, que son utilizadas para la generación de energía eléctrica, detallando sus similitudes, diferencias y entendiendo de una mejor manera la clasificación de las mismas. Se realiza una selección de cada elemento utilizado en la automatización del banco detallando las características principales. Antes de la implementación de la instrumentación se realiza un trabajo de repotenciación de los principales elementos constitutivos: bomba, turbina, tanque, panel de control y conexiones eléctricas. Concluida la repotenciación se procede con el montaje de todos los sensores y demás instrumentación requerida para la automatización, se detalla procedimientos y recomendaciones para la realización de este trabajo.

Culminados los trabajos preparatorios, se elabora la programación en el software LabVIEW, con un lenguaje gráfico accesible al operador facilitando la operación del sistema. Este programa recolecta y procesa los datos necesarios generando un reporte con las distintas gráficas de las variables a ser medidas.

Se crea un manual de funcionamiento y mantenimiento, aumentando la vida operativa del banco, además una guía de laboratorio para la realización de la práctica con los estudiantes reforzando los conocimientos adquiridos en las aulas, palpando el funcionamiento real de una máquina hidráulica.

ABSTRACT

This titling project is about the automation of specific data acquisition of a horizontal axis turbine through LabVIEW software that will serve as a practical way to know the real time performance of the physical variables that are embedded in its operation.

The basic principles is described that govern the operation of this and other hydraulic turbines, which are used for power generation, detailing their similarities, differences and understanding in a better way the classification of them. A choice of each element is performed in automating the bank detailing the main features.

Before the implementation of equipment is performed a work repowering of the main constituent elements pump, turbine, tank, control panel and electrical connections.

Completed the repowering it proceeds with the assembly of all sensors and other instrumentation required for automation, procedures and recommendations are detailed in order to carry out this work.

Culminating the preparatory work, programming in LabVIEW software is developed with a graphical language available to the operator and easy to operate the system.

This program collects and processes the data needed in order to generate a report with graphs of different variables to be measured.

A manual operation and maintenance is created, increasing the operating life of the bank, also a guide for laboratory practice with students reinforcing the knowledge acquired in the classroom and evince the operation of hydraulic machine.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Existen muchas clases de turbinas que se han ido desarrollando según las necesidades del hombre entre las más utilizadas tenemos las turbinas tipo Pelton, Francis, Kaplan.

En la Facultad de Mecánica para el aprendizaje práctico de las cátedras que se enseñan existe los laboratorios, y es en el laboratorio de turbomaquinaria hidráulica donde se encuentran las turbinas antes mencionadas, a una escala didáctica para que los alumnos tengan una apreciación del funcionamiento real de las mismas.

Es el caso específico del banco de pruebas de la turbina hélice de eje horizontal el que se va automatizar, una vez que el banco ha sido repotenciado y se encuentra en condiciones adecuadas de funcionamiento.

En la actualidad con la necesidad de aumentar la producción y eficiencia, a más de la optimización de recursos del proceso, la utilización de la electrónica y demás elementos de medición y control ha resultado una de las herramientas indispensable en esta área.

1.2 Justificación

En estos años que se ha pasado en la Facultad de Mecánica se ha palpado la carencia de equipos actualizados en los laboratorios, que sirvan como una ayuda en el aprendizaje de los conocimientos percibidos.

Para asimilar de una mejor manera los conocimientos impartidos en clase, se ha comprobado que la parte teórica con la práctica tienen que ir relacionadas mutuamente, este es el fin para que materias se impartan en laboratorios y en bancos que presten los servicios adecuados para los estudiantes.

Además con el avance tecnológico que vivimos en nuestros días, vemos que se puede optimizar recursos en los distintos procesos, y es lo que se quiere implementar mediante

la automatización del banco en el cual no necesite de la mano del hombre para adquirir datos de la turbina en su funcionamiento.

Da ahí surge la idea de apoyar a nuestra facultad, y adecuar el “Banco de pruebas de la turbina hélice de eje horizontal” con una mejor tecnología, automatizando el proceso y que se pueda recolectar los datos de una forma automática y en tiempo real.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general. Automatizar la toma de datos en tiempo real del banco de pruebas de la turbina hélice de eje horizontal del laboratorio de turbomaquinaria de la Facultad de Mecánica.

1.3.2 Objetivos específicos:

- Describir las partes principales y el funcionamiento de la turbina hélice de eje horizontal.
- Seleccionar los equipos de automatización que garanticen el funcionamiento adecuado del banco de pruebas.
- Experimentar la toma de datos de las variables existentes en el banco de pruebas antes y después de la instalación de sensores.
- Utilizar el software LabVIEW para visualizar las variables a medir.
- Elaborar el manual de mantenimiento, operaciones y la guía de práctica de laboratorio.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Definición de una turbina hidráulica

La turbina hidráulica es una máquina motora, es decir su funcionamiento es lo contrario a lo que sucede en una bomba, la principal diferencia entre estas es que en la maquina motora absorbe energía del fluido y la maquina generadora restituye energía al fluido.

Así como la bomba absorbe la energía mecánica y restituye energía al fluido, una turbina absorbe energía del fluido y restituye energía mecánica. Teóricamente, suministrando energía hidráulica a la máquina, e invirtiendo el flujo, una bomba podría trabajar como turbina. Prácticamente, el rendimiento sería muy bajo, y a veces nulo, exceptuando las maquinas especialmente diseñadas para trabajar como bomba y como turbina. (MATAIX, 1982)

2.2 Clasificación de las turbinas.

Existen distintos parámetros para la agrupación y clasificación de las turbinas de los cuales se trataran los principales:

2.2.1 *Clasificación según el grado de reacción.* Esta es la principal característica de las turbinas, son:

2.2.1.1 *Turbinas de acción.* Se llaman así cuando la transformación de la energía potencial en energía cinética se produce en los órganos fijos anteriores al rodete (inyectores o toberas). En consecuencia el rodete solo recibe energía cinética. La presión a la entrada y salida de las cucharas (o alabes) es la misma e igual a la atmosférica. Las turbinas de acción son de admisión parcial.

El sentido de la proyección del chorro de agua y el sentido de giro del rodete coincide, en el punto de empuje o choque de aguas sobre los álabes. Por consiguiente, se deduce que la energía cinética, originada por el desplazamiento del agua, es cedida íntegramente al rodete. En esta clase se encuentran las turbinas Pelton, Turgo entre otras

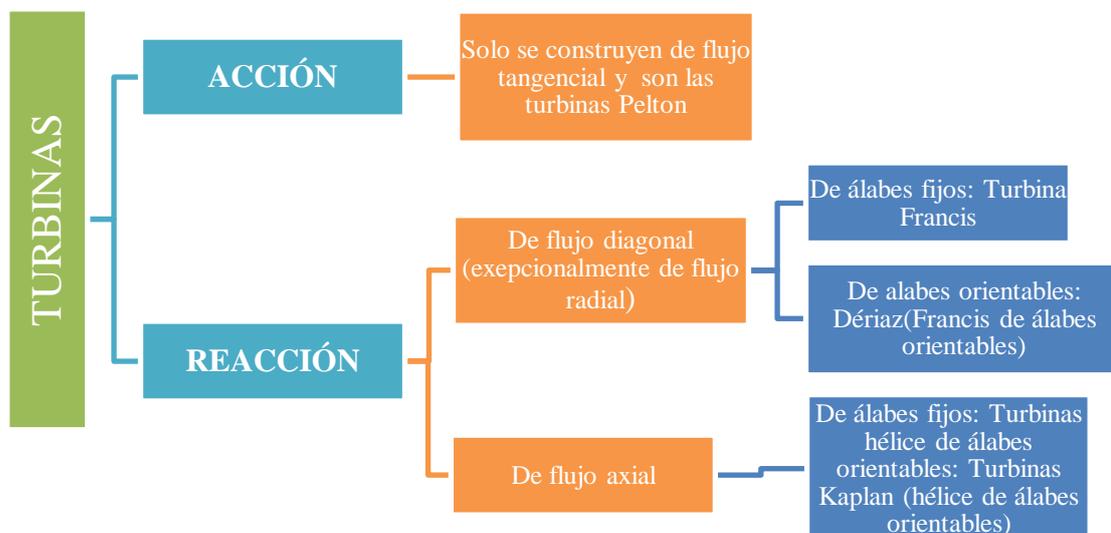
2.2.1.2 Turbinas de reacción. En estas turbinas, la energía potencial se transforma en energía cinética, al pasar el fluido a través de una rueda de álabes directrices situada antes del rodete.

Tratándose de turbinas grandes, las turbinas de reacción tienen mayor rendimiento que las turbinas de acción, pero cuando se tiene turbinas pequeñas, las turbinas de acción tienen mayor rendimiento que las turbinas de reacción. Si se tiene una misma potencia e igual altura de salto, la turbina de reacción gira a mayor velocidad específica que una de acción, proporcionando mayor rendimiento la turbina de reacción. (OLADE, 1985)

Como ejemplos de turbinas de reacción, están las Francis, Kaplan y de hélice.

Por medio de la figura 1 se entenderá de mejor manera la clasificación de las turbinas en lo referente al grado de reacción de las mismas.

Figura. 1 Clasificación de las turbinas hidráulicas según el grado de reacción

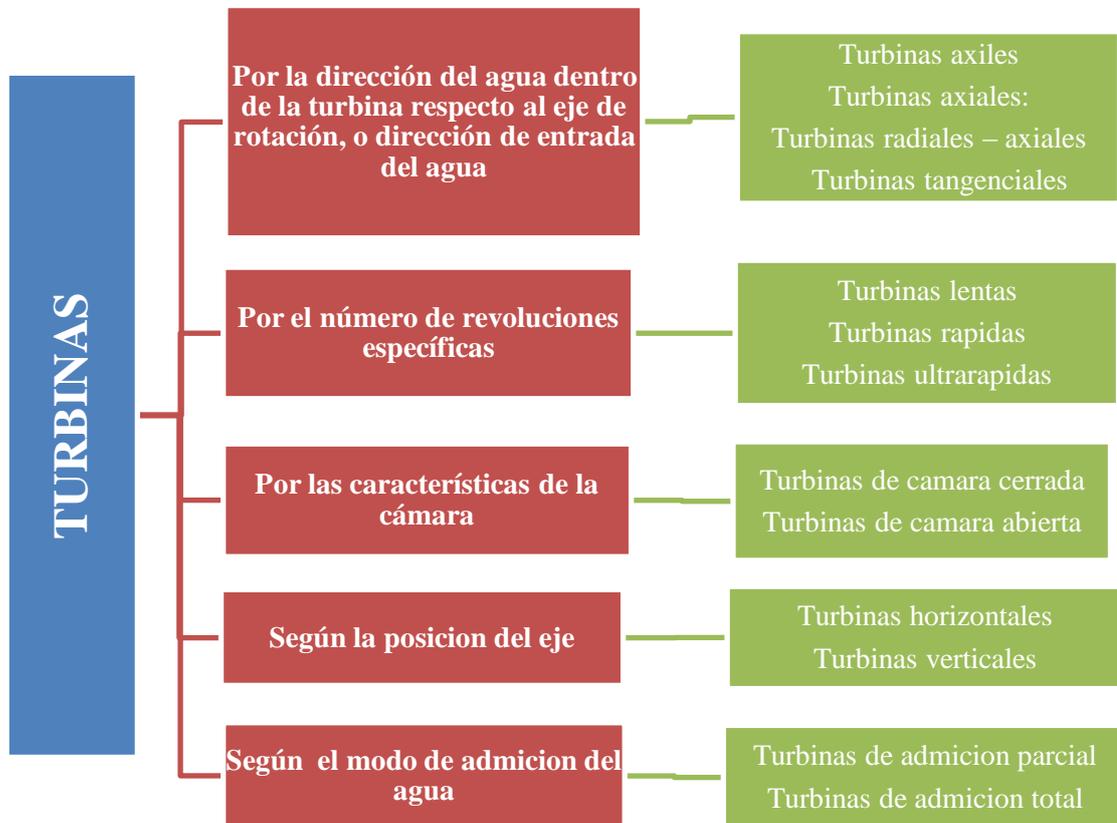


Fuente: Autores

Como se habló anteriormente esta es la principal característica ya que de esta se desarrollan los diferentes tipos de turbinas. El avance de la industria y aún más de la tecnología relacionado esto con un aumento en la demanda de electricidad ha hecho que estas turbinas sean utilizadas para transformación de energía desde pico y mini centrales utilizadas en regiones remotas y rurales hasta mega centrales que generan la mayor parte de la energía consumida por la industria y la población.

Las turbinas también se clasifican desde otros puntos de vista, en la figura 2 se tratan las principales.

Figura. 2 Clasificación general de las turbinas hidráulicas



Fuente: Autores.

2.3 Turbina de hélice de eje horizontal.

Las turbinas de hélice de eje horizontal o vertical nacen como una modificación de las turbinas Kaplan, llamadas así en honor a quien descubrió, Víctor Kaplan que basó el diseño de estas turbinas en las ya utilizadas turbinas de barco.

La mayor diferencia que sobresale entre estos dos tipos de turbinas es que la turbina Kaplan tiene la posibilidad de reorientar sus alabes para así adaptarse a los diferentes cambios de caudal que experimentan las centrales hidroeléctricas, mientras que la turbina de Hélice no tiene la posibilidad de reorientar sus alabes, ese no es un problema ya que por medio de un sistema que utilizan también turbinas como la Francis pueden afrontar este problema de adaptación a diferentes niveles de caudal, este sistema o elemento es denominado distribuidor Fink.

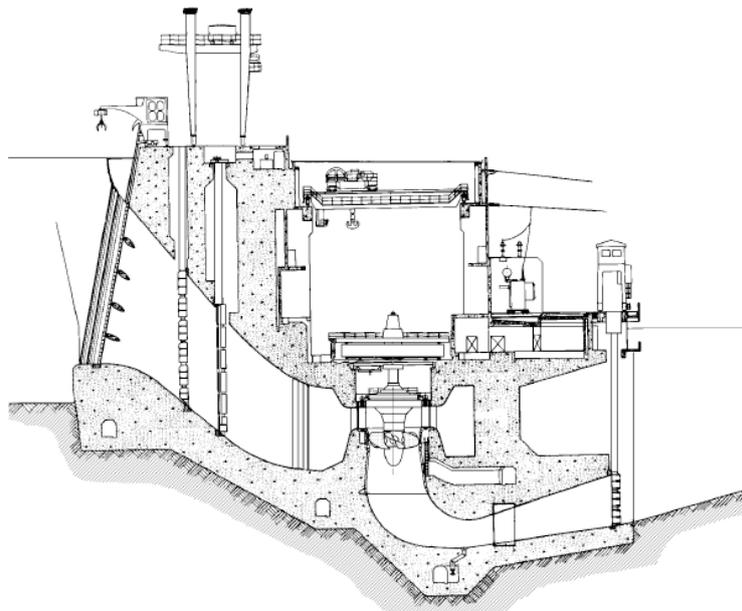
Este tipo de turbinas revolucionaron la forma de aprovechar los saltos de agua ya que pueden ser aplicadas de saltos pequeños de tres metros hasta medianos saltos de 60 metros, la principal característica de esta turbina es que a diferencia de la turbina Pelton que utiliza la energía potencial de la caída de agua, esta aprovecha el caudal de aquí que podemos resaltar sus gran utilización en grandes afluentes como en las centrales mareomotrices.

En la actualidad se necesitan turbinas más rápidas con velocidades específicas mayores de 450, esto nos conduce directamente a la aplicación de las turbinas de hélice o Kaplan ya que a diferencia de las turbinas Francis, con una velocidad específica de 400 esta tiene el problema de conducción de agua que no nos permite realizar con precisión, lo que no ocurre con una turbina Kaplan o una turbina de hélice. (OLADE, 1985)

2.4 Componentes de la turbina hélice.

En la figura 3 se representa las partes principales de una central hidroeléctrica que trabaja con una turbina de hélice.

Figura. 3 Central hidroeléctrica con turbina de Hélice



Fuente: (MATAIX, 1982)

2.4.1 Caja espiral. Según las dimensiones de la turbina se construyen de acero colado, fundición, chapa metálica roblonada o soldada u hormigón armado.

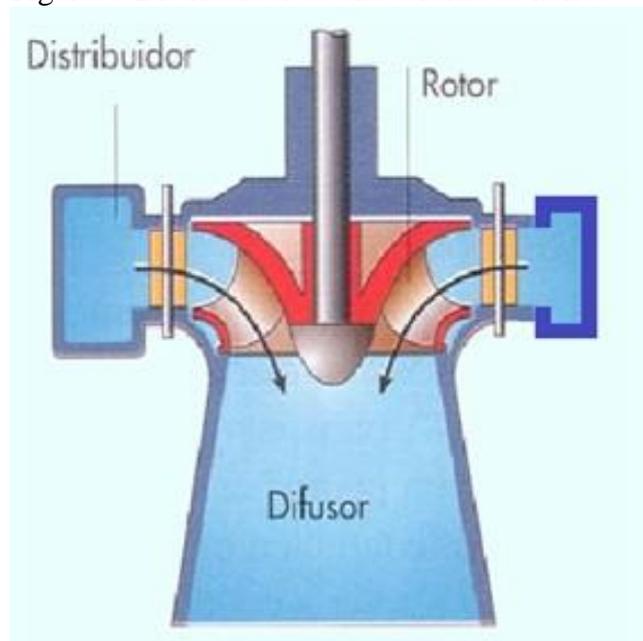
Figura. 4 Caja espiral



Fuente: <http://faeitch2012.files.wordpress.com/2012/02/camara-espiral3.jpg>

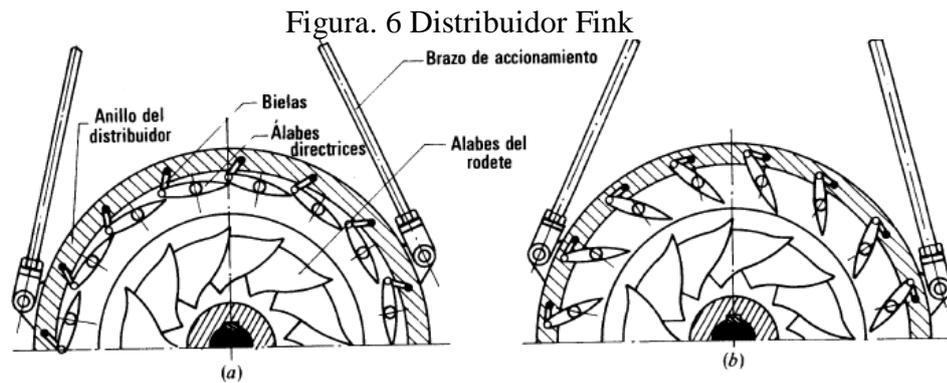
2.4.2 *Distribuidor.* La caja espiral y el distribuidor dirigen el agua al rodete con un mínimo de pérdidas, y transforman parte de la energía de presión (no toda como sucede en las turbinas de acción) en energía cinética. Además sirve para reducir el caudal cuando la carga de la turbina disminuye, conservando el mejor rendimiento posible, es decir, reduciendo a un mínimo las pérdidas hidráulicas por fricción y choque. (MATAIX, 1982)

Figura. 5 Distribuidor de una turbina de hélice



Fuente: www.exatecno.net

2.4.2.1 *Distribuidor Fink.* Es el distribuidor corriente de todas las turbinas de reacción (Francis, hélice, Kaplan, y Dériaz).



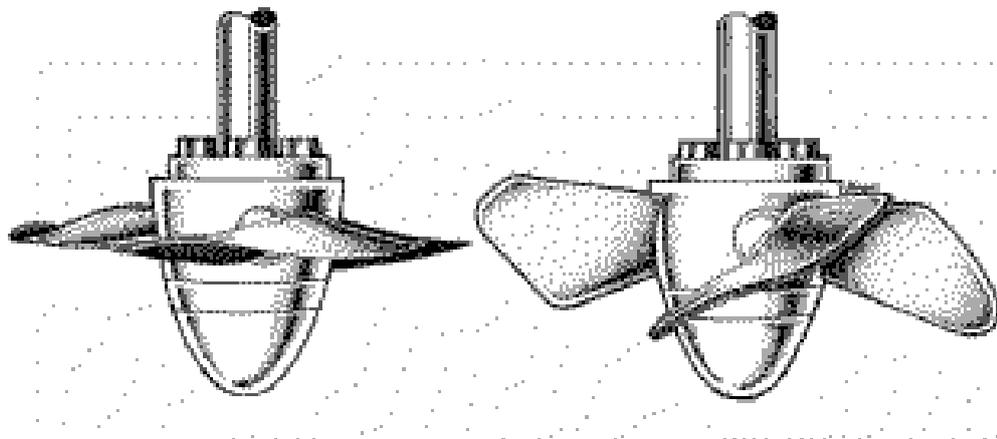
Fuente: (MATAIX, 1982)

Este distribuidor puede verse en posición cerrada en la figura 6 (a) y en posición abierta en la figura 6 (b).

Consta de dos bielas o brazos robustos, movidos por uno o varios servomotores de aceite (en pequeñas turbinas raras veces a mano) que hacen girar al anillo donde pivota un extremo de las pequeñas bielas, las cuales a su vez hacen girar a los arboles de perfil aerodinámico, que pivotan en torno a un eje fijo. (MATAIX, 1982)

2.4.3 Rodete. Es la parte principal de una turbina y es el elemento encargado de transformar la energía potencial en energía cinética. En turbina de hélices están varían desde un número de 2 hasta 9 paletas dependiendo de su capacidad estas tienen la característica de ser fijos que es la diferencia primordial

Figura. 7 Alabes de una turbina de Hélice



Fuente: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia>

2.4.4 Codo de entrada en el tubo de aspiración. El tubo de aspiración crea una depresión a la salida del rodete. En efecto depreciando, las pérdidas en el tubo de

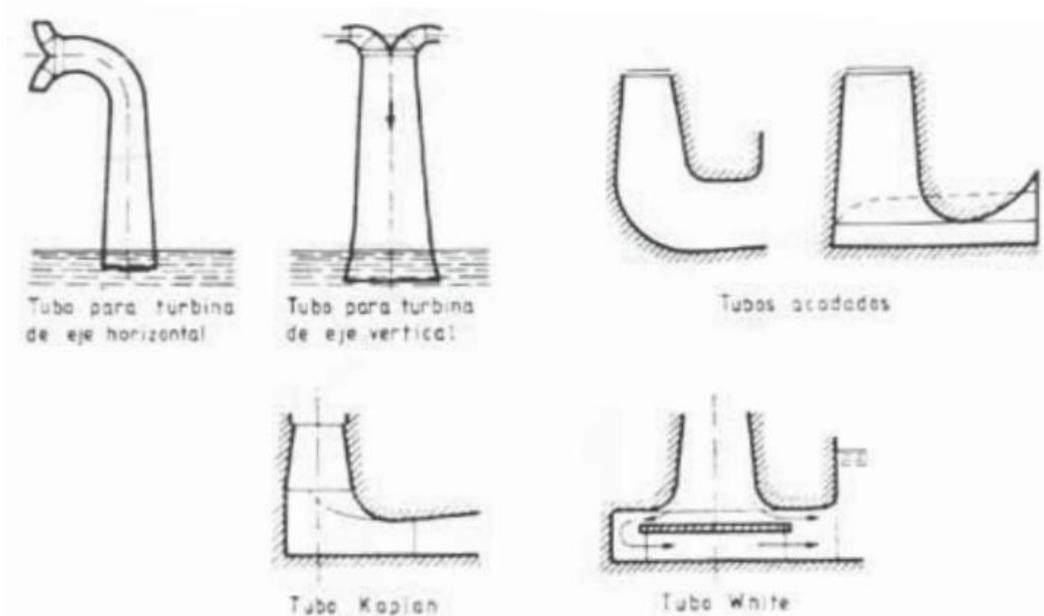
aspiración, la presión según la ecuación de Bernoulli va aumentando desde la salida del rodete hasta la salida de la turbina, sección S, donde la presión es atmosférica, por dos causas:

- Porque la energía geodésica disminuye en el sentido del flujo: $s_s = Z_2$
- Porque la energía cinética disminuye. $\frac{c_s^2}{2g} < \frac{c_2^2}{2g}$.

En una turbina de reacción el tubo de aspiración crea una depresión, o aspiración, a la salida del rodete. De esta manera el salto de presión en él es mayor; lo cual tiene dos funciones:

- Recuperar la energía cinética que tiene el agua a la salida del rodete; a costa de ello se crea en la parte la depresión mencionada (difusor)
- Recuperar la energía geodésica que tiene el agua a la salida del rodete este se ha de colocar elevando para proteger el grupo contra una posible inundación; a costa de ello se crea en la parte la depresión mencionada. (MATAIX, 1982)

Figura. 8 Tubo de aspiración de una turbina de Hélice



Fuente: <http://faeitch2012.wordpress.com/2012/02/29/turbinas-francis>

Entonces mediante esta introducción podemos ver que este tipo de máquinas hidráulicas definidas como turbinas cambiaron radicalmente la conversión de la energía para posteriormente ser utilizada en los distintos procesos en los que involucra la energía eléctrica que se puede decir que es casi todo.

Como se definió anteriormente la conversión de la energía que se da en las turbinas (potencial a cinética), resultaba un complejo procedimiento ya que se tenía que controlar innumerables variables, como son el caudal, presión, temperatura entre otras que influyen directamente en la eficiencia de estas máquinas.

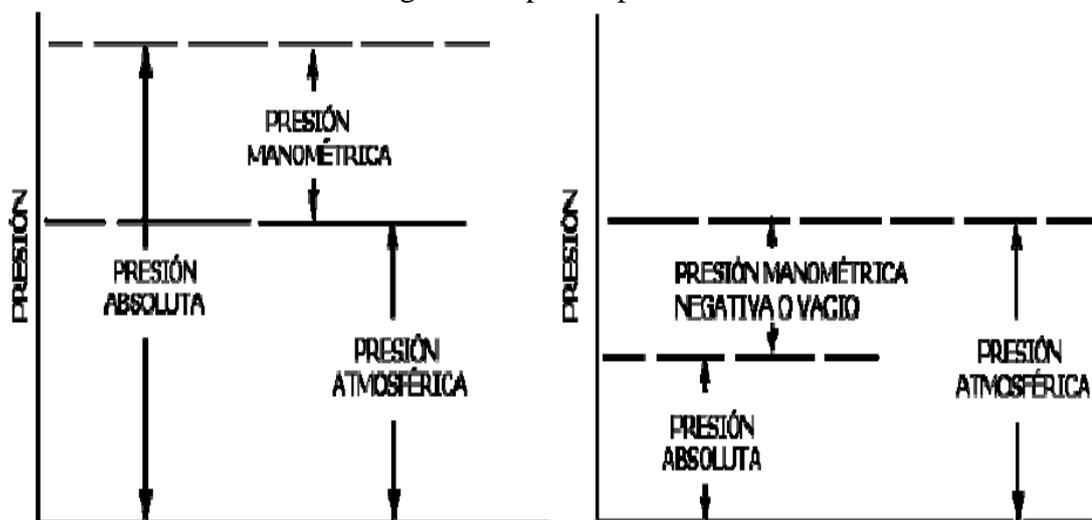
2.5 Descripción de las variables físicas que intervienen en la automatización.

2.5.1 Presión. Se puede definir a la presión como la fuerza ejercida en dirección perpendicular a una superficie.

$$P = \frac{F}{A} \quad (1)$$

La presión se presenta de varias formas, ya que la podemos encontrar en cualquier medio y en cualquier lugar, a esta presión se la denomina presión atmosférica y varia con la altura del lugar donde se encuentre. La otra forma de encontrar la presión es en lugares presurizados o que no tengan la influencia del exterior a este tipo de presión se la denomina presión manométrica.

Figura. 9 Tipos de presión



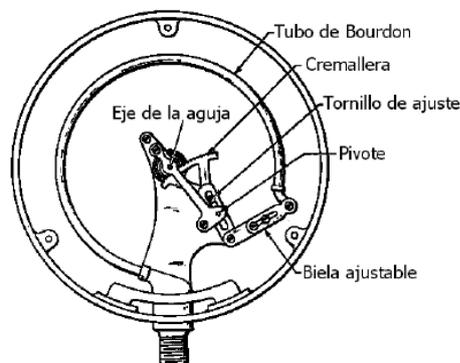
Fuente: (MATAIX, 1982)

2.5.1.1 Medidores de presión utilizados en el banco de pruebas de la turbina hélice de eje horizontal. En esta tesis se utilizó una mezcla entre elementos mecánicos como son los manómetros y vacuómetros que se basan en los tubos bourdon y elementos electromecánicos como son los transductores que se basan en principios mecánicos como

son los diafragmas y elementos electrónicos que son los encargados de producir la señal requerida, a continuación se describe los principios básicos en los cuales se basan estos.

Tubos bourdon. Funcionan por medio del principio de deformación que se presenta en la parte principal del mecanismo que es un tubo enrollado y sellado en uno de sus extremos este tubo se expande de acuerdo al material del que está construido, transportada por diferentes mecanismos esta deformación es transformada en presión. Entre los principales elementos adicionales tenemos los engranajes y eslabones que convierten la deformación del tubo en un movimiento proporcional de la aguja del indicador o registrador.

Figura. 10 Tubo bourdon

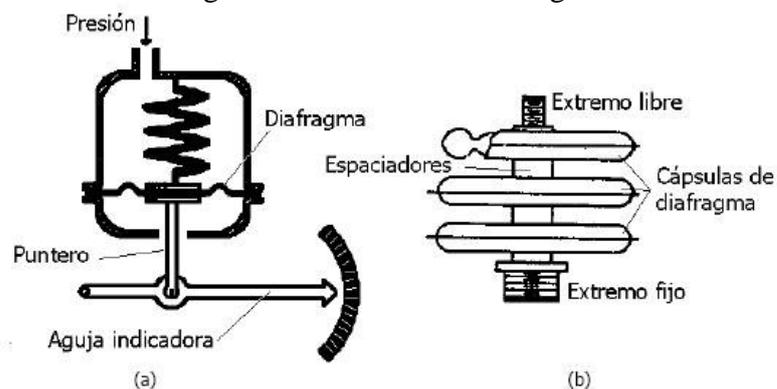


Fuente: <http://www.processcontrol.com>.

Diafragma. Son capsulas circulares conectadas entre sí por medio de soldadura donde al aplicar la presión cada capsula se deforma y la suma del desplazamiento se amplifica por medio de un juego de palancas.

Este tipo de sensores es utilizado para la medición de presiones bajas.

Figura. 11 Medidor de diafragma



Fuente: <http://www.emaze.com>

Este tipo de medidores funciona de manera parecida al medidores anteriores “Fuelles” la diferencia entre estos dos está en la construcción en donde el medidor de diagrama dispone de un disco flexible con corrugaciones donde este tiene la misma función que tenía el tubo en el medidor de fuelle..

2.5.2 *Caudal.* Es una de las variables más importantes, donde para la medición se debe tener cuidado ya que variables como la temperatura, viscosidad, densidad, corrosión, entre otras pueden modificar de una manera drástica la medida de la misma. Existen instrumentos que pueden medir diferentes tipos de fluidos ya sean líquidos, gaseosos o una mezcla de ambos.

Podemos definir al caudal o flujo como el volumen de fluido que atraviesa una sección transversal en una unidad de tiempo.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (2)$$

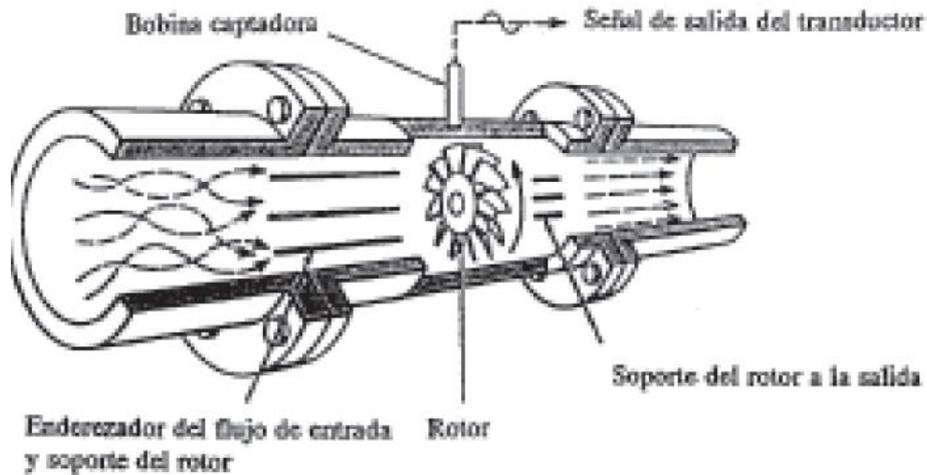
2.5.2.1 *Medidores de caudal utilizados en el banco de pruebas de la turbina hélice de eje horizontal.* Para la medición de caudal se optó por un elemento que se fundamenta en dos principios uno de ellos el que utiliza el medidor de turbina y en medidor de caudal electromagnético, las características de cada uno se describirán a continuación.

Medidores de turbina. Son utilizados como medidores para cualquier tipo de fluido sea este líquido o gaseoso.

Consta de una longitud de tubería en el centro de la cual hay un rotor de paletas múltiple, montado sobre cojinetes, para que pueda girar con facilidad, y soportadas aguas arriba y aguas abajo por un dispositivo de centrado tipo cruceta que, habitualmente, incorpora un enderezador de la vena fluida.

La energía cinética del fluido circulando hace girar el rotor con una velocidad angular que, en el margen lineal del medidor, es proporcional a la velocidad media axial del fluido y, por tanto, al caudal volumétrico. En la figura 22 se muestra la sección transversal típica de un medidor de turbina para líquidos, describiendo cada una de sus partes. (GARCIA, 2000)

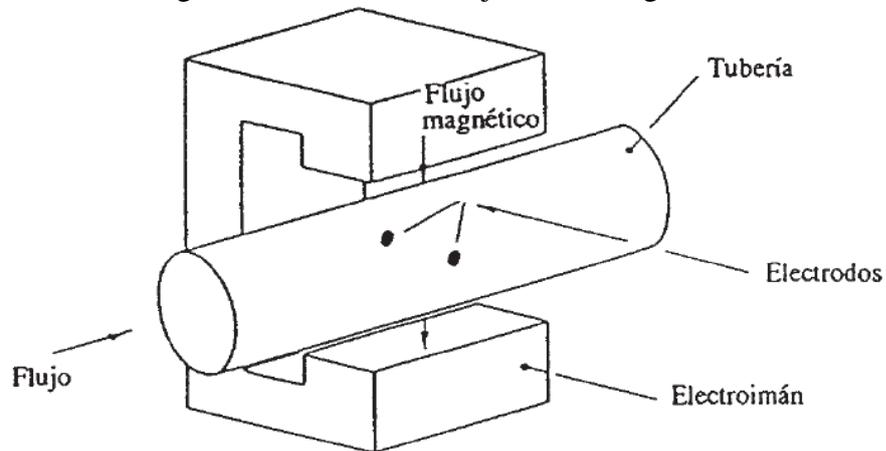
Figura. 12 Medidor de turbina



Fuente: (GARCIA, 2000)

Medidores de caudal electromagnéticos. El medidor de caudal electromagnético utiliza el mismo principio básico que el electrogenerador, es decir, cuando un conductor se mueve a través de un campo magnético se genera una fuerza electromotriz en el conductor, siendo su magnitud directamente proporcional a la velocidad media del conductor en movimiento.

Figura. 13 Medidor de flujo electromagnético



Fuente: (GARCIA, 2000)

Si el conductor es una sección de un líquido conductor circulando por un tubo aislado eléctricamente, a través de un campo magnético y se montan los electrodos diametralmente opuestos en la pared de la tubería, tal como se muestra en la figura 23, la fuerza electromotriz generada a través de los electrodos es directamente proporcional a la velocidad media del fluido (GARCIA, 2000)

2.5.3 *Velocidad angular.* Es una medida de la velocidad de rotación. Se define como el ángulo girado por una unidad de tiempo y se designa mediante la letra griega ω . Su unidad en el Sistema Internacional es el radián por segundo (rad/s).

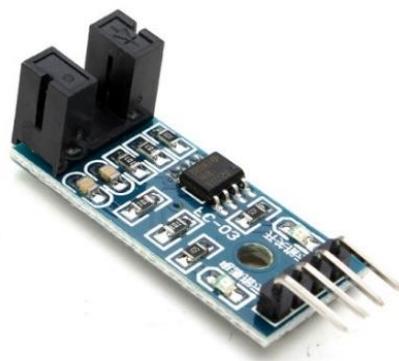
$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt} \quad (3)$$

Aunque se la define para el movimiento de rotación del sólido rígido, también se la emplea en la cinemática de la partícula o punto material, especialmente cuando esta se mueve sobre una trayectoria cerrada (circular, elíptica, etc.). (WIKIPEDIA, 2012)

2.5.2.1 *Medidor de velocidad angular utilizado en el banco de pruebas de la turbina hélice de eje horizontal.* Al igual que los ya descritos medidores de caudal y presión, para la medición de estas variables también existen innumerables opciones que de una u otras maneras pueden cumplir con la medición de la velocidad angular.

Para la medición de esta variable se utilizó un sensor de proximidad tipo óptico denominado “encoder.

Figura. 14 Encoder



Fuente: <http://www.banggood.com>

2.5.4 *Fuerza.* Es una magnitud física de carácter vectorial capaz de deformar los cuerpos, modificar su velocidad o vencer su inercia y ponerlos en movimiento si estaban inmóviles. En este sentido la fuerza puede definirse como toda acción o influencia capaz de modificar el estado de movimiento o de reposo de un cuerpo o bien de deformarlo. (WIKIPEDIA, 2014)

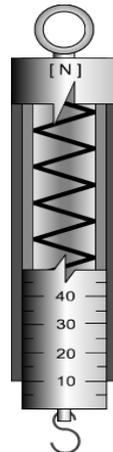
$$F = m \cdot a \quad (4)$$

Esta medida es necesaria para conocer el torque producido al realizar el frenado de la turbina, este dato nos sirve para conocer la potencia de útil que tiene la turbina y para datos posteriores.

2.5.4.1 Medidores de Fuerza. Para la medición de estas variables existen algunas alternativas que van desde instrumentos como las balanzas hasta elementos más especializados y más exactos como son los dinamómetros y las celdas de carga.

Dinamómetro. Es un instrumento utilizado para medir una fuerza. El dinamómetro tradicional, fue inventado por Isaac Newton.

Figura 15 Dinamómetro



Fuente: [es.wikipedia.org/wiki/Dinamómetro#/media/File](https://es.wikipedia.org/wiki/Dinam%C3%B3metro#/media/File)

Basa su funcionamiento en el estiramiento de un resorte que sigue la ley de elasticidad de Hooke en el rango de medición. Al igual que una báscula con muelle elástico, es una balanza de resorte, pero no debe confundirse con una balanza de platillos (instrumento utilizado para comparar masas).

Estos instrumentos constan de un muelle, como se observa en la figura generalmente contenido en un cilindro que a su vez puede estar introducido en otro cilindro. El dispositivo tiene dos ganchos o anillos, uno en cada extremo. Los dinamómetros llevan marcada una escala en el cilindro hueco que rodea el muelle. Al colgar pesos o ejercer una fuerza sobre el gancho exterior, el cursor de ese extremo se mueve sobre la escala exterior, indicando el valor de la fuerza.

El dinamómetro funciona gracias a un resorte o espiral que tiene en el interior, el cual puede alargarse cuando se aplica una fuerza sobre él. Una aguja o indicador suele mostrar, paralelamente, la fuerza. (WIKIPEDIA, 2012)

2.6 Parámetros funcionales de las turbinas hélice de eje horizontal

Se considera como parámetros funcionales de las turbinas aquellas que dan las características a las mismas.

Estos parámetros sirven para la selección de los diferentes instrumentos utilizados en la automatización.

2.6.1 *Velocidad específica.* Es el número de revoluciones que daría una turbina semejante a la que se trata de buscar y que entrega una potencia de un caballo, al ser instalada en un salto de altura unitaria. Esta velocidad específica, rige el estudio comparativo de la velocidad de las turbinas, y es la base para su clasificación. Se emplea en la elección de la turbina más adecuada, para un caudal y altura conocidos, en los anteproyectos de instalaciones hidráulicas, consiguiendo una normalización en la construcción de rodets de turbinas. (REYES AGUIRRE, 1988)

$$Ns = \frac{N\sqrt{Ps}}{H^{\frac{3}{4}}} \quad (5)$$

2.6.2 *Numero de revoluciones.* Generalmente las maquinas movidas por turbinas hidráulicas son generadores síncronos que están excitadas por un rotor de corriente directa. En estas máquinas existe una relación constante entre la frecuencia de la corriente alterna producida y el número de revoluciones de la máquina. (REYES AGUIRRE, 1988)

$$n = F \frac{60}{P} = 60 \frac{60}{P} = \frac{3600}{P} \quad (6)$$

2.6.3 *Caudal de agua disponible.* Este es un parámetro que lo da la naturaleza del medio, siendo un factor variante dependiendo de la época del año y las condiciones climáticas. Para información histórica sobre caudales de las principales fuentes hídricas en el Ecuador se puede recurrir a la página oficial del INAMHI donde se ofrece esta información.

En el caso de turbinas instaladas en laboratorios con fines didácticos o investigativos, el caudal es un parámetro que se modifica de acuerdo a la naturaleza de la experimentación y se lo mide por medio de instrumentos

2.6.4 *Torque.* Se define como fuerza multiplicada por la distancia perpendicular a la misma. Entonces la fuerza es la necesaria para producir el frenado producido por la aplicación de la misma al disco de freno que esta acoplada directamente al eje de la turbina y la distancia vendría dada por el radio del disco de frenado. Por medido de esta reflexión se tendrá que la fórmula que relaciona el troque de la turbina seria:

$$T = F_1 x \frac{d}{2} \quad (7)$$

Dónde:

T = Torque producido por la turbina [N.m]

F₁ = Fuerza necesaria para producir el frenado [N]; medida por el dinamómetro.

d = Diámetro del disco de frenado [m]; d=0,105 m

2.6.5 *Potencia útil.* Llamada también potencia mecánica, potencia de salida o potencia en el eje, se obtiene por medio de la interacción directa entre el torque y la velocidad angular de la turbina. Siendo la fórmula que relacione esta la siguiente:

$$P_u = \frac{2\pi x T x N}{60} \quad (8)$$

Dónde:

P_u = Potencia útil [W]

T = Torque [N.m]

N = Numero de revoluciones [rpm]

2.6.6 *Potencia hidráulica.* Llamada también potencia de entrada, viene dada por la siguiente relación:

$$P_a = \frac{\gamma x H_n x Q}{6000} \quad (9)$$

Dónde:

P_a = Potencia hidráulica [W]

γ = Peso específico del agua [N/m^3]

Q = Caudal [m^3/s]

H_n = Altura neta [m]

2.6.6.1 *Altura neta.* Es la altura puesta a disposición para ser aprovechada por la turbina. Está definida por la sumatoria de los incrementos de altura que absorbe la turbina en forma de presión, en forma de altura cinética y en forma de altura geodésica.

$$H_n = \frac{P_E - P_S}{\gamma} + \frac{v_E^2 - v_S^2}{2g} + Z_E - Z_S \quad (10)$$

Donde

H_n = Altura neta [m]

P_e = Presión de entrada a la turbina [Psi]

P_s = Presión de salida a la turbina [Psi]

v_e = Velocidad de entrada [m/s]

v_s = Velocidad de salida [m/s]

$Z_E - Z_S$ = Desnivel de líquido entre la entrada y la salida [m]; $Z_E - Z_S = 1,3\text{m}$

Según la ecuación de continuidad

$$Q = v_E A_E = v_S A_S \quad (11)$$

Se obtiene de la ecuación 11:

$$v_E = \frac{Q}{A_E} \quad (12)$$

$$v_S = \frac{Q}{A_S} \quad (13)$$

Despejando el área de las ecuaciones 12 y 13:

$$A_E = \frac{\pi d_E^2}{4} \quad (14)$$

$$A_S = \frac{\pi d_S^2}{4} \quad (15)$$

A_E = Área de entrada a la turbina [m^2]

A_S = Área de salida a la turbina [m^2]

d_E = Diámetro de entrada a la turbina [m]; $d_E = 0,155$ m

d_S = Diámetro de salida a la turbina [m]; $d_S = 0,134$ m

$$A_E = \frac{\pi (0,155)^2}{4} \quad A_E = 0,019 \text{ m}^2$$

$$A_S = \frac{\pi (0,134)^2}{4} \quad A_S = 0,014 \text{ m}^2$$

Se reemplaza los valores en la ecuación 10 quedando de la siguiente manera.

$$H_n = \frac{P_E - P_S}{1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,8 \frac{m}{s^2}} + \frac{\left(\frac{Q}{0,019 \text{ m}^2}\right)^2 - \left(\frac{Q}{0,014 \text{ m}^2}\right)^2}{2 \times 9,8 \frac{m}{s^2}} + 1,3 \text{ m}$$

Se procede a reducir la ecuación quedando de la siguiente manera.

$$H_n = 0,703(P_E - P_S) + 112,4Q^2 + 1,3 \quad (16)$$

Mediante esta fórmula se calcula todos los valores de altura neta.

2.5.7 Eficiencia de la turbina. Viene dado por la relación entre la potencia útil y la potencia hidráulica.

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} \quad (17)$$

Dónde:

η = Rendimiento de la turbina [%]

P_u = Potencia útil [W]

P_a = Potencia hidráulica [W]

2.7 Componentes de un sistema de adquisición de datos.

La adquisición de datos es la herramienta por medio de la cual se puede medir un fenómeno físico o propiedad física. Al hablar de la propiedad física o fenómeno físico se refiere como ejemplos al cambio de temperatura que se da en el ambiente de una casa, el cambio de presión que se da en la cámara de una bomba hidráulica, la fuerza aplicada sobre una superficie e innumerables magnitudes físicas que se presentan en el funcionamiento diario de una empresa. En donde un sistema de adquisición de datos tiene como objetivo medir todas estas variables de una manera fácil y precisa.



Fuente: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2015)

2.7.1 *Sensor.* La medida de un fenómeno físico, como la temperatura de una habitación, la intensidad de una fuente de luz o la fuerza aplicada a un objeto, comienza con un sensor, también llamado un transductor, convierte un fenómeno físico en una señal eléctrica que se puede medir. Dependiendo del tipo de sensor, su salida eléctrica puede ser un voltaje, corriente, resistencia u otro atributo eléctrico que varía con el tiempo. (NATIONAL INSTRUMENTS, 2015)

Figura. 17 Sensor de presión



Fuente: Autores

Tabla. 1 Tipo de sensores

Sensor	Fenómeno
Termopar, RTD, Termistor	Temperatura
Foto-sensor	Luz
Micrófono	Sonido
Galga Extensiométrica	Fuerza y Presión
Potenciómetro, LVDT, Codificador Óptico	Posición y Desplazamiento
Acelerómetro	Aceleración
Electrodo Ph	Ph

Fuente: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2015)

2.7.2 Dispositivo DAQ. El hardware DAQ actúa como la interfaz entre una PC y señales del mundo exterior. Funciona principalmente como un dispositivo que digitaliza señales analógicas entrantes para que una PC pueda interpretarlas.

Los tres componentes clave de un dispositivo DAQ usado para medir una señal son el circuito de acondicionamiento de señales, convertidor analógico-digital (ADC) y un bus de PC. Varios dispositivos DAQ incluyen otras funciones para automatizar sistemas de medidas y procesos.

Por ejemplo, los convertidores digitales-analógicos (DACs) envían señales analógicas, las líneas de E/S digital reciben y envían señales digitales y los contadores/temporizadores cuentan y generan pulsos digitales. (NATIONAL INSTRUMENTS, 2015)

Figura. 18 Tarjeta de adquisición de datos DAQ NI-6009



Fuente: Autores

2.7.3 *PC en un Sistema DAQ.* Una PC con software programable controla la operación del dispositivo DAQ y es usada para procesar, visualizar y almacenar datos de medida. Diferentes tipos de PCs son usadas en diferentes tipos de aplicaciones. Una PC de escritorio se puede utilizar en un laboratorio por su poder de procesamiento, una laptop se puede utilizar por su portabilidad o una PC industrial se puede utilizar en una planta de producción por su robustez. (NATIONAL INSTRUMENTS, 2015)

2.8 Software utilizado para la adquisición de datos LabVIEW

Desde el nacimiento de una idea, el enfoque único de NI basado en plataforma para aplicaciones de ingeniería y ciencia, ha impulsado el progreso en una amplia variedad de industrias. En el centro de este enfoque está LabVIEW, un entorno de desarrollo diseñado específicamente para acelerar la productividad de ingenieros y científicos. Con una sintaxis de programación gráfica que facilita visualizar, crear y codificar sistemas de ingeniería, LabVIEW es incomparable en ayudar a ingeniero a convertir sus ideas en realidad, reducir tiempos de pruebas y ofrecer análisis de negocio basado en datos recolectados. Desde desarrollar máquinas inteligentes hasta garantizar la calidad de los dispositivos conectados, LabVIEW ha sido la solución predilecta para crear, implementar y probar ideas y proyectos en general. (NATIONAL INSTRUMENTS, 2015)

2.8.1 *Estructura del LabView (VIs).* Los Vis, virtual instruments, están integrados por 3 partes principales: el panel frontal, el diagrama de bloques, y el icono/conector.

El panel frontal está compuesto por una combinación de controladores e indicadores que le permiten al usuario enviar y recibir datos del VI.

El diagrama de bloques está compuesto de nodos, terminales y cables. Los nodos son elementos de ejecución del programa.

Los nodos son análogos a estatutos, funciones y subrutinas en los lenguajes de programación basados en texto. Los terminales son puertos a través de los cuales los datos pasan entre los nodos del diagrama de bloques. Los cables son rutas de datos entre terminales. Son análogos a las variables en los lenguajes de programación convencionales.

CAPÍTULO III

3. ESPECIFICACIONES DE LOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN LA AUTOMATIZACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS

3.1 Especificaciones de los elementos utilizados para medir la presión en el banco de pruebas

Como se describió anteriormente se utilizaron para medir la presión tanto elementos mecánicos como electromecánicos, donde los elementos mecánicos como son los manómetros y vacuómetros a más de servir para obtener una medida directa de la presión nos sirve para poder relacionar la medida de la misma y revisar que la señal que nos da el transductor de presión sea la correcta, a continuación se describe cada elemento utilizado para realizar esta tarea.

3.1.1 Manómetros y vacuómetros. Estos medidores se basan en un principio mecánico del tubo bourdon, el manómetro y vacuómetro que se utilizó para la implementación en esta tesis fueron los que se muestran en el la figura 19, estos elementos tienen rangos de medida que van desde 0 a 15 psi en lo referente al manómetro y -30 in Hg a 15 psi referente al manovacuómetro.

Los dos manómetros tienen el mismo funcionamiento pero difieren en la escala de medición se debe de prestar atención a esta característica de los mismos.

Figura. 19 Manómetro instalado en el banco de pruebas de la turbina de hélice



Fuente: Autores

3.1.2 *Transductor de presión serie PX209.* Los transductores de presión de la serie PX209 OMEGA son exactos, altamente confiables y adecuado para los más duros ambientes industriales. El pequeño tamaño y ligereza de la serie PX209 hacen que sean ideales para entornos de golpes y vibraciones.

Figura. 20 Transductor de presión PX209



Fuente: Omega Instruments

El alto rendimiento de este transductor de presión de estado sólido proviene del puente de 4 brazos activos de silicio difundido micro-mecanizado con su diafragma y película fina patentada que proporciona un aislamiento dieléctrico. Un ASIC patentado proporciona una excelente compensación de temperatura de -20 a 80 ° C (-4 A 176 ° F), y unas tolerancias muy alta de balance cero y span. Con una construcción completa en acero inoxidable, el PX209 tiene una excelente tolerancia a golpes y vibraciones además que todas sus partes húmedas son impermeables a casi todos los líquidos industriales y gases.

3.1.2.1 *Transductor de presión PX209-015A5V.* El transductor de presión PX209-015A5V, mide de (0 a 15) psi, requiere una excitación de 24 VDC, con una salida de voltaje de 0 a 5 VDC, pesa 128 g, opera a temperaturas de -20 A 80 °C.

Figura. 21 Transductor de presión PX209-015A5V



Fuente: Omega Instruments

3.1.2.2 *Transductor de presión manovacuumétrico PX209-30V15G5V.* El transductor de presión manovacuumétrico PX209-30V15G5V compuesto mide de (-14.7 a 15) psi requiere una excitación de 24 VDC, con una salida de voltaje de 0 a 5VDC, pesa 128g, opera a temperaturas de -20 A 80 °C.

Figura. 22 Transductor de presión manovacuumétrico PX209



Fuente: Omega Instruments

3.2 Especificación del equipo utilizado para medir el caudal en el banco de pruebas.

3.2.1 *Sensor de caudal FP 5301.* Es un sensor de inserción que nos permite una medición del caudal con mucha exactitud está basado en un principio muy sencillo el cual se describió en los medidores electromagnéticos pero con una diferencia que este también utilizada un mecanismo mecánico convirtiéndolo en un medidor electromecánico, la precisión de este sensor fluctúa en el rango de $\pm 0,2$ fps, una repetitividad a $\pm 0,1$ fps, tiene múltiples aplicaciones restringidas solo a la medición de caudal de fluidos líquidos.

3.2.1.1 *Funcionamiento del sensor de caudal.* El sensor funciona basándose en un principio electromecánico simple pero preciso, a partir de una medición de la velocidad y el volumen del caudal en el tubo. Cuatro imanes permanentes, incrustados en las hojas del rotor, giran una bobina en el cuerpo del sensor.

A medida que el caudal de fluido hace que se mueva el rotor, se genera una señal de onda sinusoidal, directamente proporcional a la velocidad del caudal.

La característica patentada de “célula abierta” del rotor como se observa en la figura 24 garantiza una salida lineal y repetitiva de hasta 23 fps, con una precisión de $\pm 0,2$ fps. El resultado es una pérdida mínima del cabezal y sin cavitación.

Figura. 23 Sensor FP-5300



Fuente: Omega Instruments

A medida que el caudal de fluido hace que se mueva el rotor, se genera una señal de onda sinusoidal, directamente proporcional a la velocidad del caudal.

La característica patentada de “célula abierta” del rotor como se observa en la figura 24 garantiza una salida lineal y repetitiva de hasta 23 fps, con una precisión de $\pm 0,2$ fps. El resultado es una pérdida mínima del cabezal y sin cavitación.

Tabla. 2 Características del sensor FP-5301

Características	Rango
Precisión	$\pm 1\%$ escala completa
Señal de salida	1 V p-p/fps
Rango de caudal	6 Hz/fps nominal
Impedancia de origen	8 K Ω
Impedancia de origen	Serie FP-5300: 180 psig máx. 20 °C
Temperatura mínima	0 °C (32 °F)
Temperatura máxima	20°C
Caída de presión	Igual a 2,5 m (8') de tubo plano
Material	Carcasa del transductor: polipropileno con relleno de vidrio Juntas tóricas: FKM; Eje: Titanio (PVDF.) Rotor: PVDF
Máximo % Sólidos	1% de volumen de fluido, no magnético, diámetro de <100 micrones y longitud estándar

Fuente: Autores

Continuación Tabla 2 Características del sensor FP-5301

Longitud del cable	7,5 m (25')
Viscosidad máxima	1 centipoise (agua) hasta 5 cp por encima de una velocidad de 5 fps

Fuente: Autores

3.3 Especificación del equipo utilizado para medir la velocidad angular en el banco de pruebas.

3.3.1 *Encoder.* El principio de operación de un encoder se basa en los llamados fotoacopladores. Estos son pequeños chips que consisten en un diodo en forma de fotoemisor y un transistor que realiza las tareas de fotoreceptor.

Este elemento se encarga de detectar la presencia/ausencia de la luz a través de los discos concéntricos al eje, los cuales están fabricados con unas ranuras que dejan pasar la luz en función de una codificación utilizada para obtener la medida final

3.4 Especificación del equipo utilizado para medir la fuerza en el banco de pruebas.

3.4.1 *Dinamómetro digital.* Funciona de igual manera que un dinamómetro convencional, con la diferencia que la lectura nos entrega por medio de una pantalla digital. Tiene un rango de medida de 0 a 40 kg, con una precisión de centésimas de kg.

Figura 24 Dinamómetro digital utilizado en el banco de pruebas



Fuente: Autores

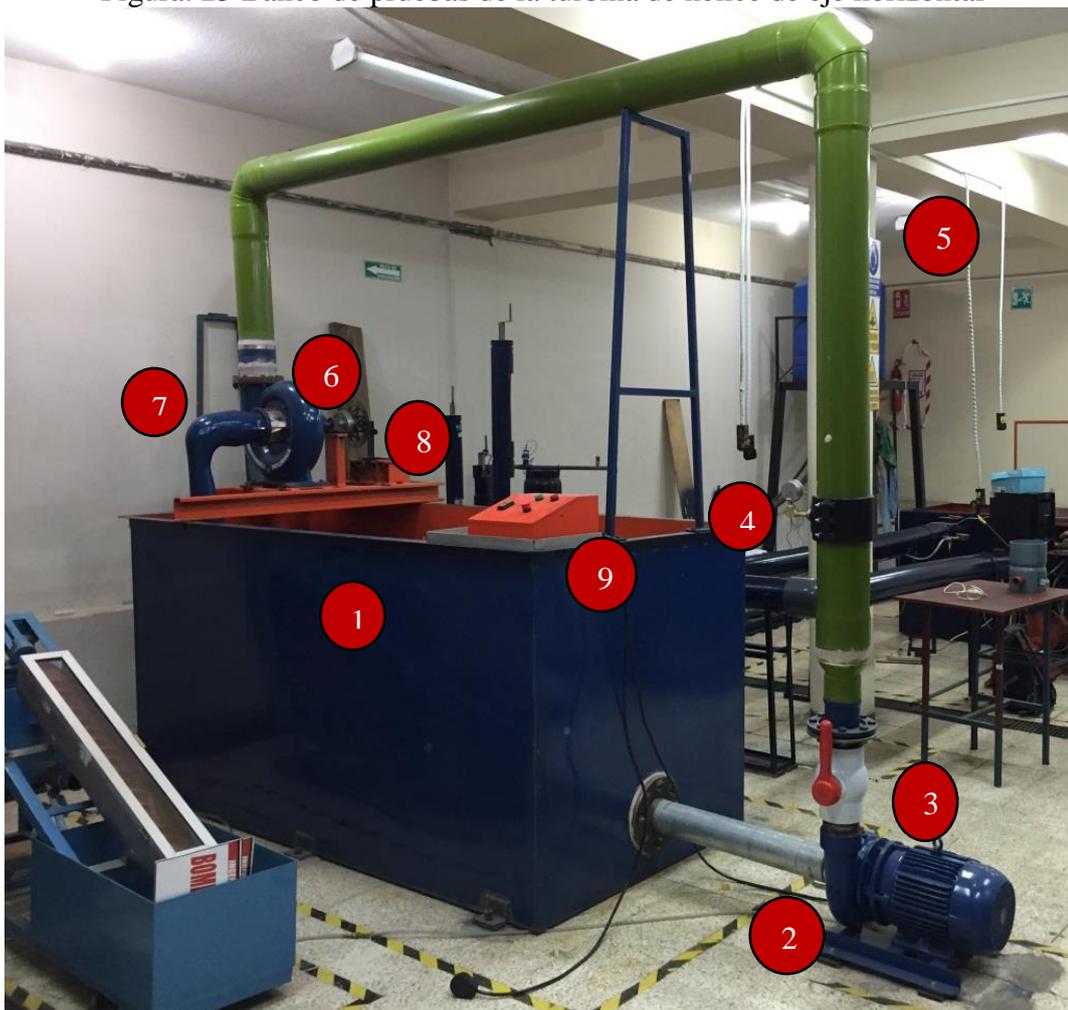
Para la interacción de este medidor con la automatización de la adquisición de datos, se optó por realizar una visión artificial, a través de una cámara la cual envía el dato de fuerza que ejerce el freno al eje de la turbina, hacia el computador.

CAPÍTULO IV

4. REPOTENCIACIÓN Y MONTAJE DE EQUIPOS EN EL BANCO DE PRUEBAS.

4.1 Descripción del banco de pruebas antes de la automatización de la toma de datos.

Figura. 25 Banco de pruebas de la turbina de hélice de eje horizontal



Fuente: Autores

El funcionamiento de este banco es relativamente sencillo, comenzando desde un depósito de agua (1) de donde es extraída por medio de una bomba centrífuga (caudal) (2) que es la encargada de aumentar la energía potencial del agua para que esta sea transportada a través de una tubería con un diámetro de 6 plg (5) el caudal es regulado por medio de una válvula ubicada a la salida de la bomba (3) en donde también está instalado un manómetro para medir la presión a la salida de la misma (4). Este caudal es

direccionado a la turbina (6), a su entrada existe también otro manómetro que mide la presión con que el agua ingresa a la misma, para que esta transforme la energía potencial del agua en energía cinética (rotacional), este movimiento de la turbina es controlado gracias a una mecanismo descrito anteriormente como distribuidor Fink que es el encargado de direccionar el caudal hacia los alabes de la turbina este distribuidor tiene tres posiciones con lo cual el rendimiento de la turbina no se ve alterado si hay una disminución de caudal, existe otro mecanismo en este tipo de turbinas que es la orientación de sus alabes, este mecanismo no está presente en esta ya que sus alabes son fijos, al final existe un tubo de aspiración (7), que ayuda a desalojar el agua hacia una segunda cámara del reservorio con lo cual el nivel de agua permanece constante, este ciclo se repite consecutivamente.

Además de esto existe un mecanismo de frenado localizado en el eje de la turbina que nos sirve para la experimentación (8), el encendido y apagado del banco es controlado por medio de pulsadores ubicados en el módulo de control (9).

Todas estas variables como caudal, velocidad de rotación del eje, presión se obtenían experimentalmente de una manera no muy exacta por lo cual con la instalación de instrumentación electrónica y electromecánica se tendrán medidas de las mismas de una manera muy fácil, segura y precisa.

Para la interacción instrumentación electromecánica, con la PC, se utilizó una tarjeta de adquisición DAQ 6009, que es la encargada de transformar las señales eléctricas de los sensores en un lenguaje que sea compatible con la interfaz programable del PC.

Esta interfaz se logró realizar por medio del software LabVIEW, cuya programación permite al usuario a más de poder realizar una visualización de medidas en tiempo real, un control del funcionamiento del sistema en general pero como se trató anteriormente o se enfatizó en el control del mismo, dejando esta acción para futuras innovaciones del banco de pruebas.

4.2 Descripción de las partes constitutivas del banco de pruebas.

Los elementos constitutivos del banco de pruebas de la turbina hélice de eje horizontal se describen en la tabla 3.

Tabla. 3 Descripción de los elementos del banco de pruebas antes de la automatización

Elemento	Características	
<p data-bbox="472 282 632 315">Motobomba</p> 	Tipo de bomba	Centrifuga
	Tipo de motor	Trifásico
	Potencia	10 Hp
	Velocidad	1750 RPM
	Marca	WEG
<p data-bbox="499 604 604 638">Turbina</p> 	Tipo	Hélice
	Tamaño nominal del rodete	0.131 m
	Numero de alabes fijos	3 alabes
	Velocidad especifica	450 rpm
	Cabeza de diseño	6 m
	Caudal	2300 lt/min
	Velocidad optima del eje	1000 rpm
	Diámetro de salida de la turbina	6 plg
	Diámetro de entrada a la turbina	6 plg.
<p data-bbox="480 1176 624 1209">Reserborio</p> 	Capacidad	6000 Lts
	Material	Acero
<p data-bbox="288 1523 815 1556">Valvula de apertura y cierre rapido (90°)</p> 	Material	PVC
	Marca	PLASTIGAMA

Fuente: Autores

Continuación tabla. 3 Descripción de los elementos del banco de pruebas antes de la automatización

<p>Dinamómetro digital</p> 	<p>Rango</p>	<p>0-40 Kgf</p>
	<p>Marca</p>	<p>WeiHeng</p>
<p>Manómetros</p> 	<p>Rango</p>	<p>0-30 psi</p>
	<p>Marca</p>	<p>Winters</p>

Fuente: Autores

4.3 Trabajos realizados antes de la automatización

4.3.1 Bomba Centrífuga. La bomba centrífuga antes de la automatización de la toma de datos presentaba fugas en la parte inferior de misma, en la región ubicada entre la bomba y le motor, a simple vista parecía que el sello mecánico de la misma se había deteriorado por lo cual se optó por desmontar esta y seleccionar cual es la causa que originaba la fuga, con un examen más minucioso se logró determinar que la causa de la fuga es ocasionada por un problema en el diseño de la misma, además de esto los controles de encendido, apagado y paro de emergencia no funcionaban de una manera adecuada por lo que se optó por cambiar la instalación eléctrica de los mismos.

4.3.1.1 Trabajos realizados en la bomba centrífuga.

Desmontaje de la bomba. Se procedió a desmontar la bomba para observar las posibles causas de la fuga en la misma.

Figura. 26 Desmontaje de la bomba centrífuga



Fuente: Autores

Revisión de las partes constitutivas de la bomba centrífuga. Una vez desmontada la bomba centrífuga se procedió a verificar la fuga y se determinó mediante inspección visual que la causa prodría darce por el mal estado del sello mecánico.

Figura. 27 Partes principales de la bomba centrífuga



Fuente: Autores.

Desmontaje total de la bomba. Una vez desmontada la bomba se procedió a realizar un desmontaje total de las piezas constitutivas de la misma, esta tarea se observó que el sello mecánico estaba intacto y se determinó que la causa real de la fuga provenía de la falta de hermeticidad entre el acople de la bomba y motor eléctrico por lo cual se procedió a maquinarse el eje y así realizar un canal en donde se acoplo un O-ring para eliminar la fuga.

Una vez terminado estos trabajos se realizó una prueba y se observó que la fuga había desaparecido se procedió a montar nuevamente la bomba.

Figura. 28 Montaje de la bomba centrífuga



Fuente: Autores

4.3.2 *Turbina de hélice de eje horizontal.* Al igual que la bomba, esta también presentaba fugas en la región del tubo de aspiración, se desmontó y se optó por hacer un empaque y sellar correctamente este conjunto.

4.3.2.1 *Trabajos realizados en la turbina de hélice de eje horizontal*

Desmontaje del tubo de admisión. Se procedió a desmontar el tubo de admisión de la turbina para realizar una limpieza del impeler de la turbina, se fijó de manera adecuada estos elementos.

Se realizó un empaque para el acoplamiento de estos dos elementos para garantizar que las fugas que se presentaron anteriormente desaparezcan, se realizó de la misma manera la perforación para el acoplamiento del sensor de presión PX 209.

Figura. 29 Impeler de la turbina de hélice de eje horizontal



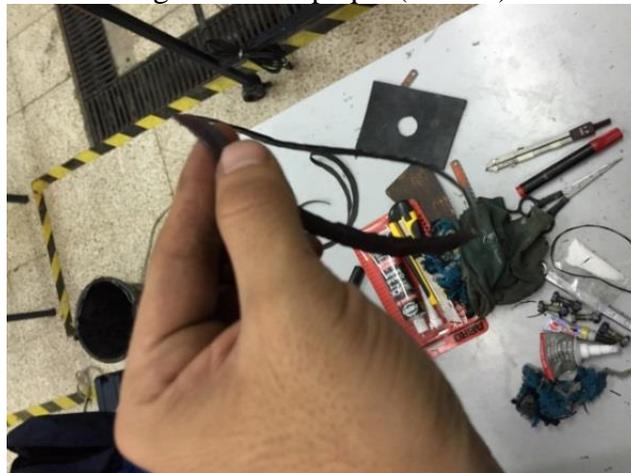
Fuente: Autores

Figura. 30 Corrección de fugas en el tubo de aspiración



Fuente: Autores.

Figura. 31 Empaque (caucho)



Fuente: Autores

Figura. 32 Montaje de los elementos de la turbina



Fuente: Autores

Una vez terminado con los trabajos en la turbina y en el tubo de aspiración se procedió a montar los elementos como se observa en la figura 32 .

4.3.3 *Tanque reservorio.* Como se observa en los dos casos anteriores el principal problema en este banco fueron las fugas, este elemento no fue la excepción, las fugas se encontraron ubicadas en la región del acople entre el tanque y el tubo de aspiración de la bomba centrífuga, la solución fué sellar y ajustar correctamente.

Figura. 33 Tanque reservorio (desprendimiento de la capa anticorrosiva)



Fuente: Autores

A más de esto el tanque reservorio presentaba desprendimiento de la capa anticorrosiva como se observa en la figura 33, por lo cual se optó por restaurar la misma, quedando como se observa en la figura 34.

Figura. 34 Tanque reservorio (restaurada la capa anticorrosiva)



Fuente: Autores

4.4 Trabajos posteriores

Una vez realizada la repotenciación del banco, se procedió a realizar la automatización, para lo cual se comenzó con la selección de los sensores más aptos para realizar la toma de mediciones de las diferentes variables que interviene en este proceso, esta selección se trató en el capítulo tres donde se especificaba todas las características de los sensores involucrados en este proceso. En este capítulo se tratara la instalación de cada uno de estos sensores y los diferentes procedimientos para la instalación de los mismos.

4.4.1 *Instalación de los sensores de presión PX 209.* Antes del montaje de los sensores de presión se realizó una calibración de los mismos, que consiste en obtener las medidas comparativas entre el voltaje emitido por el sensor con cada medida de presión establecida, las medidas comparativas se describen en el Anexo 2.

Para la realización de la calibración de los sensores se procedió a utilizar un calibrador de manómetros. Por medio de una comparación entre el manómetro y la cantidad de voltaje que es producido por el sensor se establece una curva característica del mismo, el calibrador de manómetros y sensores de presión se observa en la figura 39.

Figura. 35 Montaje de los sensores de presión en la balanza para la determinación de la curva característica (P vs V



Fuente: Autores

Posterior a la calibración de los sensores de presión se procedió a montar los mismos en el banco de pruebas, para lo cual se instalaron mediante una T que tiene el propósito de en uno de sus extremos instalar un manómetro que nos ayudara a tener una lectura directa de la presión.

Figura. 36 SNUBBERS (Mecanismos de protección contra picos de presión)



Fuente: Autores

Por último se instalaron elementos de protección como son los SNUBBERS, los cuales son elementos que protegen los sensores en picos de presión se observan en la figura 40, además de esto es instalaron válvulas que nos permiten desalojar el agua de los elementos de medida después de realizada la práctica como se observa en la figura 41.

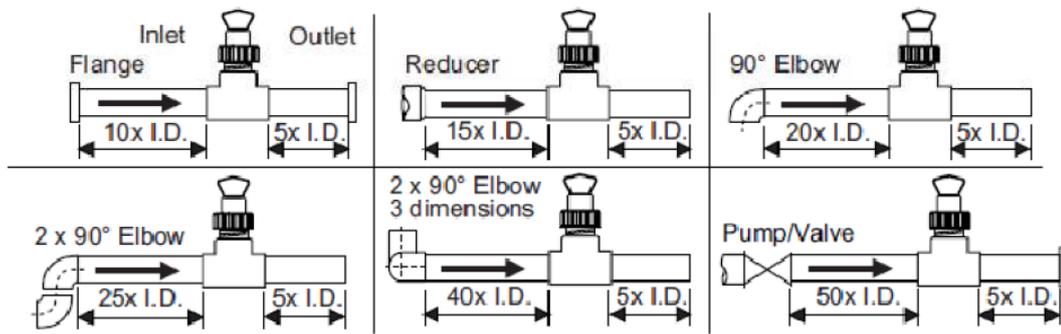
Figura. 37 Instalación de los sensores de presión PX209



Fuente: Autores

4.4.2 *Instalación del sensor de flujo.* Antes de la instalación del sensor de flujo se tiene que tener cuidado y realizarlo de acuerdo con todas las debidas recomendaciones que hace el fabricante, las mismas se describen a continuación:

Figura. 38 Distancia optima de instalación del sensor de flujo

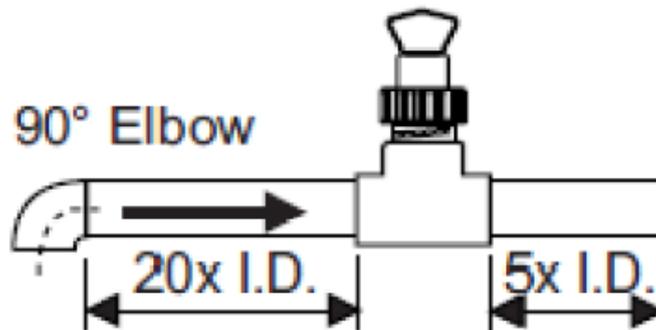


Fuente: Omega Instruments

- Se debe de tener en cuenta el montaje aguas arriba o aguas abajo, para que las medidas del sensor sean las correctas y no exista errores , esto es de gran importancia ya que una instalación inadecuada podria traer como consecuencia un error exesivo en la medidas realizadas por el mismo.
- Se debe de tener cuidado con la instalación de estos elementos ya que deben de ser intalados a cierta distacia de un elemento de acople o cualquier otro elemento que intervenga en la intalación.

De acuerdo a la figura 38 el caso que influyó en nuestro tema fué el siguiente, descrito en la figura 39.

Figura. 39 Distancia del sensor después del acoplamiento de un codo de 90°



Fuente: Omega intruments.

De acuerdo con esta condición la distacia para el acoplamiento del sensores :

$$D_1 = 20 \times I.D \quad (18)$$

$$D_2 = 5 \times I.D \quad (19)$$

Donde:

D_1 =Distancia antes del acoplamiento del sensor [mm]

D_2 =Distancia despues del acoplamiento del sensor [mm]

I.D=Diámetro interno del tubo [mm]

$$I.D = (De - 2e) \quad (20)$$

Donde:

De = Diámetro exterior del tubo [mm]; $De = 160$ mm

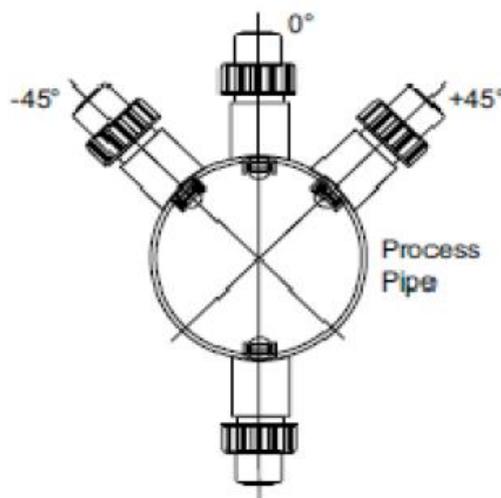
e = Espesor del tubo [mm]; $e = 3$ mm

$$D_1 = 20 \times (154) \quad D_1 = 3080 \text{ mm}$$

$$D_2 = 5 \times (154) \quad D_2 = 770 \text{ mm}$$

Una vez conocidas las distancias establecidas para el montaje del sensor de caudal se procedió a realizar el orificio para el acoplamiento del sensor teniendo en cuenta las siguientes disposiciones.

Figura. 40 Desviación del sensor de caudal



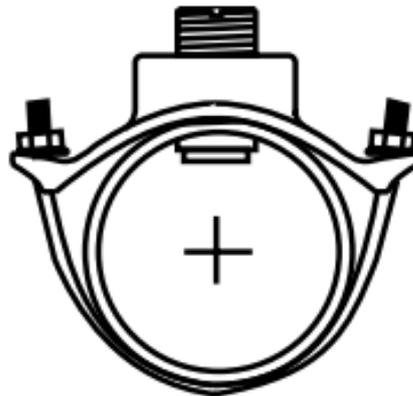
Fuente: Omega instruments

Como se observa en la figura 40 la inclinación del sensor puede variar solo en cuatro posiciones (0, 45,-45,180) °, mediante esta consideración se instaló el sensor con una desviación de - 45°.

Para la unión del sensor con la tubería, tiene un acople especial (figura 41), que es específico para la tubería de 6 plg.

Este acople trajo un problema, ya que por no encontrarse en el mercado se optó por manufacturar el mismo, se realizó diferentes prototipos hasta llegar a uno que cumpla con las condiciones que exige la fabricación, a más de que ofrezca seguridad y el sello hermético con el sensor.

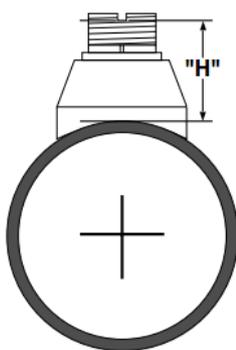
Figura. 41 Acople para el sensor de caudal



Fuente: Omega instruments

La normativa principal de este sensor es la altura (H) a la que debe de estar respecto al fluido para encontrar una altura optima, el manual del usuario del sensor recomienda alturas dependiendo del modelo de cada sensor.

Figura. 42 Distancia optima de acoplamiento del sensor de flujo



Weldolet part number	"H" dimension		Weldolet part number	"H" dimension	
	inch	mm		inch	mm
FP-5325CS	2.33	59.18	FP-5387CS	4.16	105.66
FP-5330CS	2.32	58.92	FP-5388CS	4.10	104.14
FP-5340CS	2.30	58.42			
FP-5350CS	3.09	78.48			
FP-5360CS	2.96	75.18	FMG-5325, FP-5325BR	2.33	59.18
FP-5380CS	2.73	69.34	FMG-5330, FP-5330BR	2.32	58.92
FP-5381CS	5.48	139.19	FMG-5340, FP-5340BR	2.30	58.42
FP-5382CS	5.25	133.35	FMG-5350, FP-5350BR	3.09	78.48
FP-5383CS	5.10	129.54	FMG-5360, FP-5360BR	2.96	75.18
FP-5384CS	4.85	123.19	FMG-5380, FP-5380BR	2.73	69.34
FP-5385CS	4.60	116.84	FMG-5381, FP-5381BR	5.48	139.19
FP-5386CS	4.38	111.25	FMG-5382, FP-5382BR	5.25	133.35

Fuente: Omega Instruments

Mediante esta tabla y de acuerdo al tipo de sensor que tenemos se optó por una altura de 78.48 mm y con esta medida se empezó a experimentar con distintos tipos de acoples.

Inicialmente se trató de realizar un acople mediante una unión y practícale una rosca para poder acóplale un neplo de la medida antes tratada, el modelo de este acople con su respectivo acoplamiento del neplo y la unión de tubo de 6 plg se muestra en la figura 43.

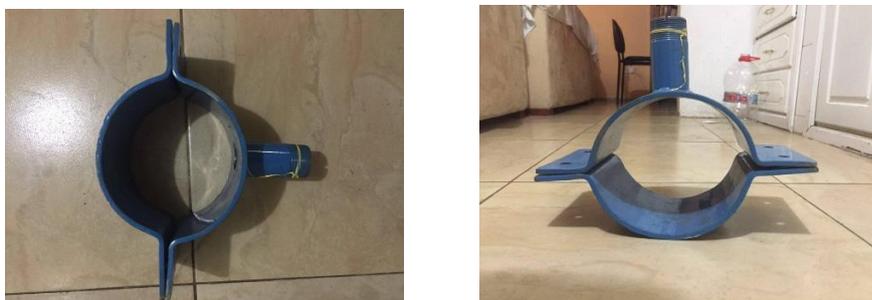
Figura. 43 Acople experimental uno para el sensor de nivel



Fuente: Autores

El segundo experimento fue hacer un acople metálico a medida, mediante una junta bridada. A simple vista parecía que el acople podría funcionar de una manera adecuada, pero en el momento de las pruebas no prestaba la suficiente hermeticidad ya que tenía innumerables fugas, a más de esto el montaje en ese acople al ser de acero desgastaba de una manera considerable al sensor al ser ese de plástico. Como último punto para descartar este acople se tuvo que prestar importancia a un punto que no se trató anteriormente la cual es la corrosión ya que este sería un grave problema en este tipo de acople por lo cual también se descartó este modelo el mismo se puede ver en la figura 44.

Figura. 44 Acople experimental dos para el sensor de nivel



Fuente: Autores

Mediante todos estos experimentos se vio que el principal problema de los mismo era la hermeticidad por lo que se emulo un acople parecido a uno ya utilizado para la unión de

un manómetro a la salida de la bomba. Al adquirir el acople constaba de una entrada de 2 ¼ plg que era excesivamente grande para nuestro sensor por lo que se optó por realizar un neplo a la medida del sensor que se acoplara exactamente en el acople. El resultado se observa en la figura 45, este acople mejoro radicalmente la hermeticidad ya que no presentaba ninguna fuga a más de esto el aspecto estético mejoro, además que las piezas fueron mecanizadas por lo que las medidas fueron exactas.

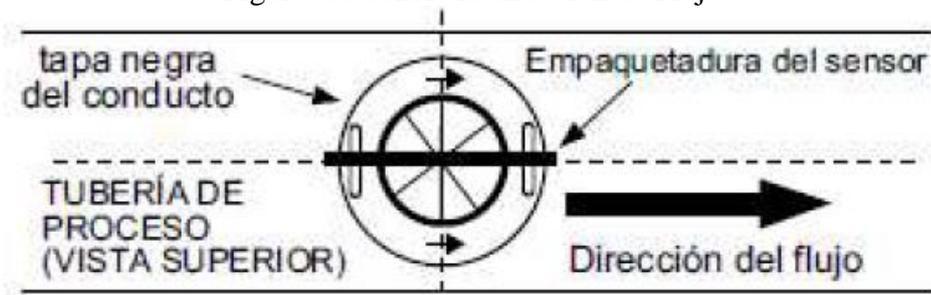
Figura. 45 Acople del sensor de caudal



Fuente: Autores

Este fue el acople que se instaló en el banco de pruebas de la turbina hélice, como se había tratado anteriormente se instaló con una inclinación de -45° como se observa en la figura 45, antes de montar el sensor en el acople se tuvo que lubricar este para que se deslice de una manera delicada en el interior del tubo y que el sensor no sufra daño, este lubricante tiene que ser en base de agua ya que un lubricante con base de aceite podría dañar las juntas (O-ring).

Figura. 46 Señala la dirección de Flujo

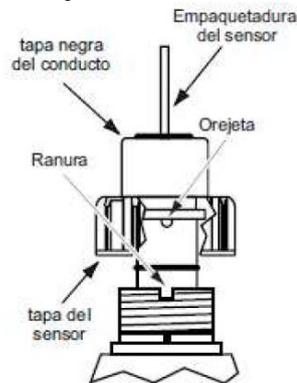


Fuente: Omega Instruments

Al final para realizar el montaje del sensor es preciso revisar el sentido del mismo, esta consideración se describe en la figura 46.

La figura 47 describe que una torsión o traslado, se debe bajar el sensor a la pieza de encaje y asegurarse de que las flechas de instalación en la tapa negra señalen la dirección de flujo, además nos hace referencia de cómo se debe de ajustar el sensor, la misma describe lo siguiente: Acoplar la rosca de la tapa del sensor y luego haga girar el sensor hasta que la pestaña de lineación entre en la ranura de la pieza de encaje. Ajustar la tapa del sensor manualmente. NO utilizar ningún tipo de herramienta para ajustar la tapa del sensor o las roscas se pueden dañarse.

Figura. 47 Ajuste del sensor de caudal



Fuente: Omega Instruments

Al final el sensor de flujo quedo como se muestra en la figura 48, como se describió anteriormente con una inclinación de 45° ya que esta inclinación es recomendada por el fabricante para obtener la mejor lectura. Además de esto como se trató anteriormente se instaló mediante un acople con una altura H de 78.48 mm que fue tratado anteriormente.

Figura. 48 Montaje del sensor de caudal



Fuente: Omega Instruments

4.4.3 *Instalación del sensor de velocidad angular.* Como se trató en el capítulo anterior, se utilizó para medir las revoluciones por minuto (RPM) un sensor infrarrojo (encoder) cuyo funcionamiento se trató anteriormente. Se optó por realizar una base para el acople del mismo además de esto se construyó un disco con la hendidura correspondiente, este sistema se muestra en la figura 49 y quedó instalado de la siguiente manera como se muestra en la figura 50

Figura. 49 Encoder y disco



Fuente: Autores

Figura. 50 Acoplamiento del sensor de RPM (Encoder)



Fuente: Autores

El acoplamiento de este sensor no prestaba mayor dificultad únicamente se precisaba que en el puesto en que iba a ser montado el sensor este totalmente seco, por lo cual se hizo pruebas y se colocó el mismo en un punto que cumplía con esta condición, esta fue la única condición importante a tratar en esta parte del montaje de este sensor.

4.4.4 *Instalación del dinamómetro.* Este elemento como se habló en capítulo anterior es el encargado de medir la fuerza necesaria para producir el frenado de la turbina, este elemento fue acoplado en la periferia de un disco de frenado, fue acoplado a este mediante bases colocadas como se indica en la figura 51, esto no presento mucho dificultad, el problema fue como llevar la medida del dinamómetro digital a la programación del sistema por lo cual se hizo un estudio previo de los demás bancos automatizados del laboratorio de turbomaquinaria y se optó por realizar algo similar, estos bancos utilizaban un proceso de visión artificial que es el método mediante el cual se puede llevar la información medida del dinámetro hacia la programación del sistema, para esto se hizo necesario la instalación de una cámara que es la encargada de capturar la imagen de la mediada del dinamómetro y llevarla hacia el computador esta imagen es procesada por el programa (LabView) para luego obtener la medida correspondiente, este proceso de la visión artificial se tratara con más profundidad en el capítulo de programación.

Figura. 51 Instalación del dinamómetro y cámara digital



Fuente: Autores

Para la instalación de estos elementos se debió prestar mucha importancia a la alineación que debe tener el lente de la cámara con el display del dinamómetro, para que el valor sea detectado de la mejor manera y el software pueda reconocer los caracteres sin errores para los posteriores cálculos que se deben realizar en el programa

CAPÍTULO V

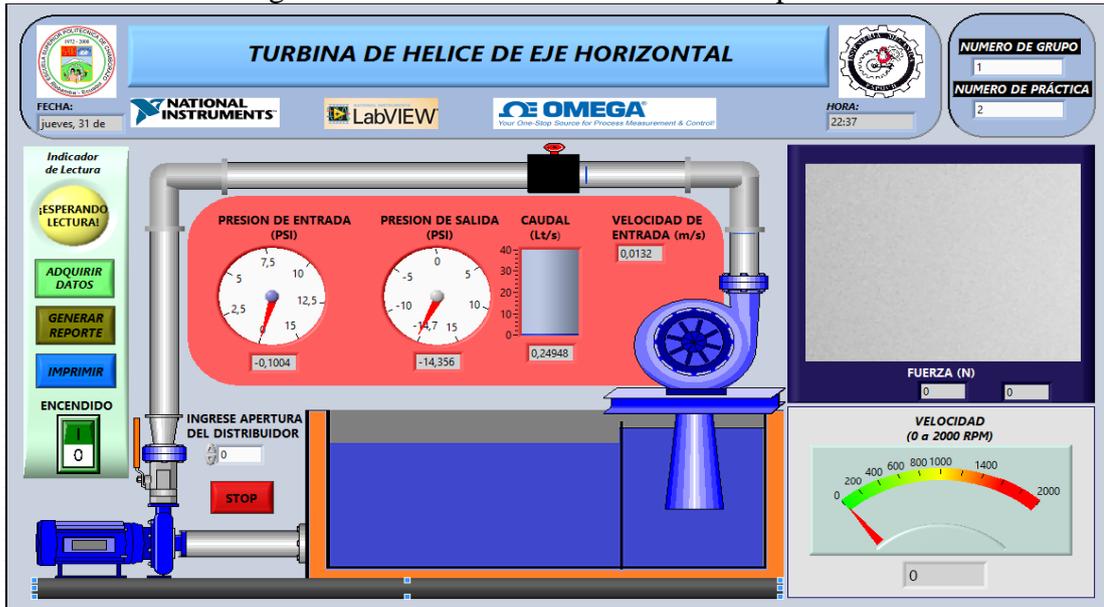
5. PROGRAMACIÓN DE LA ADQUISICIÓN DE DATOS EN TIEMPO REAL DEL BANCO DE PRUEBAS

5.1 Descripción del panel frontal del banco de pruebas.

El panel frontal es la interfaz de comunicación que tiene el software LabVIEW con el operador del programa, consta de las siguientes partes:

- Esquema del banco de pruebas.
- Fecha de la práctica.
- Hora de la práctica.
- Cuadro de texto donde se ingresa el número de grupo que realiza la práctica.
- Cuadro de texto donde se ingresa el número de práctica.
- Cuadro de texto donde se ingresa la apertura de la llave por donde ingresa el flujo al sistema.
- Indicador de presión de 0 a 15 Psi.
- Indicador de presión de -14.7 a 15 Psi
- Indicador del caudal en Lt/s que fluye por la tubería hacia la turbina.
- Indicador de la velocidad angular a la que gira el eje de la turbina de 0 a 2000 rpm.
- Indicador de la velocidad de entrada del flujo a la turbina.
- Indicador de imagen del dinamómetro captada por la cámara.
- Indicador de la fuerza que ejerce el freno para parar el eje de la turbina.
- Un led indicador del proceso para la toma de lectura del dinamómetro, se muestra en color amarillo cuando se encuentra en espera a la lectura y de color verde cuando la lectura esta lista.
- Botón de paro (STOP).
- Botón que se presiona cada vez que se necesite adquirir los datos para almacenarlos antes de generar el reporte.
- Botón que sirve para imprimir el reporte en tiempo real antes de generar el reporte.
- Botón para generar el reporte de datos una vez terminada la práctica.
- Botón de encendido y apagado ON/OFF de la bomba desde el computador.

Figura. 52 Panel frontal VI del banco de pruebas

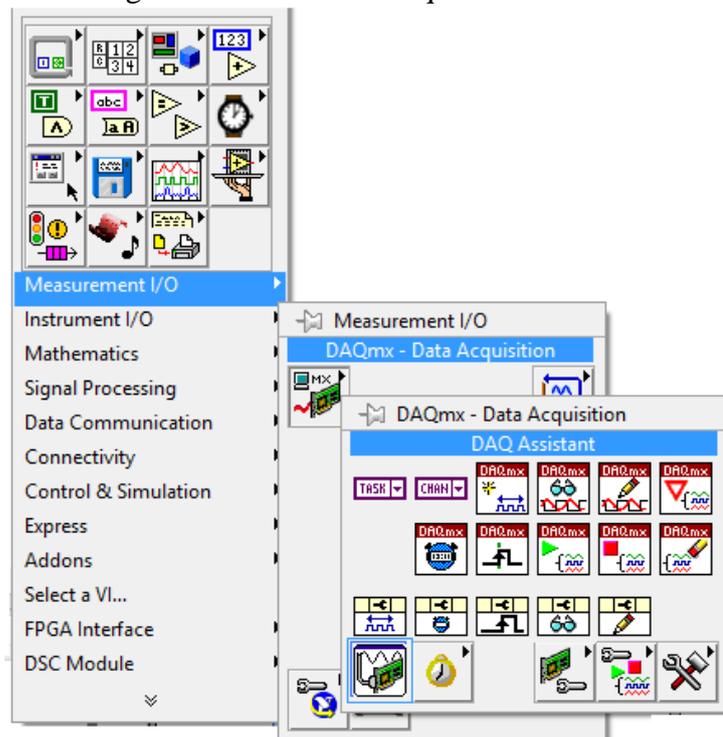


Fuente: Autores

5.2 Configuración del sistema de adquisición de datos por medio de la tarjeta de adquisición (DAQ)

Para que la tarjeta adquiriera los datos se necesita insertar en el VI un asistente para la DAQ (DAQ Assistant) en él se configura las distintas señales que se quiere adquirir.

Figura. 53 Sistema de adquisición de datos



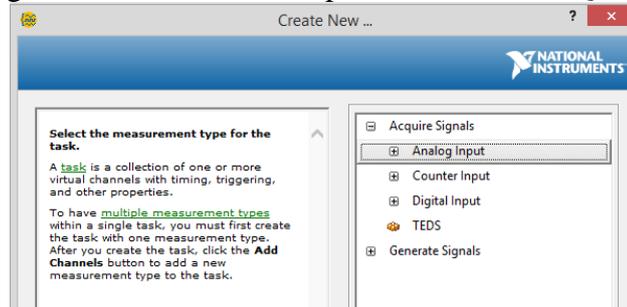
Fuente: Autores

Una vez adentro de este icono aparece una ventana con las siguientes características que se observan en la figura 54:

En la cual se puede adquirir y generar señales por medio de la DAQ, desplazando el menú de Acquire y Generate Signals, se tiene señales analógicas, señales digitales, y un contador de señales.

Depende de cada instrumento que se tenga, para seleccionar cada opción y poder configurarlos.

Figura 54 Características opcionales de la DAQ 6009



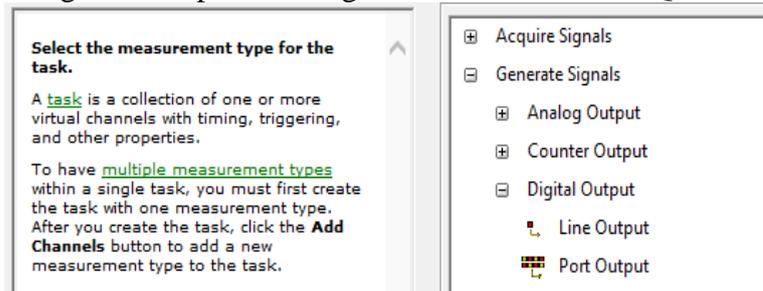
Fuente: Autores

5.3 Descripción de los elementos programados en LabVIEW.

5.3.1 Encendido y apagado de la bomba. Para encender la bomba se debe generar una señal que haga que encienda el RSS (Relay State Solid), ya que este relay funciona como un contacto abierto que al cerrar deja pasar la corriente de alta (AC), pero controlado por una corriente de baja (DC), es el mismo caso para apagar el sistema pero controlando otro relay.

Para esto vamos a Generate Signals → Digital Output → Line Output.

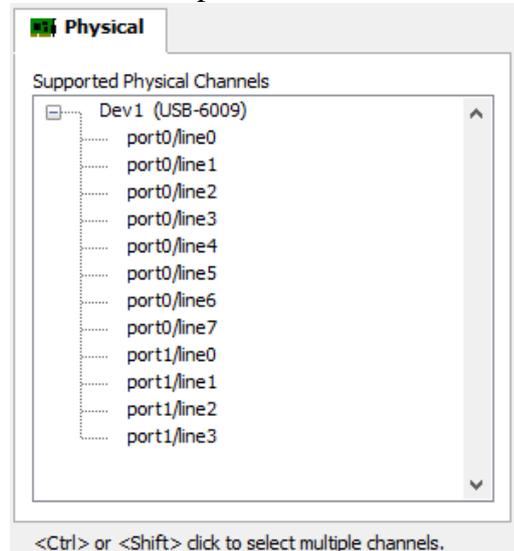
Figura 55. Opciones de generación de señal DAQ 6009



Fuente: Autores

Se escoge los puertos en los que van a trabajar, para el encendido el puerto Port0/Line0, para el apagado Port1/Line0, le damos a Finish.

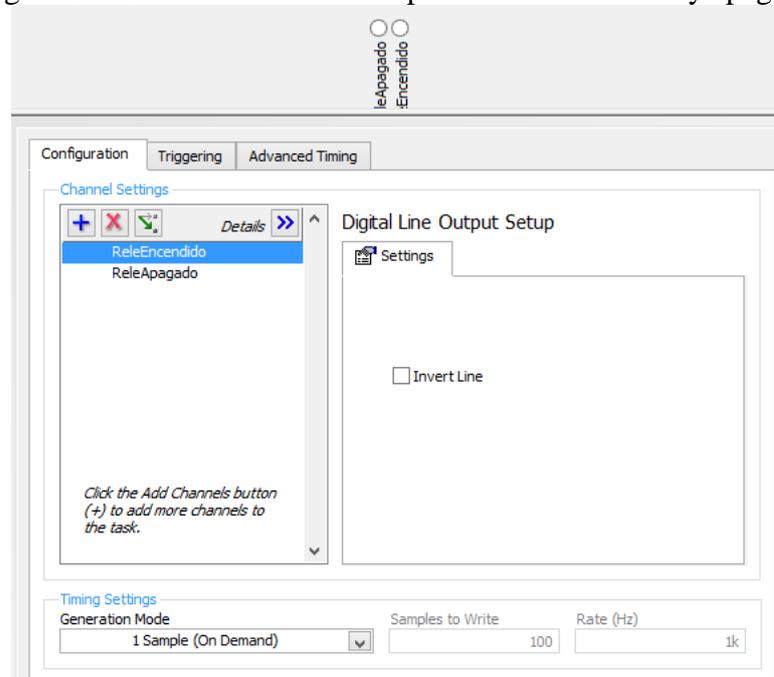
Figura 56. Definición de los puertos a ser utilizados en la DAQ 6009



Fuente: Autores

Aparece la siguiente ventana:

Figura 57. Características de los puertos de encendido y apagado



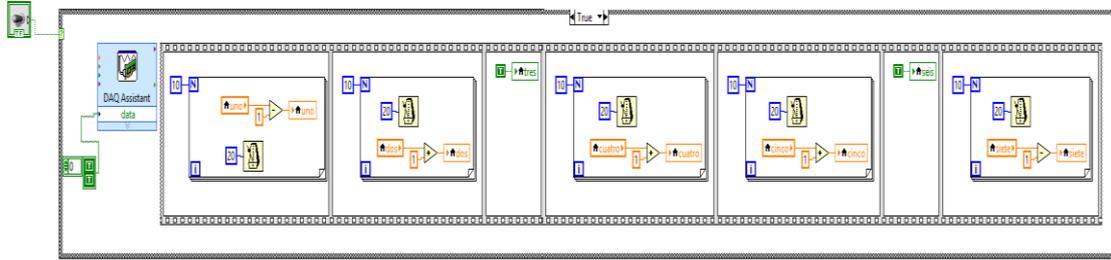
Fuente: Autores

Para este caso se configuro lo siguiente:

Generation Mode: 1 Sample (On Demand)

Se da clic en Ok y está configurada la DAQ para encender y apagar la bomba.

Figura. 58 Programación de encendido y apagado de la bomba



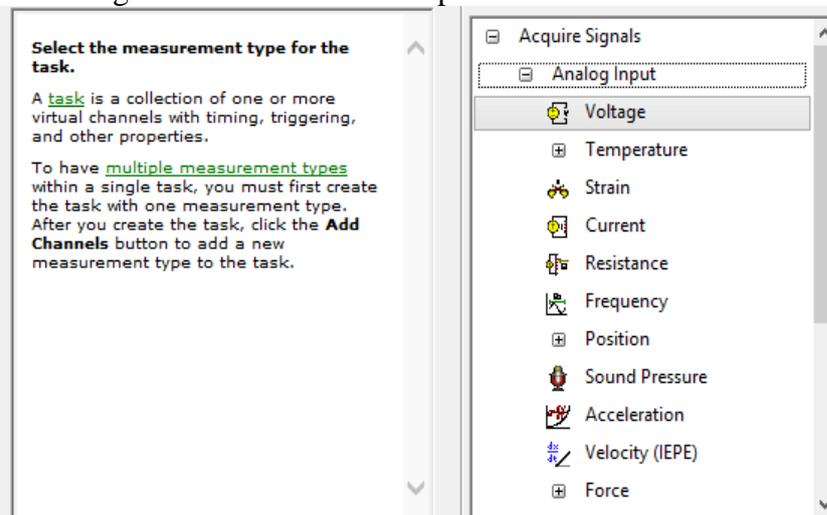
Fuente: Autores

Además de programar para que se encienda y se apague la bomba, se hizo una animación que simule la dirección del agua en el banco. Se utilizó la estructura Case Structure para encender y apagar la bomba, cuando se dé el pulso mediante el botón ON/OFF y para la animación se utilizó la estructura Flat Sequence Structure, para que vaya llenándose la tubería en cada tramo hasta llegar al reservorio.

Con esto está configurado el botón ON/OFF para que encienda la bomba y además se da un poco de realismo al programa mediante la animación.

5.3.2 *Sensores de presión.* Para adquirir señales de presión se debe utilizar el puerto analógico de la tarjeta ya que la señal que se tiene en nuestro sensor es una señal analógica, en la cual se debe medir la diferencia de voltaje en función a la presión que receipta el sensor. Se da un clic en Analog Input y se despliega el siguiente menú:

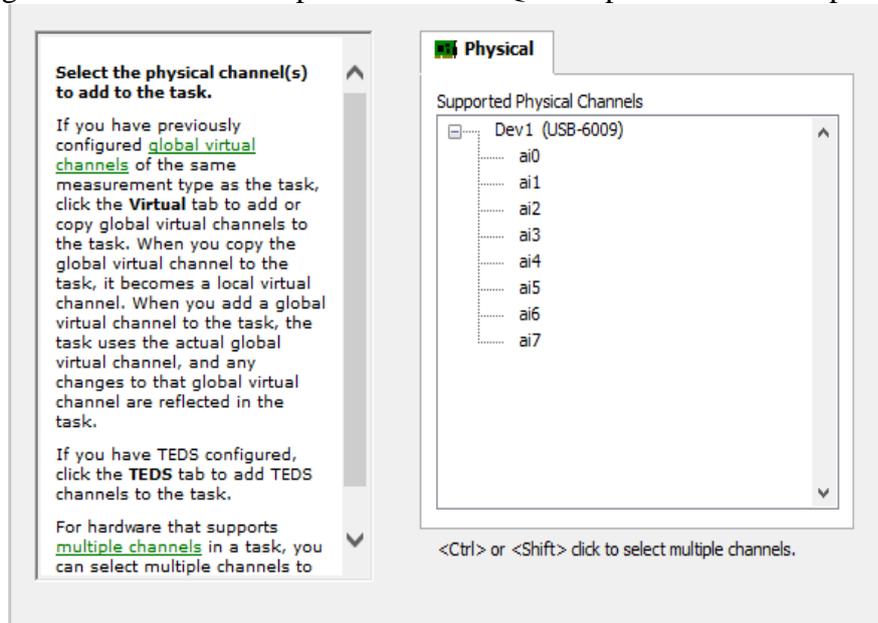
Figura. 59 Definición del tipo de señal a ser medida



Fuente: Autores

Se selecciona en Voltage y se escoge el puerto en el cual se está trabajando en la tarjeta:

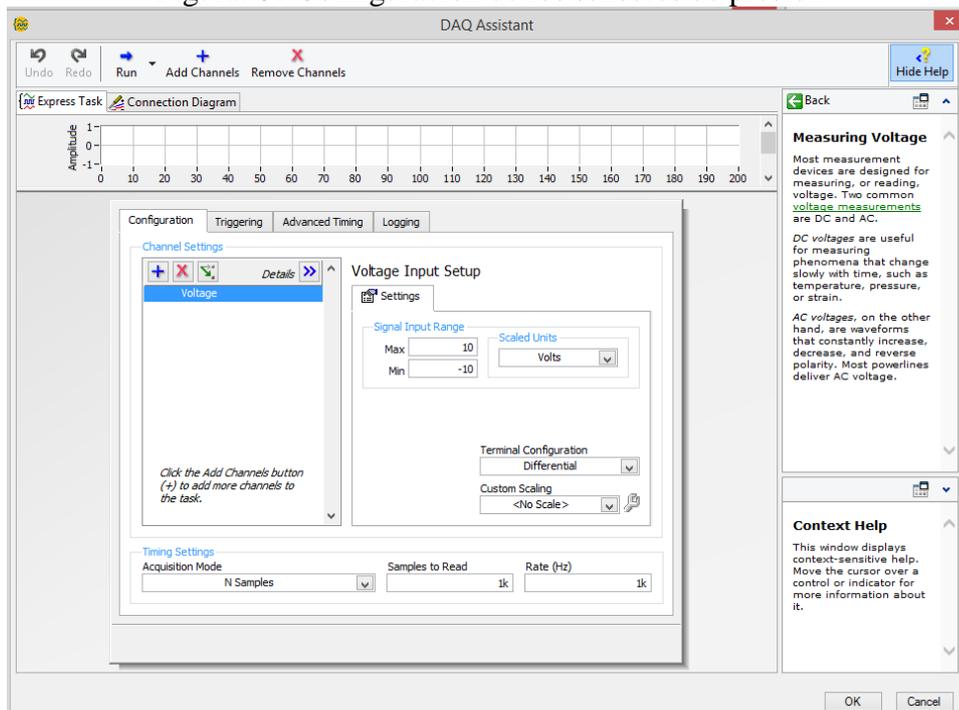
Figura. 60 Selección del puerto de la DAQ 6009 para el sensor de presión



Fuente: Autores

En este caso como que se tiene dos sensores de presión se selecciona el puerto ai0 para el sensor de entrada y el ai4 para el sensor de salida y se da Finish para ingresar a la configuración de estos canales.

Figura. 61 Configuración de los sensores de presión



Fuente: Autores

Se cambia las opciones que vienen por defecto para las fines como son:

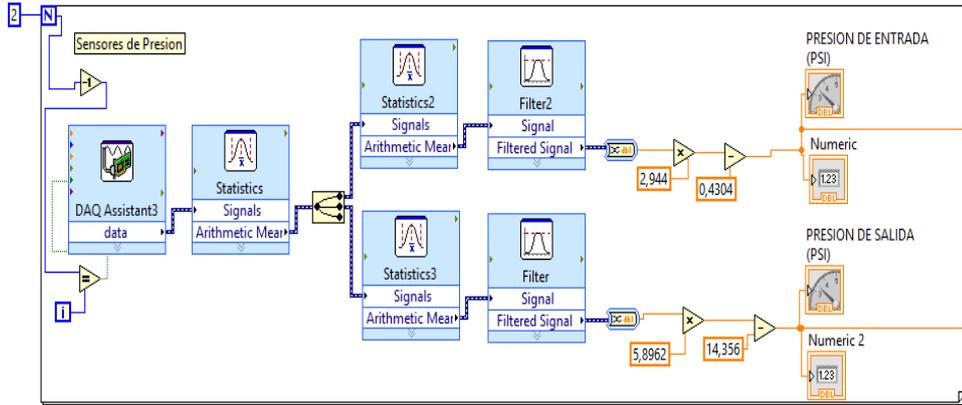
Volts: Max=5: Min=0;

Terminal Configuration: RSE;

Acquisition Mode: Continuos Samples;

Se da OK, y queda lista la adquisición de nuestros sensores de presión.

Figura 62 Programación de los sensores de presión



Fuente: Autores

Una vez configurada la tarjeta para los sensores de presión se tiene que visualizar los datos de presión, para esto se usara una estructura For Loop, en la cual ingresaremos la DAQ Assistant antes configurada, con la señal de voltaje se saca una media aritmética para que los muchos datos que recepta en un tiempo determinado sean más exactos por medio de un Statistics, además se agrega un filtro para que no exista interferencia (ruido) en la señal Filter.

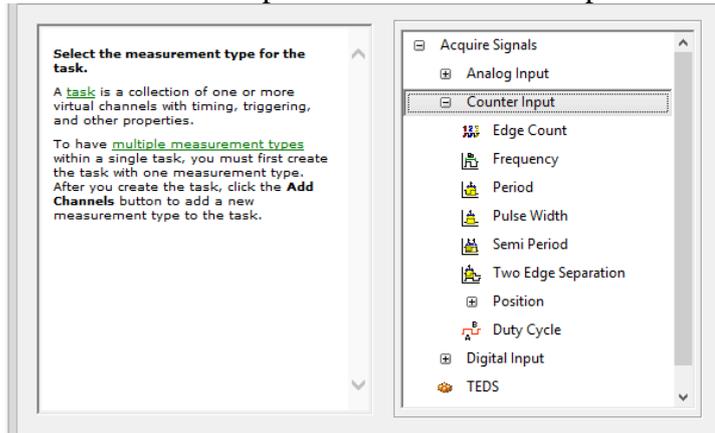
Para convertir la señal de voltaje a presión se debe ingresar la ecuación antes encontrada por medio de la calibración del sensor, VER ANEXO B.

Se muestra el dato de presión en forma numérica y analógica, con esto se obtiene los datos de presión tanto a la entrada como a la salida de la turbina.

5.3.3 *Sensor de velocidad. (RPM).* Para este caso se necesita contar el número de vueltas que da el eje de la turbina en un minuto (RPM), por medio del sensor encoder.

Para esto se va a adquirir una señal por medio del contador de la tarjeta (Counter Input → Edge Count)

Figura. 63 Selección del tipo de señal a ser medida por la DAQ 6009



Fuente: Autores

Ubicado en el puerto ctr0, se presiona Finish.

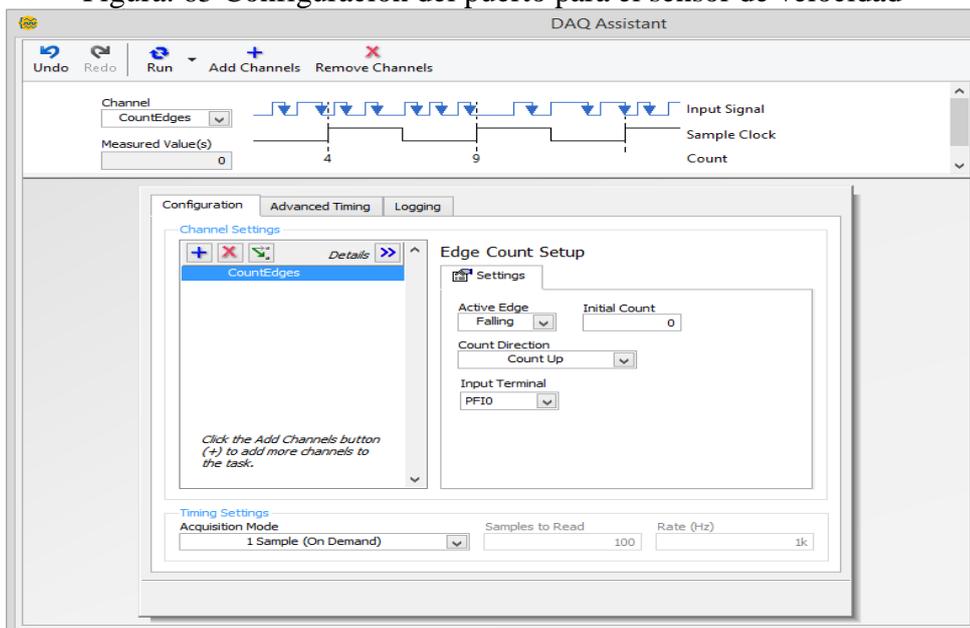
Figura. 64 Selección del puerto de la DAQ 6009 para el sensor de velocidad



Fuente: Autores

Aparece la siguiente ventana:

Figura. 65 Configuración del puerto para el sensor de velocidad



Fuente: Autores

Se cambia las opciones que vienen por defecto como son:

Active Edge: Falling

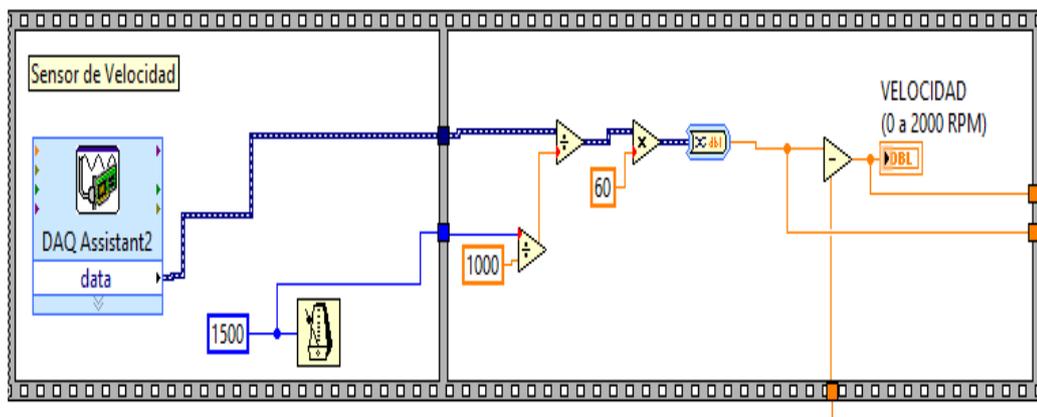
Count Direction: Count Up

Input Terminal: PFI0

Adquisition Mode: N Samples

Se da OK, y queda listo la adquisición del sensor de velocidad.

Figura. 66 Programación del sensor de velocidad (RPM) la programación de los sensores de presión



Fuente: Autores

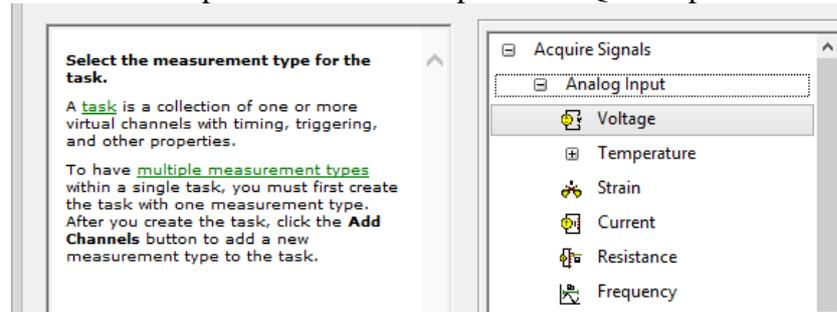
Una vez configurada la tarjeta para el sensor de velocidad se debe visualizar los datos de velocidad, para esto se usara una estructura Flat Sequence Structure, en la cual se ingresara la DAQ Assistant antes configurada, se cuenta el número de pulsos que existe en 1500 milisegundos para ser más exactos en el conteo, a esta señal se le divide para 1000 para que quede en segundos, y se multiplica por 60 para que dé en revoluciones por minuto (RPM)

Se muestra el dato de velocidad en forma numérica y analógica, quedando así programado el sensor de velocidad.

5.3.4 *Sensor de caudal.* Para este sensor, la conexión a la DAQ es en el puerto analógico pero de forma diferencial ya que este sensor es autoalimentado, se va a medir la diferencia de voltaje que se tiene.

Se da clic en Analog Input → Voltage:

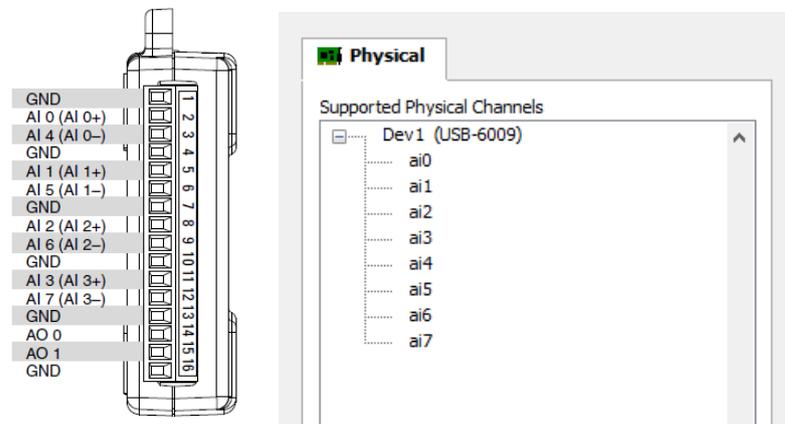
Figura. 67 Selección del tipo de señal medida por la DAQ 6009 para el sensor de caudal



Fuente: Autores

Se elige los puertos en los cuales se debe conectar de la forma analógica de acuerdo al manual de la DAQ, se escoge el puerto ai1 y ai5:

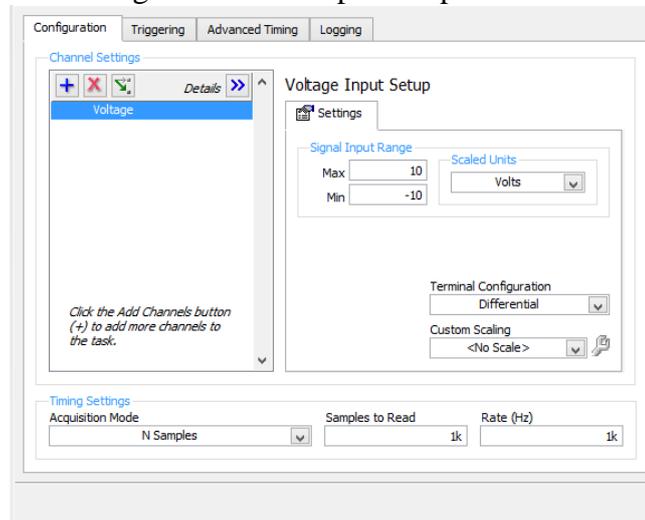
Figura. 68 Selección de los puertos para el sensor de caudal



Fuente: Autores

Se despliega la siguiente ventana:

Figura. 69 Configuración de los puertos para el sensor de caudal



Fuente: Autores

Se cambia las opciones que vienen por defecto para los fines como son:

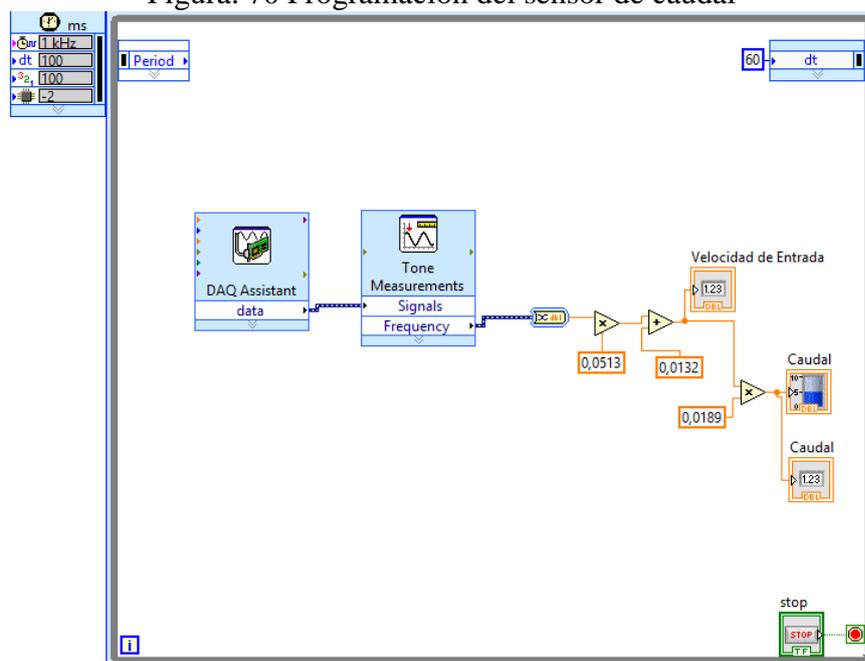
Volts: Max=10: Min=-10;

Terminal Configuration: Differential;

Acquisition Mode: Continuos Samples;

Se da OK, y queda lista la adquisición del sensor de caudal.

Figura. 70 Programación del sensor de caudal



Fuente: Autores

Una vez configurada la tarjeta para el sensor de caudal se debe visualizar los datos de caudal, para esto se utilizara una estructura de tiempo Time Loop, la cual se ingresa en la DAQ Assistant antes configurada, la señal adquirida se ingresa en el icono Tone Measurement el cual cambia la señal a datos de frecuencia, con se puede comparar con la hoja de calibración del fabricante del sensor y mediante la ecuación encontrada en el ANEXO B, Se obtiene la velocidad del fluido en m/s.

Una vez obtenida la velocidad del fluido, se multiplica por el área de la tubería de entrada a la turbina y se obtiene el caudal que pasa por la misma, quedando configurado el sensor.

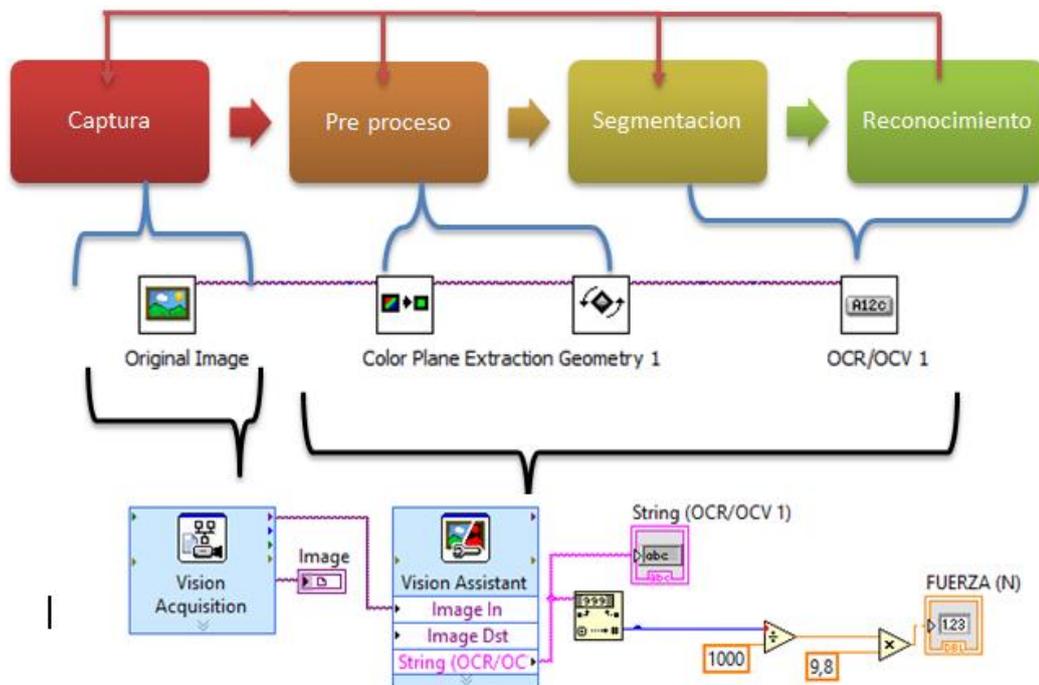
5.3.5 Sensor de Torque. Para medir el torque del eje de la turbina, se utiliza la balanza (dinamómetro) digital con las características antes descritas, la cual nos muestra

la fuerza que ejerce el freno para parar al eje de la turbina. Este dato es llevado a la computadora por medio de una cámara.

5.3.5.1 Visión Artificial. También conocida como visión de computadora, consiste en procesar, analizar y comprender las imágenes del mundo real con el fin de producir información que sea asimilada por la computadora para desarrolla diferentes procesos.

Fases de la visión artificial.

Figura. 71. Fases de la visión artificial y como están distribuidas en el software LabVIEW.



Fuente: Autores.

La primera fase, que es puramente sensorial, consiste en la captura o adquisición de las imágenes digitales mediante algún tipo de sensor.

La segunda etapa consiste en el tratamiento digital de las imágenes, con objeto de facilitar las etapas posteriores. En esta etapa de procesamiento previo es donde, mediante filtros y transformaciones geométricas, se eliminan partes indeseables de la imagen o se realzan partes interesantes de la misma.

La tercera fase se conoce como segmentación, y consiste en aislar los elementos que interesan de una escena para comprenderla.

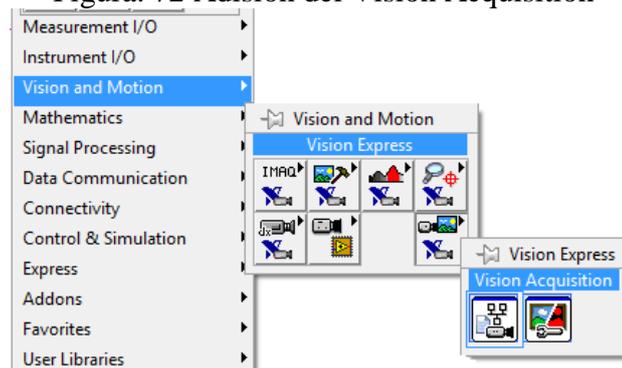
La cuarta etapa distingue los objetos segmentados, gracias al análisis de ciertas características que se establecen previamente para diferenciarlos. (GUILLEN, y otros, 2011)

NI Vision Acquisition. Es un software controlador para adquirir, visualizar, registrar, y monitorear imágenes desde varios tipos de cámaras.

Este módulo es parte del software LABVIEW el cual nos sirve para adquirir la imagen de la balanza digital y realizar los cálculos correspondientes con el dato de frenado de la turbina.

Después de seleccionar la cámara antes descrita, debemos conectarla al computador y esperar a que se instale el software para que funcione correctamente

Figura. 72 Adición del Vision Acquisition

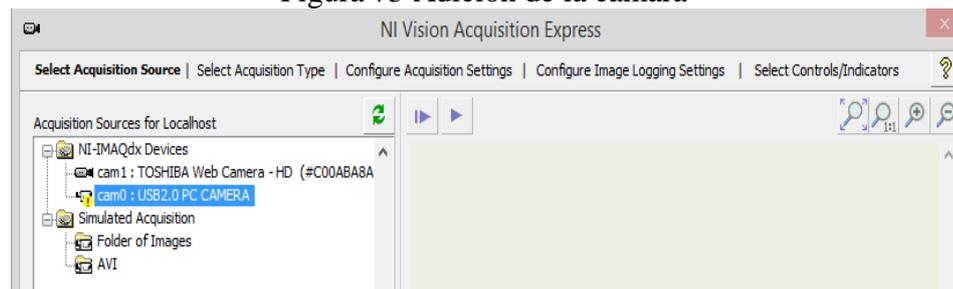


Fuente: Autores.

En el software LABVIEW, en el módulo de Vision and Motion, agregamos Vision Acquisition y se empieza a configura como se muestra en la figura 72.

Dentro se escoge el tipo de cámara con el que vamos a trabajar:

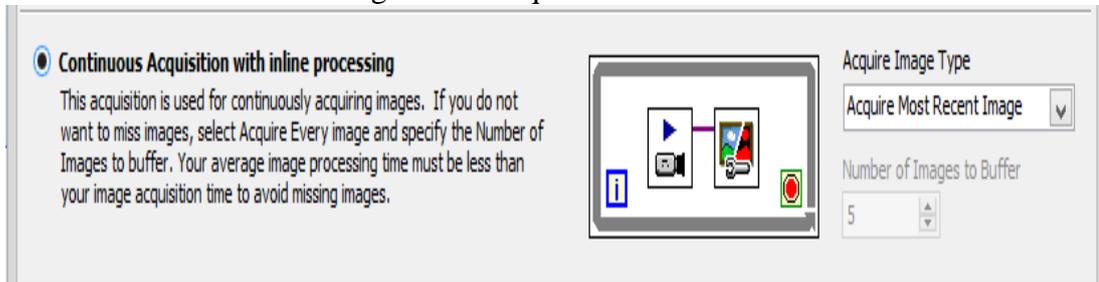
Figura 73 Adición de la cámara



Fuente: Autores.

Se da Next, y se selecciona de qué forma va a adquirir el video, se elige adquisición continua con procesamiento en línea:

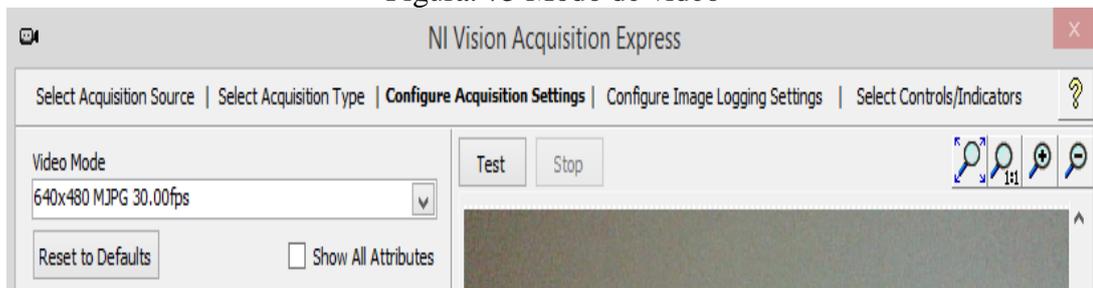
Figura. 74 Adquisición del video



Fuente: Autores.

Se aplasta el boton Next, y selecciona el modo de video:

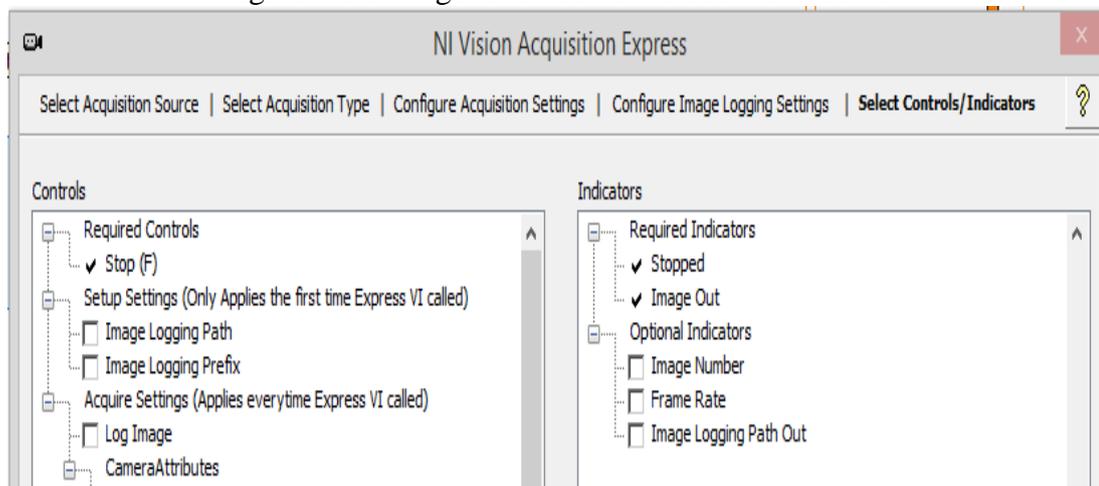
Figura. 75 Modo de video



Fuente: Autores.

Se da clic en el boton Next, configura los controles y los indicadores que van el VI y por ultimo damos a Finish y está configurada nuestra cámara para recibir imágenes en tiempo real.

Figura. 76 Configuración de controles e indicadores



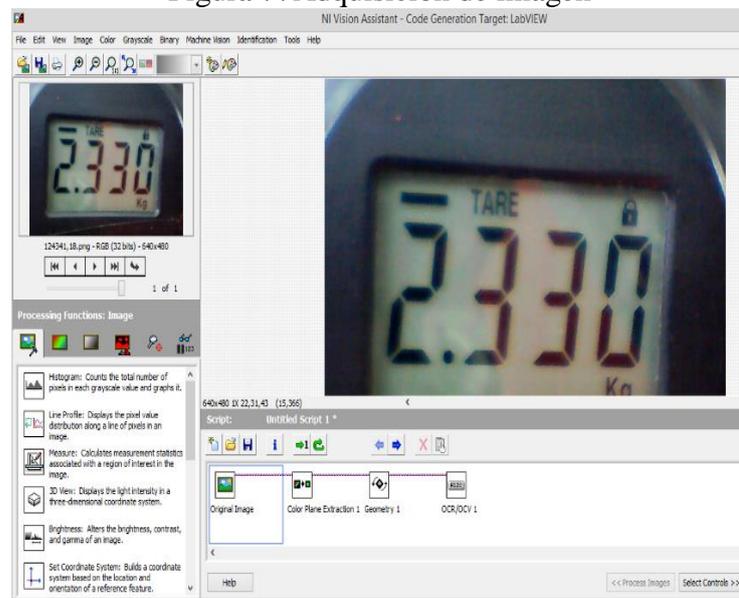
Fuente: Autores.

NI Vision Assistant. Para que la cámara pueda enviar los datos al programa de las lecturas tomadas es necesario crear una imagen patrón la cual configuraremos para que el software pueda arrojar los datos obtenidos.

Para realizar la configuración en NI Vision Assistant hacemos lo siguiente:

- Se adquiere la imagen:

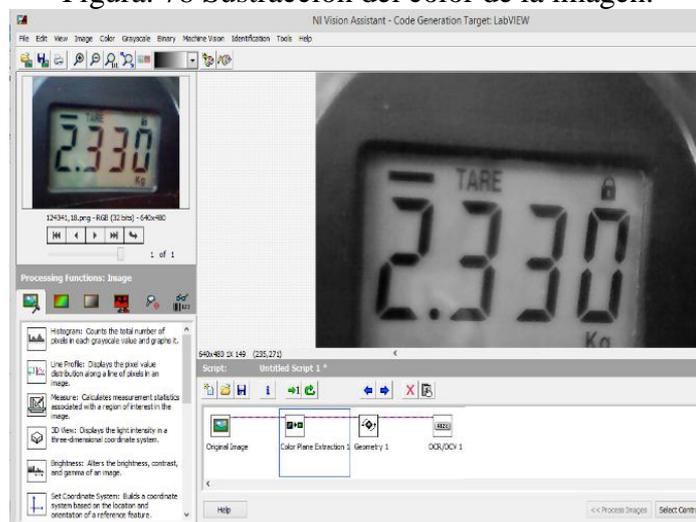
Figura 77 Adquisición de imagen



Fuente: Autores.

- Se crea una imagen patrón y se cambia el color de la imagen a blanco y negro:

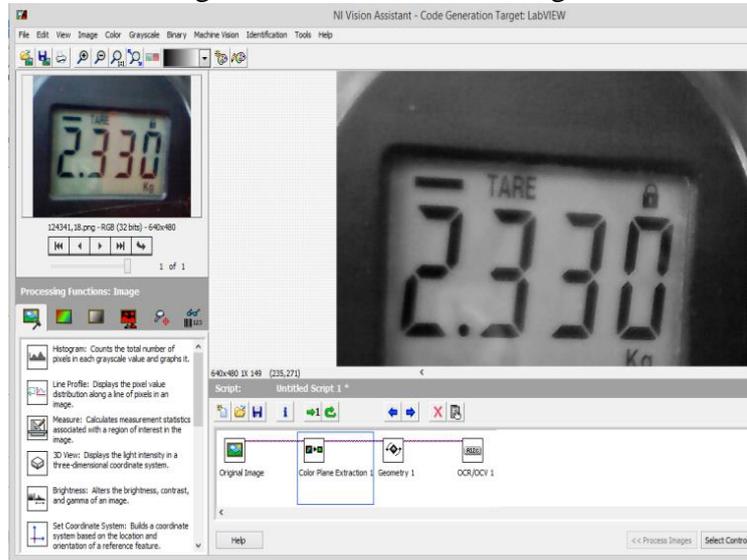
Figura. 78 Sustracción del color de la imagen.



Fuente: Autores.

- Se rota la imagen antes del reconocimiento óptico de caracteres.

Figura. 79 Rotación de la imagen



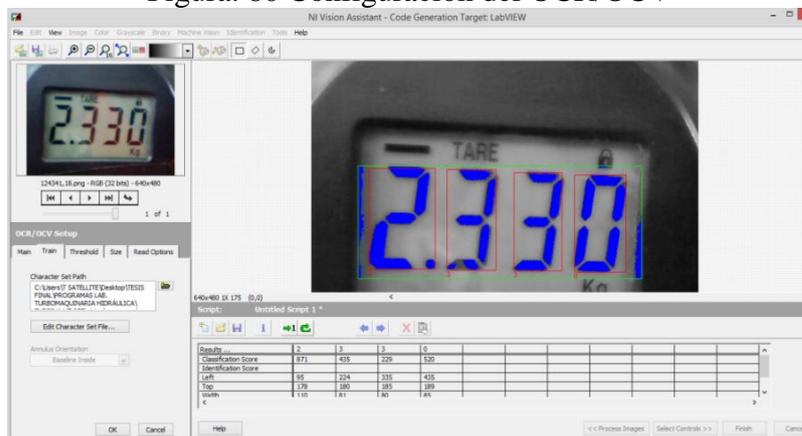
Fuente: Autores.

Reconocimiento óptico de caracteres (OCR). OCR es el proceso por el cual una aplicación de visión máquina lee el texto y / o caracteres en las imágenes de inspección. La interfaz de Formación OCR crea un archivo de sesión de OCR, que luego se utiliza para leer los caracteres que ha aprendido.

Por medio de este proceso la imagen antes adquirida se puede leer y utilizar para los diferentes cálculos que se necesita en el banco.

Al entrar en el OCR/OCV, observamos que el cuadro de reconocimiento nos esté dando los valores reales y que se efectúa el reconocimiento adecuado:

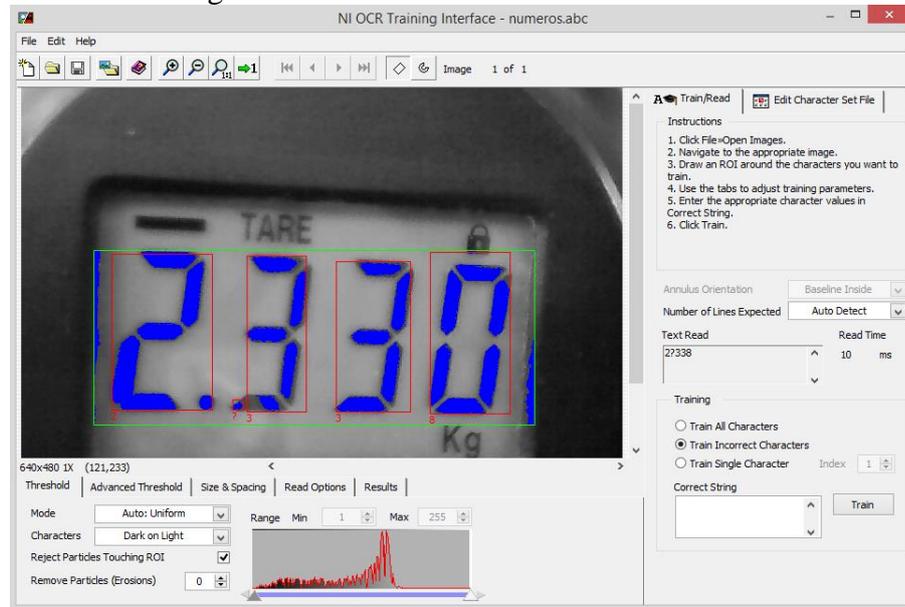
Figura. 80 Configuración del OCR/OCV



Fuente: Autores.

Si no se tiene los valores reales, le damos a *Edit Change Set File*, para ayudar al OCR/OCV a que reconozca de una mejor manera, además si no reconoce uno de los números se puede ingresar en *Correct Strin* y poner el número real y darle a *Train* para que así se quede configurado.

Figura. 81 Corrección de lectura OCR/OCV



Fuente: Autores.

5.3.6 Generación de reportes. El análisis de datos y generación de reportes representa la integración de procesamiento de información, la generación de reportes en una aplicación de adquisición de datos. Funciones integradas son incluidas con LabVIEW para construir reportes personalizados rápida y fácilmente basados en sus medidas. Los reportes se pueden configurar para generar automáticamente, guardar como una página web y enviar directamente a una impresora.

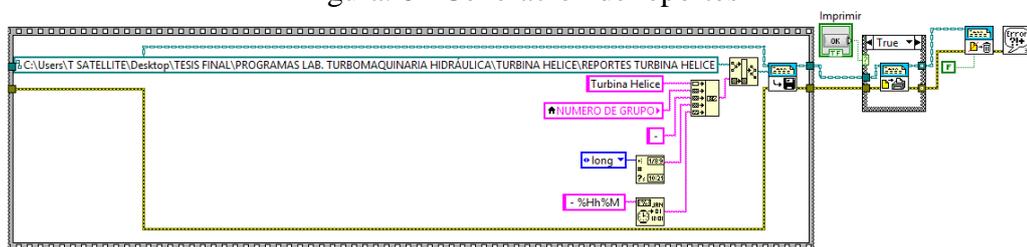
En el presente trabajo se ha desarrollado la posibilidad de generar reportes de los datos obtenidos después de las pruebas realizadas exportando a una plantilla creada previamente en una hoja de cálculo de microsoft excel.

Para generar este reporte como ya se mencionó antes, existe un botón en el panel frontal que se denomina “generar reporte de datos”, el cual, una vez accionado abre una hoja de cálculo de microsoft excel y copia todas las lecturas obtenidas a través del NI 6009, donde datos almacenados se ubicaran como ya se ha fijado en la programación del diagrama de bloques, inmediatamente después se comienzan a generar las gráficas de las curvas

características de la turbina hélice, posterior a esto se coloca una imagen de las curvas que se graficaron en el LabVIEW.

Para realizar este proceso, cada vez que el botón de “adquirir datos” es presionado envía los valores obtenidos a una tabla del mismo LabVIEW donde los va almacenando hasta que sean llamados por botón de “generar reporte de datos”, posterior a esto existe un algoritmo que permite ubicar en la plantilla de excel. Además cuando el botón de imprimir es presionado antes de generar el reporte ordena al programa que al culminar con la generación imprima dicho reporte. ((GUILLEN, y otros, 2011)

Figura. 82 Generación de reportes



Fuente: Autores.

CAPÍTULO VI

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL BANCO DE PRUEBAS

6.1 Análisis de resultados de las pruebas en el sistema turbina – bomba.

Se realizó diferentes pruebas en el banco del laboratorio y se logró determinar los diferentes valores tanto para caudal, torque, altura, potencia hidráulica, potencia útil, rendimiento.

6.2 Curvas características.

En la tabla 4 se especifican los datos adquiridos por medio de la generación del reporte, en la tabla 5 se resumen los datos que servirán para realizar las gráficas que caracterizan el funcionamiento de la turbina

Tabla. 4 Adquisición de datos

LECTURA DE CALCULOS												
Apertura		Presión de entrada	Presión de salida	Velocidad de entrada	Caudal	Altura neta	Rev. Rotor	Fuerza	Torque	Potencias		Rendimiento
Alabes	Válvula	Pe	Ps	Ve	Q	Hn	N	F	T	Pu	Pa	η
grados	%	psi	psi	m/s	m/s	m.c.a	rpm	N	N.m	W	W	%
0°	100	11,52	4,25	1,47	0,02789	6,498	1 960	24,039	2,524	518,052	1 776,046	29,16
0°	75	10,11	3,14	1,39	0,02638	6,278	1 800	15,683	1,646	310,364	1 623,013	19,11
0°	50	6,8	0,99	1,16	0,02201	5,439	1 440	7,352	0,772	116,415	1 173,181	9,92

Fuente: Autores

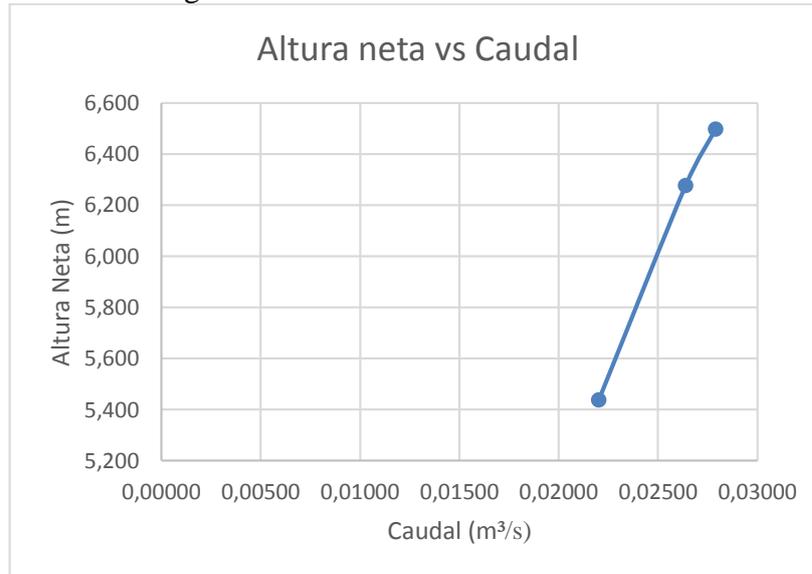
Los resultados se los ha colocado según la inclinación de los alabes del distribuidor, que para este caso son:

Tabla. 5 Datos para las curvas características a 0° de inclinación para las curvas características

Apertura de la válvula [%]	N [rpm]	Q [m ³ /s]	Hn [m]	Pu [W]	ηt [%]
100	1 960	0,027 89	6,498	518,052	29,16
75	1 800	0,026 38	6,278	310,264	19,11
50	1 440	0,022 01	5,439	116,415	9,92

Fuente: Autores

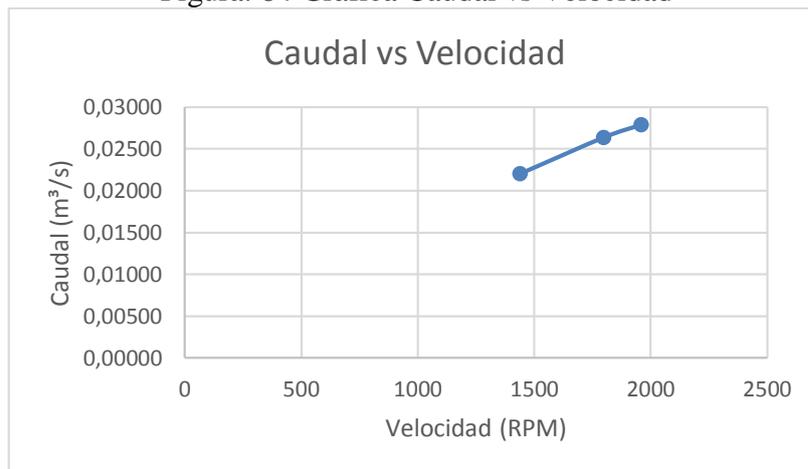
Figura. 83 Gráfica Altura neta vs Caudal



Fuente: Autores

Como se observa en la figura 83 mientras el caudal es la variable a ser controlada, al aumentar la medida de la variable dependiente como es la altura neta, también tiene un incremento. Inicialmente es acelerado, comenzando desde 5,4 m con una apertura de la válvula del 50% hasta alcanzar 6,2 m, posteriormente con una apertura total de la válvula de descarga, esto tiene un crecimiento normalizado, hasta llegar a una altura neta de 6,5 m.

Figura. 84 Gráfica Caudal vs Velocidad

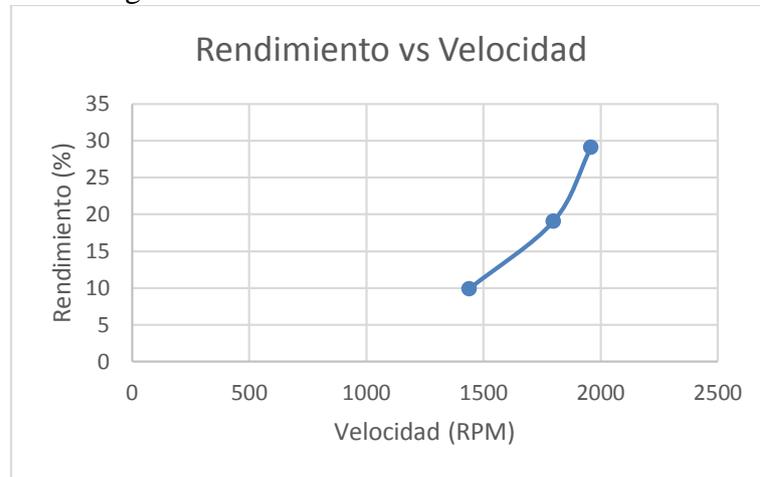


Fuente: Autores

En la figura 84 se observa la relación del caudal con la velocidad angular, en donde mientras se varía el caudal por medio de la válvula de descarga, aumenta exponencialmente también la velocidad angular, al igual se observa que por la forma de la gráfica existirá

una punto en el cual sin importar el caudal que nosotros suministremos la velocidad angular permanecerá constante.

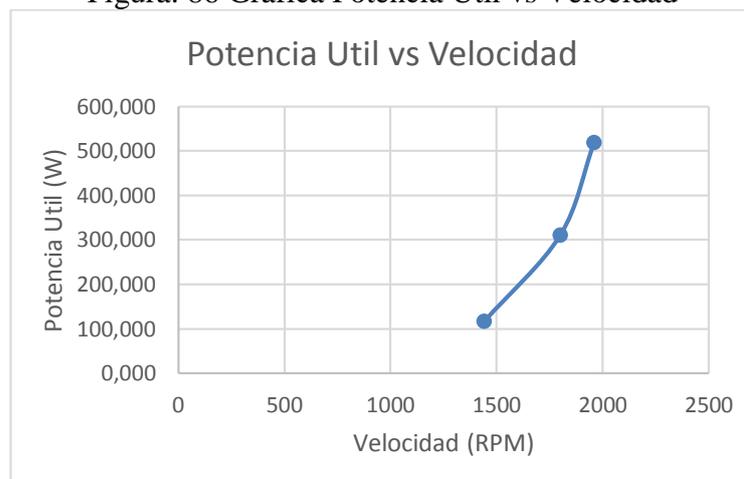
Figura. 85 Gráfica Rendimiento vs Velocidad



Fuente: Autores

Al igual que se ha visto en las dos figuras anteriores, en la figura 85 el rendimiento tiene un incremento proporcional a medida que se aumenta el número de revoluciones las cuales como se vio anteriormente está estrechamente relacionada con el caudal, es decir mientras mayor caudal recibe la turbina mayor será el rendimiento. Igualmente se observa que el valor de rendimiento es muy bajo para este tipo de turbinas, esto se debe al diseño mismo de la turbina.

Figura. 86 Gráfica Potencia Útil vs Velocidad

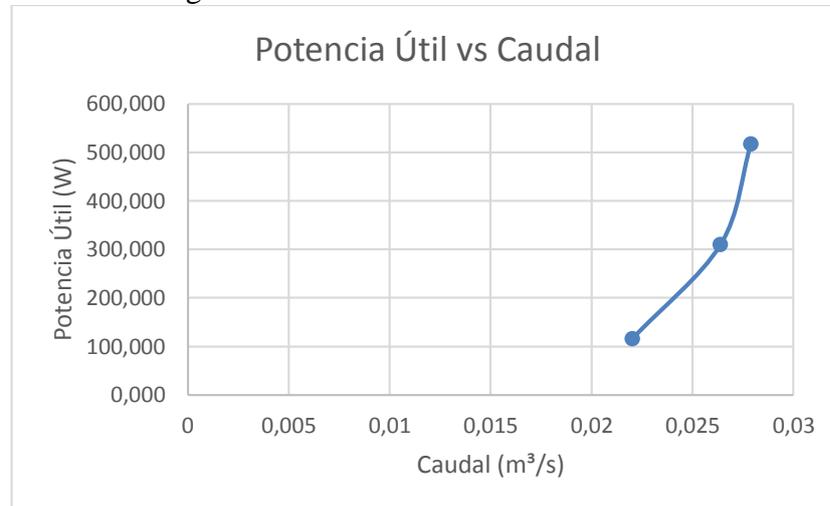


Fuente: Autores.

La potencia útil como se describió anteriormente es la potencia que es aprovechada por la turbina, como se observa a medida que la velocidad angular aumenta lo hace también

la potencia, esto por la relación intrínseca que tiene la mencionada velocidad con el caudal como se trató anteriormente

Figura 87 Gráfica Potencia Útil vs Caudal



Fuente: Autores.

La potencia útil aumenta de acuerdo a la cantidad de caudal que ingresa a la turbina, es decir mientras más caudal exista mayor potencia aprovechable vamos a tener.

6.2.1 Interpretación general de resultados. Como se puede observar en las figuras anteriores la variable que influye en todos los casos es el caudal el cual varía como se ha descrito anteriormente por medio de la válvula de descarga de la bomba comenzando desde un porcentaje de apertura del 50%, 75% hasta el 100%, y como se observa a medida que el caudal aumenta las variables como son rendimiento, potencia útil, velocidad angular, altura neta, estas también tienen un incremento porcentual.

CAPITULO VII

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones.

La automatización de datos que se realizó en el banco de pruebas de la turbina permite al estudiante obtener medidas de una manera fácil, con la mayor rapidez y exactitud de las variables físicas que influyen en el funcionamiento a diferentes cargas de la turbina.

Mediante la adecuada instalación de sensores y la utilización de hardware Nationals instruments y software LabVIEW, se permito obtener medidas de una manera fácil y sencilla, con esto se mejoró la eficiencia en la realización de la visualización y adquisición de datos.

El banco de pruebas resulta un aporte importante para el desarrollo académico de los estudiantes ya que permite visualizar el funcionamiento en tiempo real de la turbina y como está varía su funcionamiento en diferentes parámetros.

La adquisición, presentación y reporte de datos en forma automática, permiten realizar de manera más profunda, un análisis e interpretación adecuada de los resultados obtenidos durante las prácticas de laboratorio.

La utilización de hardware Nationals Instruments y software LabVIEW basado en un lenguaje de programación gráfica, permitieron realizar una programación más sencilla e incluso con mayor capacidad de adquisición y presentación de resultados, que si se hubiere utilizado un lenguaje convencional basado en texto.

Se aprovecha el recurso humano con la finalidad de adquirir mayor entendimiento durante las prácticas de laboratorio.

7.2 Recomendaciones.

Se recomienda no realizar prácticas muy largas para no forzar la bomba y posteriormente no tener problemas mayores que dificulten su funcionamiento.

No cerrar la válvula menos de un 50% para evitar problemas con la bomba, ya que se podría generar una sobrepresión en la misma lo que provocaría un posible daño de los elementos constitutivos de la misma.

Manipular los elementos constitutivos del banco con mucho cuidado ya que elementos como los sensores son muy sensibles a corrientes estáticas y un mal manejo podría dejarlos defectuosos.

Realizar un mantenimiento preventivo del tanque de almacenamiento de agua para evitar que la corrosión del mismo.

En caso de que la protección térmica desconecte el sistema dejarlo reposar por varios minutos y no forzar al sistema para evitar daños en la bomba.

Tener mucho cuidado al momento de realizar el frenado ya que se podría mover la cámara lo que afectaría a una buena toma del dato de torque.

BIBLIOGRAFÍA

FERNANDEZ, Pedro. 1983. Turbinas hidráulicas. México : Limusa, 1983.

FRANCINI, Finnemore. 1999. Mecanica de fluidos con aplicaciones en la ingenieria. Madrid : McGraw - Hill, 1999.

GARCIA, Luis. 2000. Medidores de flujo. Mexico : Limusa, 2000.

GUILLEN, Anita y MARCALLA, Alex. 2011. Automatizacion de las turbomáquinas del laboratorio de fluidos de la facultad de mecánica. Riobamba : s.n., 2011.

MATAIX, Claudio. 1982. Mecanica de fluidos y maquinas hidraulicas. México : Mexicana, 1982.

NATIONAL INSTRUMENTS. 2015. National instruments. LabVIEW. [En línea] 12 de 05 de 2015. [Citado el: 21 de 04 de 2016.] <http://www.ni.com/labview/esa/>.

NATIONAL INSTRUMENTS 2015. National Instruments. [En línea] 15 de 05 de 2015. [Citado el: 29 de 04 de 2016.] <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa>.

OLADE. 1985. Manual de diseño de pequeñas centrales hidráulicas. Quito : s.n., 1985.

ORTIZ, Ramiro. 2001. Pequeñas centrales hidroeléctricas. Colombia : Normas S.A, 2001.

WIKIPEDIA. 2012. WIKIPEDIA. [En línea] 11 de 11 de 2012. [Citado el: 20 de 03 de 2016.] es.wikipedia.org/wiki/Dinamómetro.

WIKIPEDIA 2012. WIKIPEDIA. [En línea] 12 de 05 de 2012. [Citado el: 20 de 03 de 2016.] https://es.wikipedia.org/wiki/Velocidad_angular.

WIKIPEDIA 2014. WIKIPEDIA. [En línea] 30 de 05 de 2014. [Citado el: 18 de 04 de 2016.] https://es.wikipedia.org/wiki/Velocidad_angular.

ZUBICARAY, Viejo y Alonso. 1994. Energia Hidroeléctrica. Limusa : Perú, 1994.