



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“AUTOMATIZACIÓN DE LAS TURBOMÁQUINAS  
DEL LABORATORIO DE FLUÍDOS DE LA FACULTAD  
DE MECÁNICA”**

**GUILLÉN SALAZAR ANITA CECILIA  
MARCALLA IZA ALEX MANUEL**

**TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de:  
**INGENIERO MECÁNICO**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2011**

**EsPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

**CONSEJO DIRECTIVO**

Noviembre, 27 de 2009

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

---

**ANITA CECILIA GUILLÉN SALAZAR**

---

Titulada:

**“AUTOMATIZACIÓN DE LAS TURBOMÁQUINAS DEL LABORATORIO DE  
FLUIDOS DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”**

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

**INGENIERO MECÁNICO**

---

Ing. Geovanny Novillo A.  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. José Riofrío R.  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Pablo Montalvo  
ASESOR DE TESIS

**EsPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

**CONSEJO DIRECTIVO**

Noviembre, 27 de 2009

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

---

**ALEX MANUEL MARCALLA IZA**

---

Titulada:

**“AUTOMATIZACIÓN DE LAS TURBOMÁQUINAS DEL LABORATORIO DE  
FLUIDOS DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”**

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

**INGENIERO MECÁNICO**

---

Ing. Geovanny Novillo A.  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. José Riofrío R.  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Pablo Montalvo  
ASESOR DE TESIS

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** ANITA CECLIA GUILLÉN SALAZAR

**TÍTULO DE LA TESIS:** “AUTOMATIZACIÓN DE LAS TURBOMÁQUINAS DEL LABORATORIO DE FLUIDOS DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”

**Fecha de Examinación:** Junio, 15 de 2011.

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
ING. GEOVANNY NOVILLO A. (Presidente Trib. Defensa)			
ING. JOSÉ RIOFRÍO R. (Director de Tesis)			
ING. PABLO MONTALVO (Asesor)			

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

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

f) Presidente del Tribunal

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** ALEX MANUEL MARCALLA IZA

**TÍTULO DE LA TESIS:** “AUTOMATIZACIÓN DE LAS TURBOMÁQUINAS DEL  
LABORATORIO DE FLUIDOS DE LA FACULTAD DE  
MECÁNICA”

**Fecha de Examinación:** Junio, 15 de 2011.

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
ING. GEOVANNY NOVILLO A. (Presidente Trib. Defensa)			
ING. JOSÉ RIOFRÍO R. (Director de Tesis)			
ING. PABLO MONTALVO (Asesor)			

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

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

f) Presidente del Tribunal

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

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 teórico - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

f) Anita Cecilia Guillén Salazar    f) Alex Manuel Marcalla Iza

## **AGRADECIMIENTO**

El más sincero agradecimiento a Dios por darnos unas familias maravillosas que nos ha apoyado constantemente, a SERTECPET, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

A los Ingenieros Pacífico Riofrío Director de Tesis y Pablo Montalvo nuestro Asesor por brindarnos sus conocimientos y su invaluable ayuda.

Y en especial para todos nuestros profesores a lo largo de la carrera, amigos y personas que nos colaboraron en la realización de este trabajo.

**Anita Guillén Salazar**

**Alex Marcalla Iza**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de Tesis se lo dedico a Dios por guiar cada uno de mis pasos. Al infinito amor, sacrificio y esfuerzo incondicional de mi padre Napoleón y mi madre Normi quién me cuida desde el cielo. A mi esposo Rodrigo por darme siempre su apoyo y no dejar que me rinda. A mis hermanas Fernanda, Cristina y a mi querida sobrina Alisson que han sido mi fuerza para seguir adelante cada día y alcanzar esta importante meta.

**Anita Guillén Salazar**

Dedico este trabajo a Dios, por haberme dado unos padres, quienes a través de sus consejos y ejemplos de amor, respeto, sacrificio y sobre todo de jamás rendirse, me han inculcado la valentía necesaria para culminar esta importante etapa de mi vida. A mis hermanos, amigos y demás personas; quienes siempre creyeron en mí, brindándome su afecto y apoyo incondicional para alcanzar este logro.

**Alex Marcalla Iza**

## RESUMEN

Los equipos de laboratorio que fueron instalados en 1980, por técnicos de la Armfield, se encuentran en buen estado de funcionamiento debido al mantenimiento permanente del cual han sido objeto durante estos 30 años, pero las lecturas como presión, caudal, velocidad rotacional, torque, etc; se tomaban en forma visual; razón por la cual se vio la necesidad de estar a la vanguardia con los avances tecnológicos. Se han repotenciado los equipos, mediante la automatización de los bancos de pruebas: bomba reciprocante, bomba centrifuga, bomba axial, turbina pelton, turbina Kaplan y turbina francis; con el fin de facilitar la obtención de datos en forma digital, mediante la instalación de sensores y la utilización de hardware Nationals Instruments y software Labview.

La automatización de adquisición de datos del Laboratorio de Turbomaquinaria, permite obtener de manera rápida y confiable, información sobre las variables físicas de los distintos bancos de pruebas y posteriormente obtener las curvas características que indican el comportamiento de estas turbomáquinas hidráulicas sometidas a diversas cargas incrementando la eficacia y la eficiencia de obtener resultados.

Los datos obtenidos deben ser analizados por los estudiantes para encontrar parámetros de interés como, cabeza manométrica  $H_m$  (en el caso de bombas), altura neta  $H_n$  (en el caso de turbinas), potencia útil  $P_u$ , velocidad  $N$ , etc. Todos estos funcionando a máxima eficiencia  $\eta_t$ . Este último parámetro es de mucha importancia en la selección de estos equipos, pues indica la cantidad de energía transferida al fluido, que puede recibir de una bomba o entregar a una turbina.

## TABLA DE CONTENIDOS

<u>CAPÍTULO</u>		<u>PÁGINA</u>
<b>1.</b>	<b>GENERALIDADES</b>	
1.1	Antecedentes .....	1
1.2	Introducción .....	2
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1	Objetivo general.....	3
1.3.2	Objetivos específicos.....	3
<b>2.</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	
2.1	Concepto de automatización .....	4
2.2	Importancia de la automatización .....	4
2.3	Elementos de la automatización .....	5
2.4	Clases de automatización .....	5
2.4.1	Automatización fija .....	5
2.4.2	Automatización programable .....	5
2.4.3	Automatización flexible .....	6
2.5	Tipos de automatización .....	6
2.5.1	Control automático de procesos .....	6
2.5.2	Proceso electrónico de datos .....	6
2.5.3	Automatización fija.....	7
2.5.4	Control numérico computarizado.....	7
2.5.5	Automatización flexible .....	7
	<b>DESCRIPCIÓN DE LOS BANCOS DE PRUEBAS DE BOMBAS Y TURBINAS A SER AUTOMATIZADAS</b>	
<b>3.</b>		
3.1	Máquinas hidráulicas.....	8
3.1.1	Definición .....	8
3.1.2	Bomba .....	8

3.1.3	Turbina hidráulica .....	8
3.2	Bomba reciprocante .....	10
3.2.1	Generalidades .....	10
3.2.2	Principales elementos .....	11
3.3	Bomba centrífuga .....	13
3.3.1	Generalidades .....	13
3.3.2	Principales elementos .....	14
3.4	Bomba axial .....	15
3.4.1	Generalidades .....	15
3.5	Turbina Pelton .....	16
3.5.1	Generalidades .....	16
3.5.2	Principales elementos .....	17
3.6	Turbina Francis .....	21
3.6.1	Generalidades .....	21
3.6.2	Principales elementos .....	22
3.7	Turbina Kaplan .....	23
3.7.1	Generalidades .....	23
3.7.2	Principales elementos .....	24

**DESCRIPCIÓN DE VARIABLES A SER MEDIDAS E  
4. INSTRUMENTOS UTILIZADOS PARA LA  
AUTOMATIZACIÓN**

4.1	Introducción .....	26
4.1.1	Adquisición de datos utilizando LabVIEW.....	26
4.1.2	Descripción del sistema ni compactDAQ.....	28
4.1.2.1	Características de ni cDAQ-9172.....	29
4.1.2.2	Serie c módulos de E/ S.....	30
4.1.3	Ni 9201.....	31
4.1.4	Ni 9401.....	32
4.2	Medicion de presión.....	33
4.2.1	Instrumentos para medición de la presión.....	34
4.2.1.1	Instrumentos mecánicos.....	35

4.2.1.2	Instrumentos elásticos.....	36
4.2.1.3	Instrumentos electrónicos.....	38
4.3	Medición de flujo.....	42
4.3.1	Medidores volumétricos.....	43
4.4	Medición de velocidad.....	46
4.4.1	Sensor de proximidad.....	47
4.5	Medición de fuerza.....	48
4.5.1	Celda de carga.....	49
4.5.2	Cámara unibrain fire-i 1394.....	50
4.6	Fuente de alimentación.....	50

## **5. MONTAJE DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS EN LOS BANCOS DE PRUEBAS**

5.1	Características de los bancos de pruebas.....	53
5.1.1	Bomba reciprocante.....	53
5.1.1.1	Datos técnicos.....	53
5.1.1.2	Descripción general del banco de pruebas antes de la automatización	54
5.1.2	Bomba centrífuga.....	55
5.1.2.1	Datos técnicos.....	55
5.1.2.2	Descripción general del banco de pruebas antes de la automatización	55
5.1.3	Bomba axial.....	58
5.1.3.1	Datos técnicos.....	58
5.1.3.2	Descripción general del banco de pruebas antes de la automatización	58
5.1.4	Turbina Pelton.....	59
5.1.4.1	Datos técnicos.....	59
5.1.4.2	Descripción general del banco de pruebas antes de la automatización	60
5.1.5	Turbina Kaplan.....	61
5.1.5.1	Datos técnicos.....	61
5.1.5.2	Descripción general del banco de pruebas antes de la automatización	62

5.1.6	Turbina Francis.....	63
5.1.6.1	Datos técnicos.....	63
5.1.6.2	Descripción general del banco de pruebas antes de la automatización	64
5.2	Montaje de equipos e instrumentos .....	65
5.2.1	Montaje de los transductores de presión.....	65
5.2.1.1	Bomba reciprocante.....	66
5.2.1.2	Bomba centrífuga.....	67
5.2.1.3	Bomba axial.....	68
5.2.1.4	Turbina Pelton.....	69
5.2.1.5	Turbina Kaplan.....	70
5.2.1.6	Turbina Francis .....	71
5.3	Montaje del sensor de flujo.....	71
5.3.1	Posición del montaje del sensor.....	72
5.3.2	Instalación del sensor .....	73
5.3.3	Bancos de pruebas donde se ubican los sensores de flujo.....	74
5.3.3.1	Bomba reciprocante .....	74
5.3.3.2	Bomba centrífuga.....	75
5.3.3.3	Turbina Pelton.....	76
5.4	Montaje del sensor de proximidad.....	77
5.4.1	Bomba reciprocante.....	78
5.4.2	Bomba centrífuga.....	79
5.4.3	Bomba axial.....	80
5.4.4	Turbinas Pelton, Kaplan y Francis.....	81
5.5	Montaje de la celda de carga .....	82
5.5.1	Bomba reciprocante .....	83
5.5.2	Bomba centrífuga.....	83
5.5.3	Bomba axial.....	84
5.6	Montaje e instalación de las cámaras unibrain fire-i 1394.....	84
5.7	Montaje del hardware ni CompactDAQ .....	85

## **6. AUTOMATIZACIÓN DE LOS BANCOS DE PRUEBAS**

6.1	Programa LabVIEW.....	89
6.2	Diseño de instrumentación virtual.....	90
6.3	Descripción de un vi.....	90
6.4	Descripción del panel frontal.....	91
6.4.1	Bomba reciprocante.....	91
6.4.2	Bomba centrífuga .....	92
6.4.3	Bomba axial.....	94
6.4.4	Turbina Pelton.....	95
6.4.5	Turbina Kaplan .....	97
6.4.6	Turbina Francis .....	98
6.5	Configuración del daq assistant para la adquisición de datos.....	100
6.6	Visión artificial en LabVIEW .....	104
6.7	Ni vision acquisition.....	106
6.8	Visión artificial en LabVIEW mediante “ni vision assistant”.....	109
6.9	Generación de reportes.....	113

## **7. PRUEBAS DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS EN LOS BANCOS AUTOMATIZADOS**

7.1	Bomba reciprocante.....	115
7.1.1	Cálculo tipo:.....	115
7.1.1.1	Datos técnicos del equipo.....	115
7.1.1.2	Variables medidas por los instrumentos utilizados en automatización.....	116
7.1.1.3	Variables calculadas por el programa la bomba reciprocante.....	116

7.1.2	Reportes de datos a 700 rpm, realizando variaciones de apertura de la válvula de control en la descarga.....	118
7.1.3	Reportes de Datos a 700 rpm realizando variaciones de apertura de Válvula de Succión.....	121
7.2	Bomba centrífuga.....	123
7.2.1	Cálculo tipo.....	123
7.2.1.1	Datos técnicos del equipo.....	123
7.2.1.2	Variables medidas por los instrumentos utilizados en automatización.....	123
7.2.1.3	Variables calculadas por el programa de automatización.....	124
7.2.2	Reportes de datos realizando variaciones de apertura de válvula de descarga.....	126
7.3	Bomba axial.....	130
7.3.1	Cálculo tipo.....	130
7.3.1.1	Datos técnicos del equipo.....	130
7.3.1.2	Variables medidas por los instrumentos utilizados en automatización.....	130
7.3.1.3	Variables calculadas por el programa de automatización.....	131
7.3.2	Reportes de datos realizando variaciones de apertura de válvula de descarga y válvula de succión totalmente abierta.....	134
7.3.3	Reportes de datos realizando variaciones de apertura de válvula de descarga y válvula de succión abierta al 50%.....	136
7.4	Turbina Kaplan.....	138
7.4.1	Cálculo tipo.....	138
7.4.1.1	Datos técnicos del equipo.....	138
7.4.1.2	Variables medidas por los instrumentos utilizados en automatización.....	138
7.4.1.3	Variables calculadas por el programa de automatización.....	139

7.4.2	Reportes de datos realizando variaciones en la apertura de los álabes del rotor.....	142
7.5	Turbina Pelton.....	152
7.5.1	Cálculo tipo.....	152
7.5.1.1	Datos técnicos del equipo.....	152
7.5.1.2	Variables medidas por los instrumentos utilizados en automatización.....	152
7.5.1.3	Variables calculadas por el programa de automatización.....	152
7.5.2	Reportes de datos realizando variaciones de apertura de la aguja.....	155
7.6	Turbina Francis.....	158
7.6.1	Cálculo tipo.....	158
7.6.1.1	Datos técnicos del equipo.....	158
7.6.1.2	Variables medidas por los instrumentos utilizados en automatización.....	158
7.6.1.3	Variables calculadas por el programa de automatización.....	159
7.6.2	Reportes de datos realizando variaciones de apertura de los álabes del distribuidor.....	162
<b>8.</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS EN LOS BANCOS AUTOMATIZADOS</b>	
8.1	Análisis de resultados bomba reciprocante.....	166
8.2	Análisis de resultados bomba centrífuga.....	175
8.3	Análisis de resultados bomba axial.....	182
8.4	Análisis de resultados turbina Pelton.....	191
8.5	Análisis de resultados turbina Kaplan.....	195
8.6	Análisis de resultados turbina Francis.....	200

**9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

9.1	Conclusiones .....	205
9.2	Recomendaciones.....	206

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

**BIBLIOGRAFÍA**

**LINKOGRAFÍA**

**ANEXOS**

**PLANOS**

## LISTA DE TABLAS

<u>TABLA</u>		<u>PÁGINA</u>
6.1	EN LA TABLA SE MUESTRA LA RELACIÓN ENTRE LOS GRADOS DE ROTACIÓN DE LA IMAGEN Y LOS NEWTONS QUE MIDE EL DINAMÓMETRO.....	112
7.1	TABLA PARA LECTURA Y CÁLCULOS DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA BOMBA RECIPROCANTE A 700 RPM Y VSTA.....	119
7.2	TABLA PARA LECTURA Y CÁLCULOS DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA BOMBA RECIPROCANTE A 700 RPM Y VDTA.....	121
7.3	TABLA PARA LECTURA Y CÁLCULOS DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA BOMBA CENTRÍFUGA A 1000 RPM Y VSTA...	126
7.4	TABLA PARA LECTURA Y CÁLCULOS DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA BOMBA CENTRÍFUGA A 1400 RPM Y VSTA...	128
7.5	TABLA PARA LECTURA Y CÁLCULOS DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA BOMBA AXIAL, APERTURA DE LOS ÁLABES DEL ROTOR DE 15° Y VSTA.....	134
7.6	TABLA PARA LECTURA Y CÁLCULOS DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA BOMBA AXIAL, APERTURA DE LOS ÁLABES DEL ROTOR DE 15° Y VS50%.....	136
7.7	TABLA PARA LECTURA Y CÁLCULOS DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA TURBINA KAPLAN, APERTURA DE LOS ÁLABES DEL ROTOR DE 0.4, 5 KG DE PESO.....	143
7.8	TABLA PARA LECTURA Y CÁLCULOS DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA TURBINA KAPLAN, APERTURA DE LOS ÁLABES DEL ROTOR DE 0.4, 10 KG DE PESO.....	146
7.9	TABLA PARA LECTURA Y CÁLCULOS DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA TURBINA KAPLAN, APERTURA DE LOS ÁLABES DEL ROTOR DE 0.4, 15 KG DE PESO.....	149
7.10	TABLA PARA LECTURA Y CÁLCULOS DEL BANCO DE LA TURBINA PELTON.....	155

7.11	TABLA PARA LECTURA Y CÁLCULOS DEL BANCO DE LA TURBINA FRANCIS A 5° DE APERTURA DE LOS ÁLABES DEL DISTRIBUIDOR.....	162
8.1	RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS HM VS $Q_R$ – VSTA.....	166
8.2	RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS HT VS $Q_R$ .....	167
8.3	RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS PU VS $Q_R$ – VSTA.....	168
8.4	RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS HM, HT VS $Q_R$ – VSTA – 400RPM CON AMORTIGUACIÓN Y SIN AMORTIGUACIÓN DEL FLUJO.....	170
8.5	RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS HM VS $Q_R$ – VDTA.....	171
8.6	RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS HT VS $Q_R$ – VDTA.....	172
8.7	RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS PU VS $Q_R$ – VDTA.....	173
8.8	RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS HM VS Q.....	177
8.9	RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS HT VS Q.....	178
8.10	RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS PU VS Q.....	179
8.11	RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS HM, PU Y HT VS Q- (MÁXIMA EFICIENCIA).....	181
8.12	RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS HM VS Q – VS50%	182
8.13	RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS HT VS Q – VS50%	183
8.14	RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS PU VS Q – VS50%	184
8.15	RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS HM, HT Y PU VS Q A MÁXIMA EFICIENCIA. TAMBIÉN SE PRESENTA LA VARIACIÓN DE PS Y PD.....	186
8.16	RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS HM VS Q – VSTA	188
8.17	RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS HT VS Q – VSTA	189
8.18	RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS PU VS Q – VSTA	190
8.19	RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS TURBINA PELTON.....	192

8.20	RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS PU VS Q.....	196
8.21	RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS HT VS N .....	197
8.22	RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS Q VS N.....	198
8.23	RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS PU Y HT VS Q A MÁXIMA EFICIENCIA.....	199
8.24	RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS Q11 VS N11 – VTA.....	200
8.25	RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS HT VS N – VTA.....	202
8.26	RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS Q11, NT Y PU VS N11 – VTA (MÁXIMA EFICIENCIA).....	203

## LISTA DE FIGURAS

<u>FIGURA</u>		<u>PÁGINA</u>
3.1	Clasificación de las turbinas.....	9
3.2	Esquema de bomba de émbolo de simple efecto.....	11
3.3	Bomba centrífuga.....	13
3.4	Bomba axial.....	15
3.5	Turbina Pelton.....	16
3.6	Tobera.....	18
3.7	Aguja.....	18
3.8	Rotor o rodete.....	19
3.9	Cangilones.....	20
3.10	Carcasa.....	20
3.11	Turbina Francis.....	21
3.12	Rotor de una turbina Francis.....	22
3.13	Corte ecuatorial de una turbina Francis.....	23
3.14	Sección transversal de una central hidráulica con turbina Kaplan.....	24
3.15	Corte de una turbina Kaplan.....	25
4.1	Esquema descriptivo de la adquisición de datos.....	27
4.2	NI CompactDAQ.....	28
4.3	NI cDAQ-9172 con dimensiones en milímetros y pulgadas.....	30
4.4	Serie C de E / S del módulo, frontal y vista lateral con dimensiones...	31
4.5	Módulo NI 9201.....	32
4.6	Módulo NI 9401.....	33
4.7	Tipos de presión.....	33
4.8	Manómetro de presión absoluta.....	35
4.9	Manómetro en U.....	35
4.10	Manómetro de pozo.....	36
4.11	Manómetro de tubo inclinado.....	36
4.12	Manómetro elástico “Tubo Bourdon”.....	37
4.13	Manómetro de tiro del tipo de fuelle.....	37
4.14	Diafragmas.....	38
4.15	Principio de operación de un sensor con Strain Gage.....	39

4.16	Transductor de presión.....	40
4.17	Transductor de presión de 100psi instalado en la entrada de turbina Kaplan.....	40
4.18	Transductor de presión diferencial de 0 a 1 psi instalado en las tomas de la placa orificio (turbina Kaplan).....	41
4.19	Transductor de presión (vacuómetro).....	42
4.20	Medidor de una sola turbina.....	43
4.21	Medidor de doble turbina axial.....	43
4.22	Sensor de flujo tipo paleta. ....	44
4.23	Sensor de flujo FP-5300.....	45
4.24	Sensor de flujo tipo paleta FP-5600.....	45
4.25	Lámpara estroboscópica.....	46
4.26	Tacómetro turbina Pelton.....	47
4.27	Sensor de proximidad inductivo.....	47
4.28	Sensor de proximidad instalado en el banco de pruebas de la bomba centrífuga.....	48
4.29	Celda de carga omega.....	49
4.30	Cámara digital unibrain fire-i 1394.....	50
4.31	Fuente de alimentación. ....	51
4.32	Fuente de alimentación RS-25-5.....	51
4.33	Fuente de voltaje RS-35-12.....	52
4.34	Interruptor de alimentación SP-24 AL.....	52
5.1	Fotografía del banco de pruebas de la bomba reciprocante antes de la automatización.....	54
5.2	Fotografía del banco de pruebas de la bomba centrífuga antes de la automatización.....	57
5.3	Fotografía del banco de pruebas de la bomba axial.....	59
5.4	Turbina Pelton. ....	61
5.5	Turbina Kaplan.....	63
5.6	Turbina Francis. ....	64
5.7	Obtención de las ecuaciones de los transductores de presión con el equipo de calibración peso muerto. ....	65
5.8	Manómetro y vacuómetro de la bomba reciprocante.....	66

5.9	Transductores de presión instalados en la bomba reciprocante.....	66
5.10	Manómetros de succión, descarga y manómetro diferencial de la bomba centrífuga.....	67
5.11	Montaje de los transductores de presión. ....	68
5.12	Transductores de presión instalados en la bomba axial.....	68
5.13	Transductor de presión diferencial.....	69
5.14	Transductor de presión turbina Pelton.....	69
5.15	Manómetro y transductor de presión de rango compuesto, ubicados en la descarga de la turbina Kaplan.....	70
5.16	Manómetro y transductor de presión. ....	71
5.17	Ubicación de la conexión del sensor.....	71
5.18	Muestra la posición de montaje del sensor.....	72
5.19	Señala la dirección de flujo.....	72
5.20	Acoplamiento de la rosca de la tapa del sensor.....	73
5.21	Ubicación de la conexión del sensor con un codo a 90°.....	73
5.22	En la fotografía se muestra el redimensionamiento de la tubería de descarga para la instalación del sensor de flujo.....	74
5.23	La fotografía muestra el ángulo de inclinación de 45° con que se encuentra ubicado el sensor.....	74
5.24	En la fotografía se muestra la ubicación del sensor de flujo en el banco de pruebas de la bomba centrífuga.....	75
5.25	La fotografía muestra el ángulo de inclinación de 45° con que se encuentra ubicado el sensor.....	76
5.26	Sensor de flujo auto alimentado ubicado en la turbina Pelton.....	77
5.27	Tarjeta de acople para el sensor de proximidad.....	77
5.28	Diagrama del circuito de la tarjeta de acople.....	78
5.29	Sensor de proximidad instalado en la carcasa de protección de la banda dentada.....	79
5.30	En las fotografías se muestra el sensor de proximidad instalado en la bomba centrífuga.....	80
5.31	Sensor de proximidad ubicado en la bomba axial. ....	80
5.32	Sensor de proximidad turbina Pelton.....	81
5.33	Sensor de proximidad turbina Francis.....	81

5.34	Sensor de proximidad instalado en el tambor de freno de la turbina Kaplan. ....	81
5.35	En la fotografía se muestra como se realizó la obtención de las ecuaciones de cada una de las celdas de carga. ....	82
5.36	Programa realizado para calibración de la celda de carga.....	82
5.37	Celda de carga y soporte en la bomba reciprocante.....	83
5.38	Celda de carga y soporte bomba centrífuga.....	84
5.39	Celda de carga en la bomba axial.....	84
5.40	Cámaras digitales unibrain fire-i instaladas en (a) Turbina Pelton, (b) Turbina Francis, (c) Turbina Kaplan. ....	85
5.41	Caja del panel de control. ....	86
5.42	Caja del panel de control bomba centrífuga. ....	86
5.43	Instalación de DIN-Rail en cDAQ-9172. ....	87
5.44	Instalación de módulos serie C E / S. ....	87
5.45	Panel de adquisición de la bomba axial. ....	88
6.1	Panel frontal de la bomba reciprocante. ....	92
6.2	Panel frontal de la bomba centrífuga. ....	93
6.3	Panel frontal de la bomba axial. ....	95
6.4	Panel frontal de la turbina Pelton. ....	96
6.5	Panel frontal de la turbina Kaplan. ....	98
6.6	Panel frontal de la turbina Francis. ....	99
6.7	DAQ Assistant ubicado desde la librería express. ....	100
6.8	Creando una nueva tarea express en el DAQ assistant.....	100
6.9	Muestra los canales físicos de la tarjeta.....	101
6.10	Configuración de rangos para la adquisición.....	102
6.11	Canales ocupados con los sensores de presión y la celda de carga.....	103
6.12	Conexión de la cámara digital.....	106
6.13	Administrador de dispositivos. ....	107
6.14	Seleccionar la cámara digital. ....	107
6.15	Selección de adquisición continua de datos. ....	108
6.16	Selección de controles e indicadores. ....	108
6.17	Adquisición de la imagen. ....	109
6.18	Extracción del color. ....	110

6.19	Rotación de la imagen. ....	110
6.20	Localización de la aguja mediante una plantilla patrón. ....	111
6.21	Resultados de los ángulos de posición obtenidos. ....	111
6.22	La gráfica muestra cómo se obtiene la ecuación de la lectura fuerza ejercida en el dinamómetro y la lectura obtenida por la cámara.....	112
6.23	Generación de reportes.....	114
7.1	Curvas características de la bomba reciprocante a 700 rpm y VSTA..	120
7.2	Curvas características de la bomba reciprocante a 700 rpm y VSTA, imagen programa LabVIEW. ....	120
7.3	Curvas características de la bomba reciprocante a 700 rpm y VDTA..	122
7.4	Curvas características de la bomba reciprocante a 700 rpm y VDTA, imagen programa LabVIEW. ....	122
7.5	Curvas características de la bomba centrífuga a 1000 rpm y VSTA.....	127
7.6	Curvas características de la bomba centrífuga a 1000 rpm y VSTA, imagen programa LabVIEW. ....	127
7.7	Curvas características de la bomba centrífuga a 1400 rpm y VSTA....	129
7.8	Curvas características de la bomba centrífuga a 1400 rpm y VSTA, imagen programa LabVIEW. ....	129
7.9	Curvas características de la bomba axial, apertura de los álabes del rotor de 15° y VSTA.....	135
7.10	Curvas características de la bomba axial, apertura de los álabes del rotor de 15° y VSTA., imagen programa LabVIEW.....	135
7.11	Curvas características de la bomba axial, apertura de los álabes del rotor de 15° y VS50%.....	137
7.12	Curvas características de la bomba axial, apertura de los álabes del rotor de 15° y VS50%., imagen programa LabVIEW.....	137
7.13	Curvas características de la turbina Kaplan, apertura de los álabes del rotor de 0.4, 5 Kg de peso. ....	144
7.14	Curvas características de la turbina Kaplan, apertura de los álabes del rotor de 0.4, 5 Kg de peso., imagen programa LabVIEW.....	145

7.15	Curvas características de la turbina Kaplan, apertura de los álabes del rotor de 0.4, 10 Kg de peso.....	147
7.16	Curvas características de la turbina Kaplan, apertura de los álabes del rotor de 0.4, 10 Kg de peso., imagen programa LabVIEW.....	148
7.17	Curvas características de la turbina Kaplan, apertura de los álabes del rotor de 0.4, 15 Kg de peso. ....	150
7.18	Curvas características de la turbina Kaplan, apertura de los álabes del rotor de 0.4, 15 Kg de peso., imagen programa LabVIEW.....	151
7.19	Curvas características de la turbina Pelton.....	156
7.20	Curvas características de la turbina Pelton, imagen programa LabVIEW. ....	157
7.21	Curvas características de la turbina Francis a 5° de apertura de los álabes del distribuidor. ....	163
7.22	Curvas características de la turbina Francis a 5° de apertura de los álabes del distribuidor, imagen programa LabVIEW. ....	164
8.1	Curvas características $H_m$ vs $Q_R - VSTA$ .....	166
8.2	Curvas características $H_m$ vs $Q$ teórica y real - (Fernández Diez, Pedro. Bombas Centrífugas y Volumétricas. Pág. BV.X.-120).....	166
8.3	Curvas características $\eta_t$ vs $Q_R - VSTA$ .....	167
8.4	Curvas características $P_u$ vs $Q_R - VSTA$ .....	168
8.5	Sistema elemental con amortiguador de pulsaciones - (Kenneth J. Bombas Selección, Uso y Mantenimiento. Pág. 211).....	169
8.6	Curvas características $H_m$ , $\eta_t$ vs $Q_R - VSTA - 400rpm$ con amortiguación y sin amortiguación del flujo.....	171
8.7	Curvas características $H_m$ vs $Q_R - VDTA$ .....	172
8.8	Curvas características $\eta_t$ vs $Q_R - VDTA$ .....	173
8.9	Curvas características $P_u$ vs $Q_R - VDTA$ .....	174
8.10	Curvas características típicas $H_m$ , $P_u$ y $\eta_t$ vs $Q$ - (Fernández Diez, Pedro. Bombas Centrífugas y Volumétricas. Pág. BC.V.-62).....	176
8.11	Curvas características $H_m$ vs $Q - VSTA$ .....	177
8.12	Curvas características $\eta_t$ vs $Q$ .....	178
8.13	Curvas características $P_u$ vs $Q$ .....	179
8.14	Curvas características $H_m$ , $P_u$ y $\eta_t$ vs $Q$ - (máxima eficiencia).....	181

8.15	Curvas características $H_m$ vs $Q$ – VS50%.....	182
8.16	Curvas características $H_m$ vs $Q$ - (Encinas, Manuel Polo. Turbomáquinas Hidráulicas. Pág. 100) .....	183
8.17	Curvas características $\eta_t$ vs $Q$ – VS50%.....	184
8.18	Curvas características $P_u$ vs $Q$ – VS50%.....	185
8.19	Curvas características $H_m$ , $\eta_t$ y $P_u$ vs $Q$ a máxima eficiencia. También se presenta la variación de $P_s$ y $P_d$ . .....	187
8.20	Curvas características $H_m$ vs $Q$ – VSTA.....	188
8.21	Curvas características $\eta_t$ vs $Q$ – VSTA.....	189
8.22	Curvas características $P_u$ vs $Q$ – VSTA.....	190
8.23	Curvas características turbina Pelton (Catálogo Armfield R15/16. Pág. 2) .....	191
8.24	Curvas características turbina Pelton.....	192
8.25	Coeficientes de velocidad turbina Pelton.....	193
8.26	Curvas características típicas $P_u$ vs $Q$ - (Catálogo Armfield – Referencia R14, 17 & 18) .....	195
8.27	Curvas características $P_u$ vs $Q$ .....	196
8.28	Curvas características $\eta_t$ vs $N$ .....	197
8.29	Curvas características $Q$ vs $N$ .....	198
8.30	Curvas características $P_u$ y $\eta_t$ vs $Q$ a máxima eficiencia. ....	200
8.31	Curvas características $Q_{11}$ vs $N_{11}$ – VTA.....	201
8.32	Curvas características $H_m$ vs $Q$ - (Catálogo Armfield - Referencia R15/16) .....	201
8.33	Curvas características $\eta_t$ vs $N$ - VTA.....	202
8.34	Curvas características $Q_{11}$ , $\eta_t$ y $P_u$ vs $N_{11}$ – VTA (máxima eficiencia). .....	204

## LISTA DE ABREVIATURAS

A/D	Analógico / Digitales
DAQ	Adquisición de Datos
E/S	Entradas / Salidas
Hm	Cabeza Manométrica
Hn	Altura Neta
ID	Diámetro Interior de la Tubería
NI	National Instruments
Q	Caudal
VDTA	Válvula de Descarga Totalmente Abierta
VI	Virtual Instrument
VS50%	Válvula de Succión Abierta al 50%
VSTA	Válvula de Succión Totalmente Abierta

## **LISTA DE ANEXOS**

<b>ANEXO 1</b>	Calibración de instrumentos de presión con equipo de peso muerto
<b>ANEXO 2</b>	Guía de laboratorio bomba reciprocante
<b>ANEXO 3</b>	Guía de laboratorio bomba centrífuga
<b>ANEXO 4</b>	Guía de laboratorio bomba axial
<b>ANEXO 5</b>	Guía de laboratorio turbina Pelton
<b>ANEXO 6</b>	Guía de laboratorio turbina Kaplan
<b>ANEXO 7</b>	Guía de laboratorio turbina Francis
<b>ANEXO 8</b>	Diagrama de Moody
<b>ANEXO 9</b>	Coefficiente de caudal en función de Reynolds
<b>ANEXO 10</b>	Hojas de Datos
<b>ANEXO 11</b>	Hojas de Especificaciones

# CAPÍTULO I

## **1. GENERALIDADES**

### **1.1 Antecedentes**

La gradual complejidad, con que se han desarrollado los procesos industriales en el mundo, ha exigido su automatización por medio de los instrumentos de medición y control, o PLC's (Microcomputadores dirigidos a aplicaciones de control industrial).

El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del hardware y software amplía constantemente este campo para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales.

Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario un proceso de maniobra, control, señalización, etc., por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industriales de cualquier tipo a transformaciones industriales, control de instalaciones, etc.

Sus reducidas dimensiones, la extremada facilidad de su montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los mismos, etc.,

Dándose el primer paso, para que este importante proceso a inicios de 1959 con la introducción del circuito integrado, que dio lugar a los primeros PLC's llegando a reemplazarse a los relés electromagnéticos. Apareciendo en 1977 el primer PLC microprocesador, que en la actualidad ha llegado a ser esencial en una industria moderna.

Para cumplir con nuestro propósito, requerimos de:

- Estación maestra
  - ✓ Sistema Computarizado
  
- Unidad Terminal remota

✓ PLC, DAC, Fieldbus, Sensores Inteligentes, etc.

➤ Sistema de Comunicaciones

✓ Interfaz física y protocolo (Software).

## 1.2 **Introducción**

Las primeras industrias realizaban el control de las variables en forma manual a través de operadores que visualizaban el estado del proceso a través de indicadores ubicados en las cañerías y/o recipientes y equipos. Sin embargo el hecho de que el elemento mecánico de control estuviera ubicado directamente sobre el proceso, mantenía la obligación de ir al campo para conocer el verdadero estado de las variables, así como dejaba expuesto al medio ambiente (muchas veces agresivo) a elementos de regulación delicados.

La automatización de un proceso frente al control manual del mismo proceso, brinda ciertas ventajas y beneficios de orden económico, social, y tecnológico, como coordinar o controlar una serie de operaciones y una serie de magnitudes simultáneamente.

La automatización en los procesos Industriales, se basa en la capacidad para controlar la información necesaria en el proceso productivo, mediante el empleo de mecanismos de medición y evaluación de las normas de producción. A través de diversos instrumentos controlados por la información suministrada por el computador, se regula el funcionamiento de las máquinas u otros elementos que operan el proceso productivo.

La automatización no siempre justifica la implementación de estos sistemas, pero existen ciertas señales indicadoras que explican y hacen necesario la ejecución de estos procedimientos, y es así que mediante la utilización de captadores o sensores (que son esencialmente instrumentos de medición, como manómetros, vacuómetros, flujómetros), se recibe la información sobre el funcionamiento de las variables que deben ser controladas (presión, velocidad, torque o cualquier otra que pueda cuantificarse), esta información se convierte en una señal, que es comparada por medio de la computadora con la norma, consigna, o valor deseado para determinada variable.

Es muy importante para los equipos de laboratorio que fueron instalados en 1980, por los técnicos de la Armfield, automatizarlos, aunque estos se encuentran en buen estado de funcionamiento debido al mantenimiento permanente del cual han sido objeto estos años, pero las lecturas como presión, caudal, altura, RPM, variación de presión, etc., se toman en forma visual; nos vemos en la necesidad de optimizar el tiempo y eficacia de obtener los resultados en los bancos de pruebas actuales con el fin de facilitar al estudiante la obtención de datos en forma digital.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Automatizar el funcionamiento de bancos de Turbomáquinas del Laboratorio de Fluidos de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Automatizar el funcionamiento del banco de bomba centrífuga.
- Automatizar el funcionamiento del banco de bomba recíproca.
- Automatizar el funcionamiento del banco de bomba axial.
- Automatizar el funcionamiento del banco de turbina Pelton.
- Automatizar el funcionamiento del banco de turbina Francis.
- Automatizar el funcionamiento del banco de turbina Kaplan.

## CAPÍTULO II

### **2 MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Concepto de automatización**

El término Automatización viene de la palabra griega “*auto*” y significa la ejecución **por medios propios** de un proceso, en el que materia, información o energía es cambiado o transformado.

Automatización es la tecnología que trata de la aplicación de sistemas mecánicos, electrónicos y de bases computacionales para operar y controlar la producción, es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos. En los más modernos sistemas de automatización, el control de las máquinas es realizado por ellas mismas gracias a sensores de control que le permiten percibir cambios en sus alrededores de ciertas condiciones tales como temperatura, volumen y fluidez de la corriente eléctrica y otros, sensores los cuales le permiten a la máquina realizar los ajustes necesarios para poder compensar estos cambios. Hoy una gran mayoría de las operaciones industriales son realizadas por enormes máquinas de este tipo.

#### **2.2 Importancia de la automatización**

La tecnología de automatización toma en la industria una posición cada vez más preponderante debido a la automatización de los procesos, un área cuya importancia se encuentra en constante ascenso. Esto sucede tanto en las aplicaciones cotidianas de la producción como en la instrucción. Hoy en día, la tecnología de automatización está casi siempre ligada a las tecnologías de accionamiento, control y a la informática. Debido al acelerado desarrollo de la tecnología de micro controladores y ordenadores, la tecnología de automatización se ha convertido en el área más innovadora y con mayor vida de la electrotecnia. A ello se debe agregar que las nuevas soluciones industriales, como la descentralización y visualización, requieren nuevos sistemas de instrucción.

El alcance va más allá que la simple mecanización de los procesos ya que esta provee a operadores humanos mecanismos para asistirlos en los esfuerzos físicos del trabajo, la automatización reduce ampliamente la necesidad sensorial y mental del humano. La automatización como una disciplina de la ingeniería es más amplia que un simple sistema de control, abarca la instrumentación industrial, que incluye los sensores y transmisores de campo, los sistemas de control y supervisión, los sistema de transmisión y recolección de datos y las aplicaciones de software en tiempo real para supervisar y controlar las operaciones de plantas o procesos industriales.

### **2.3 Elementos de la automatización**

Cuando la flexibilidad es el calificativo que engloba todas las tendencias presentes en la automatización de las plantas industriales, los medios de transporte interno deben ser asimismo flexibles. Ante esta necesidad, los sistemas modulares constituyen la respuesta idónea. Robustez, mejor sujeción y, especialmente, incorporación de nuevos tipos de accionamientos y elementos de control, son las principales novedades que han ido introduciéndose en los sistemas modulares de automatización. Por otro lado, la tendencia constructiva de los suministradores apunta a que a partir de un número importante de componentes estándar se llegue a diseñar un sistema totalmente adaptado a unas necesidades específicas.

### **2.4 Clases de automatización**

Hay tres clases muy amplias de automatización:

- Automatización fija
- Automatización programable
- Automatización Flexible

**2.4.1 Automatización fija:** Se utiliza cuando el volumen de producción es muy alto, y por tanto se puede justificar económicamente el alto costo del diseño de equipo especializado para procesar el producto, con un rendimiento alto y tasas de producción elevadas. Además de esto, otro inconveniente de la automatización fija es su ciclo de vida que va de acuerdo a la vigencia del producto en el mercado.

**2.4.2 Automatización programable:** Se emplea cuando el volumen de producción es relativamente bajo y hay una diversidad de producción a obtener. En este caso el equipo de producción es diseñado para adaptarse a la variaciones de configuración del producto; ésta adaptación se realiza por medio de un programa (software).

**2.4.3 Automatización flexible:** Es más adecuada para un rango de producción medio. Estos sistemas flexibles poseen características de la automatización fija y de la automatización programada.

Los sistemas flexibles suelen estar constituidos por una serie de estaciones de trabajo interconectadas entre sí por sistemas de almacenamiento y manipulación de materiales, controlados en su conjunto por una computadora.

## **2.5 Tipos de automatización**

Existen cinco formas de automatizar en la actualidad, de modo que se deberá analizar cada situación a fin de decidir correctamente el esquema más adecuado.

Los tipos de automatización son:

- Control Automático de Procesos
- El Procesamiento Electrónico de Datos
- La Automatización Fija
- El Control Numérico Computarizado
- La Automatización Flexible.

**2.5.1 Control automático de procesos,** se refiere usualmente al manejo de procesos caracterizados de diversos tipos de cambios (generalmente químicos y físicos); un ejemplo de esto lo podría ser el proceso de refinación de petróleo.

**2.5.2 Proceso electrónico de datos,** frecuentemente es relacionado con los sistemas de información, centros de cómputo, etc. Sin embargo en la actualidad también se considera dentro de esto la obtención, análisis y registros de datos a través de interfaces y

computadores, por lo que el presente trabajo de tesis se enfocara en este tipo de automatización para las máquinas hidráulicas del Laboratorio de Turbomaquinaria que son: bomba centrífuga, bomba reciprocante, bomba axial, turbina Pelton, turbina Francis y turbina Kaplan.

**2.5.3 Automatización fija**, es aquella asociada al empleo de sistemas lógicos tales como: los sistemas de relevadores y compuertas lógicas; sin embargo estos sistemas se han ido flexibilizando al introducir algunos elementos de programación como en el caso de los (PLC's) O Controladores Lógicos Programables.

**2.5.4 Control numérico computarizado**, se considera de Control Numérico por Computador, también llamado CNC, a todo dispositivo capaz de dirigir el posicionamiento de un órgano mecánico móvil mediante órdenes elaboradas de forma totalmente automática a partir de informaciones numéricas en tiempo real.

**2.5.5 Automatización flexible**, consiste en procesos automáticos, reprogramables con mucha agilidad y con cambio muy rápido de herramientas, lo, que permiten procesar en las mismas máquinas diversos productos en tandas de bajo volumen, logrando combinar así los efectos de la economía de escala, la economía de alcance y la flexibilidad de producción.

### **CAPÍTULO III**

### 3 DESCRIPCIÓN DE LOS BANCOS DE PRUEBAS DE BOMBAS Y TURBINAS A SER AUTOMATIZADAS

#### 3.1 Máquinas hidráulicas

##### 3.1.1 Definición

Una máquina hidráulica es un dispositivo capaz de convertir energía hidráulica en energía mecánica; pueden ser motrices (turbinas), o generatrices (bombas), modificando la energía total de la vena fluida que las atraviesa. En una máquina hidráulica, el agua intercambia energía con un dispositivo mecánico de revolución que gira alrededor de su eje de simetría; éste mecanismo lleva una o varias ruedas, (rodetes o rotores), provistas de álabes, de forma que entre ellos existen unos espacios libres o canales, por los que circula el agua.

**3.1.2 Bomba:** Es una máquina que absorbe energía mecánica y restituye al líquido que la atraviesa energía hidráulica.

En la actualidad se encuentran en uso dos tipos de bombas:

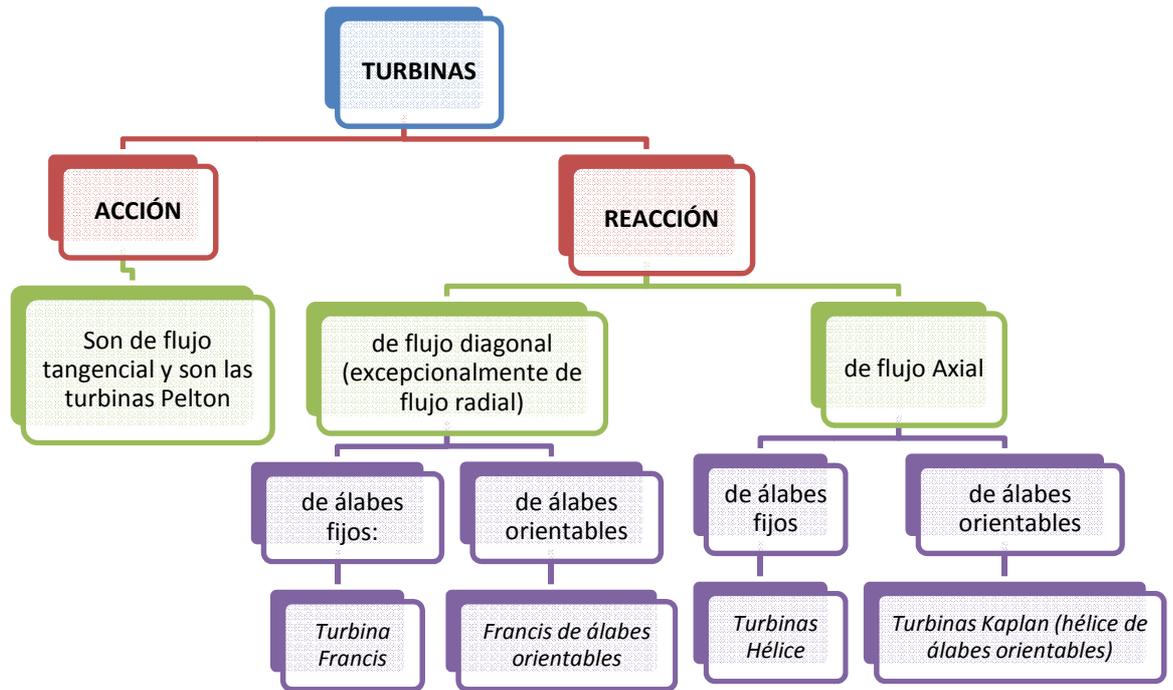
a) Desplazamiento Positivo:

- Reciprocantes:
- Rotatorias

b) Rotodinámicas (Rotatorias):

- Centrífugas
  - ✓ Bombas centrífugas (flujo radial)
  - ✓ Bombas de flujo axial
  - ✓ Bombas de flujo mixto

**3.1.3 Turbina hidráulica:** Es una máquina hidráulica, que aprovecha la energía de un fluido que pasa a través de ella para producir un movimiento de rotación que, transferido mediante un eje, mueve directamente una máquina o bien un generador que transforma la energía mecánica en eléctrica, así son el órgano fundamental de una Central hidroeléctrica.



*Figura 3.1 Clasificación de las turbinas*

Las turbinas se pueden clasificar de varias maneras estas son:

a) Según el dirección del flujo:

- Turbinas axiales: el agua entra en el rodete en la dirección del eje
- Turbinas radiales: el agua entra en sentido radial, no obstante el agua puede salir en cualquier dirección

b) De acuerdo a su grado de reacción:

- Turbinas de chorro o de acción simple o directa
- Turbinas de sobrepresión o de reacción

c) Según la dirección del eje:

- Horizontales
- Verticales

Hay otras clasificaciones, según las condiciones de construcción, no obstante la clasificación más importante es la que las separa de acuerdo al modo de obrar el agua, estas son

de reacción o de chorro. Aunque hay muchas turbinas que entran en estas clasificaciones las más importantes son las turbinas Pelton, Francis y Kaplan.

## **3.2 Bomba reciprocante**

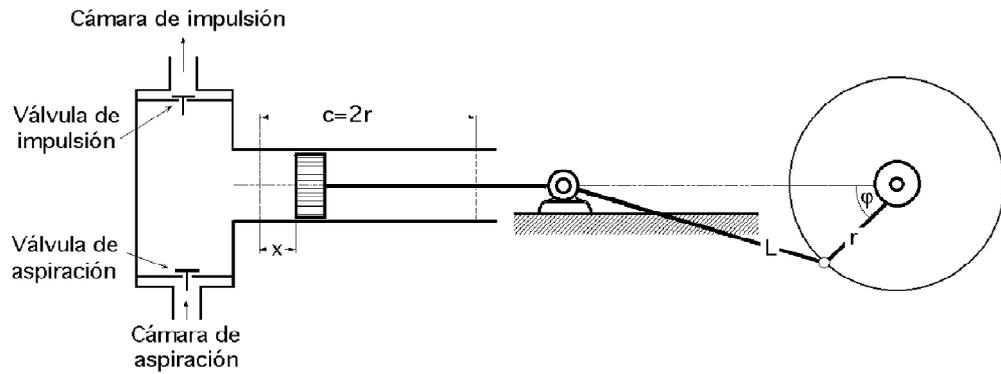
### **3.2.1 Generalidades**

El funcionamiento de una bomba reciprocante se basa en el desalojo del líquido impulsado limitado únicamente por la fuerza de las partes estructurales. El volumen, o capacidad de líquido entregado es constante sin importar la presión y puede variar solo a causa de cambio de velocidad, en términos generales, el gasto de una Bomba Reciprocante es directamente proporcional a su velocidad de rotación y casi independiente de la presión de bombeo.

Como el proceso de llenado y vaciado sucesivo de receptáculos de volumen fijo requiere fricción por resbalamiento entre las paredes estacionarias del receptáculo y las partes móviles, estas bombas no son apropiadas para manejar líquidos que contengan arenas o materias en suspensión. Además, la variación cíclica del gasto de descarga puede obligar al empleo de Cámara de aire y de grandes tuberías.

Estas bombas son relativamente de baja velocidad de rotación, de tal manera que cuando tienen que ser movidas por motores eléctricos deben ser intercaladas transmisiones de engranes o poleas para reducir la velocidad entre el motor y la bomba.

Gracias a que la bomba reciprocante no es cinética como la centrífuga y no requiere velocidad para producir presión, puede obtener presiones altas a bajas velocidades, siendo esta una de las ventajas para el manejo de líquidos abrasivos y viscosos, otra de las ventajas es su bajo costo con respecto a las bombas centrífugas tanto en la instalación como en el mantenimiento.



*Figura 3.2 Esquema de bomba de émbolo de simple efecto*

### 3.2.2 Principales elementos

**Extremo líquido**, consta del cilindro, émbolo o pistón, válvulas, caja del estopero, tubos distribuidores y la cabeza del cilindro.

**Cilindro**, Es el cuerpo en donde se desarrolla la presión y es la parte más importante de la cámara de bombeo, soporta a todos los componentes del extremo líquido.

**Pistón**, es un disco plano, cilíndrico, montado en una biela y suele tener algún tipo de anillos selladores, los pistones se usan para presiones más altas normalmente se utilizan los émbolos. Los pistones son de fundición de hierro con caras reforzadas con elastómeros.

**Émbolo**, es una varilla lisa que se encarga de transmitir la fuerza que desarrolla la presión su configuración normal solo puede ser de acción sencilla.

Se emplea en dos formas diferentes: el émbolo de disco y de buzo. El émbolo de disco se emplea para pequeñas y medianas presiones, para presiones muy grandes se emplea para los émbolos buzo debido a que la junta que se puede hacer con el émbolo disco no resulta ser suficiente sello, puesto que un pistón debe sellar contra un cilindro o camisa dentro de la bomba. Mientras que un émbolo de disco toca las paredes del cilindro en toda su longitud, el émbolo buzo se mueve libremente en el cilindro y lo usa para apoyarse en la guía del prensaestopas, para lo cual es necesario que el émbolo de buzo reciba una longitud adecuada que siempre es mayor que su carrera suprimiendo la mecanización de las paredes del cilindro.

**Prensaestopas**, su función es la de impedir la salida del líquido en la carrera de impulsión y de penetración del aire en el interior de la bomba durante la carrera de aspiración. Sus componentes son la caja y además la caja estopa de fondo, el casquillo con su forro y la empaquetadura (fig. 3). Según el líquido, la temperatura, y las presiones que soporte la bomba se emplean las siguientes empaquetaduras: blanda, de cuero, de metal deformable plásticamente, puramente metálica.

**Cámara de aire**, se sitúa junto al cuerpo de la bomba, la cámara de aire de la aspiración en la mayoría de casos forma una sola pieza con el cuerpo de la bomba o puede ser una base donde se apoya ésta. Debido a la depresión que se acumula en la cámara de aire de la aspiración de manera continua se desprende aire del agua de manera que el nivel del agua va descendiendo lentamente, exceso de aire sale a través de la bomba, el extremo de tubo sumergido de la bomba tiene pequeños agujeros que a través de la bomba aspira pequeñas cantidades de aire en cada carrera de aspiración.

**Válvulas**, Se abren gracias a la presión diferencial del líquido, son del tipo de retención de las siguientes formas: como de bol, hemisférica, de disco, de asientos cónicos. Cada cámara contiene una válvula de succión y una de descarga y en su mayoría están bajo la carga del resorte.

**Extremo de potencia**, su función es la de convertir el movimiento rotativo de la máquina motriz en movimiento alternativo en el extremo para el líquido. Su principal componente es el bastidor que soporta todas las demás piezas motrices y por lo general el extremo del líquido. El segundo componente principal en el extremo de potencia es el cigüeñal o a veces un árbol de levas. La función del cigüeñal es la misma que en un motor de combustión excepto que la aplicación de energía es en sentido opuesto.

**Los cojinetes principales**, soportan el eje o árbol de bastidor de potencia, la biela se impulsa con un codo o moñón del cigüeñal en un extremo e impulsa una cruceta en el otro, la cruceta solo tiene movimiento alternativo y el cigüeñal sólo movimiento rotativo, los conecta la biela.

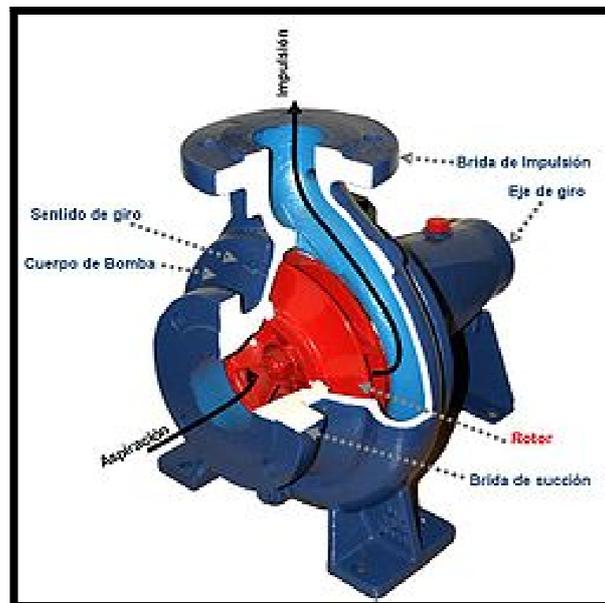
### 3.3 **Bomba centrífuga**

### 3.3.1 Generalidades

La bomba centrífuga, es una máquina rotodinámica en la cual se transfiere energía de un rotor en movimiento a un fluido. Esto se produce porque el fluido entra axialmente al rotor, y a medida que circula por el interior de éste, adquiere energía en forma de presión y velocidad, todo esto debido a la configuración geométrica de los álabes del rotor.

La estructura de las bombas centrífugas es análoga a la de las turbinas hidráulicas, salvo que el proceso energético es inverso; en las turbinas se aprovecha la altura de un salto hidráulico para generar una velocidad de rotación en la rueda, mientras que en las bombas centrífugas la velocidad comunicada por el rodete al líquido se transforma, en parte, en presión, lográndose así su desplazamiento y posterior elevación.

En bombas de alta presión pueden emplearse varios rotores en serie, y los difusores posteriores a cada rotor pueden contener aletas de guía para reducir poco a poco la velocidad del líquido. En las bombas de baja presión, el difusor suele ser un canal en espiral cuya superficie transversal aumenta de forma gradual para reducir la velocidad. El rotor debe ser cebado antes de empezar a funcionar, es decir, debe estar rodeado de líquido cuando se arranca la bomba.



*Figura 3.3 Bomba centrífuga*

### 3.3.2 Principales elementos

**Carcasa:** Es la parte exterior protectora de la bomba y cumple la función de convertir la energía de velocidad impartida al líquido por el impulsor en energía de presión. Esto se lleva a cabo mediante reducción de la velocidad por un aumento gradual del área.

**Rotor o Impulsor:** Es el corazón de la bomba centrífuga. Recibe el líquido y le imparte una velocidad de la cual depende la carga producida por la bomba.

**Anillos de desgaste:** Cumplen la función de ser un elemento fácil y barato de remover en aquellas partes en donde debido a las cerradas holguras entre el impulsor y la carcasa, el desgaste es casi seguro, evitando así la necesidad de cambiar estos elementos y quitar solo los anillos.

**Empaques y sellos:** La función de estos elementos es evitar el flujo hacia fuera del líquido bombeado a través del orificio por donde pasa la flecha de la bomba y el flujo de aire hacia el interior de la bomba.

**Eje de la bomba:** Es el eje de todos los elementos que giran en la bomba centrífuga, su función es transmitir los pares motores que se encuentran en el arranque y durante la operación además el movimiento que imparte la flecha del motor.

**Cojinetes:** Su función es la de mantener el eje rotor en el correcto alineamiento con la partes estacionarias, bajo la acción de cargas radiales y transversales.

**Bases:** Su función es la de proporcionar una superficie para la bomba sosteniendo todo su peso y poderla fijar rígidamente a la cimentación

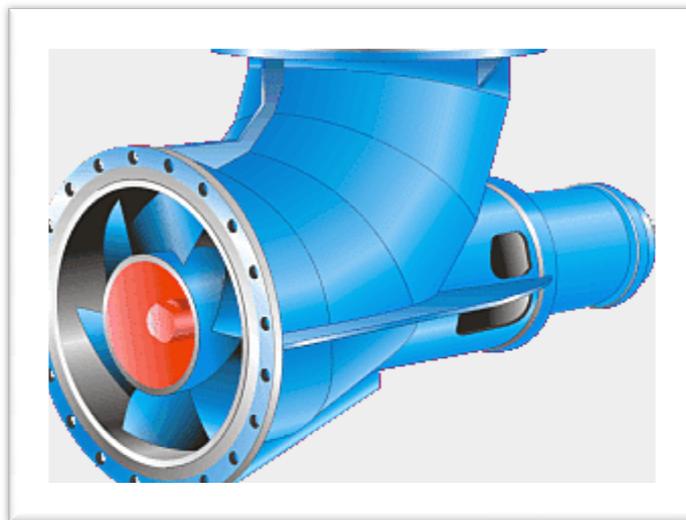
### **3.4 Bomba axial**

#### **3.4.1 Generalidades**

Las bombas axiales son turbomáquinas que permiten la transferencia de energía mecánica del rotor al líquido mientras éste pasa a través de los álabes en dirección axial. Se las conoce también como bombas de hélice, por la forma que tiene el impulsor. Estas bombas se utilizan para mover grandes caudales con pequeñas alturas y baja presión. Cuando hay que bombear aguas pluviales, especialmente en aquellos casos en los que se debe bombear una gran cantidad contra una altura de elevación baja. La bomba se compone de una hélice de múltiples álabes-guías fijos por delante y por detrás del rodete.

Las bombas de flujo axial suelen tener solo dos o seis palas, por lo que tienen grandes conductos sin obstáculos, que permiten trabajar con agua que contengan elementos sólidos sin que se produzca atascos. Los álabes de algunas bombas axiales grandes son ajustables para permitir fijar la inclinación que dé el mejor rendimiento bajo condiciones reales.

En la máquina axial la velocidad en ningún punto tiene componente, solo tiene dos componentes axial y periférico. El efecto de la fuerza centrífuga es nula. Una bomba axial no es una bomba centrífuga.



*Figura 3.4 Bomba axial*

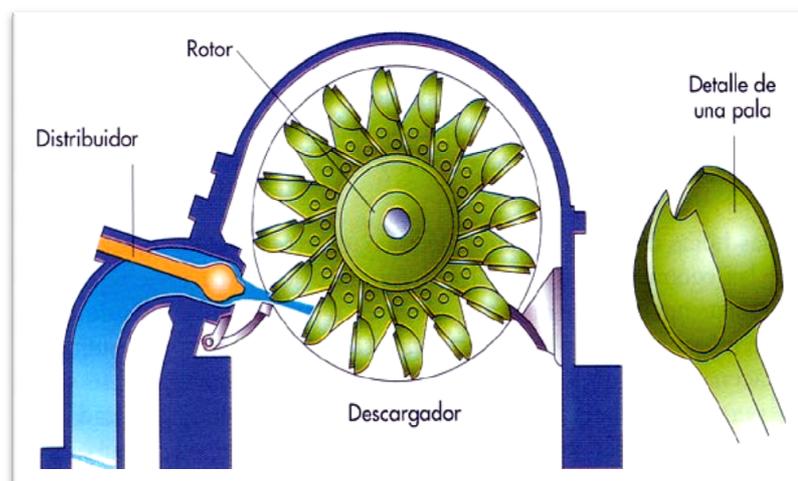
### 3.5 Turbina Pelton

#### 3.5.1 Generalidades

Una turbina Pelton es uno de los tipos más eficientes de turbina hidráulica. Es una turbomáquina motora, de flujo transversal, admisión parcial y de acción. Consiste en una rueda (rodete o rotor) dotada de cucharas en su periferia, las cuales están especialmente realizadas para convertir la energía de un chorro de agua que incide sobre las cucharas.

Las turbinas Pelton están diseñadas para explotar grandes saltos hidráulicos de bajo caudal. Las centrales hidroeléctricas dotadas de este tipo de turbina cuentan, la mayoría de las veces, con una larga tubería llamada galería de presión para transportar al fluido desde grandes alturas, a veces de hasta más de doscientos metros. Al final de la galería de presión se suministra el agua a la turbina por medio de una o varias válvulas de aguja, también llamadas inyector, los cuales tienen forma de tobera para aumentar la velocidad del flujo que incide sobre las cucharas.

Esta turbina presenta un flujo tangencial, dado que el chorro, proveniente de una tobera, incide tangencialmente al rodete, que se encuentra formado por una rueda en cuya periferia se encuentran una serie de álabes en forma de doble cuchara. Esta doble cuchara posee entre ellas una arista diametral sobre la que incide el agua produciéndose una desviación simétrica en dirección axial, con lo que se logra el equilibrio dinámico de la máquina en esa dirección.



*Figura 3.5 Turbina Pelton*

### 3.5.2 Principales elementos

**El distribuidor**, está constituido por uno o varios equipos de inyección de agua, cada uno de dichos equipos tiene como misión dirigir convenientemente un chorro de agua cilíndrico y de sección uniforme sobre el rotor, también regula el caudal preciso que ha de fluir hacia el rotor, llegando incluso a cortarlo totalmente cuando sea necesario.

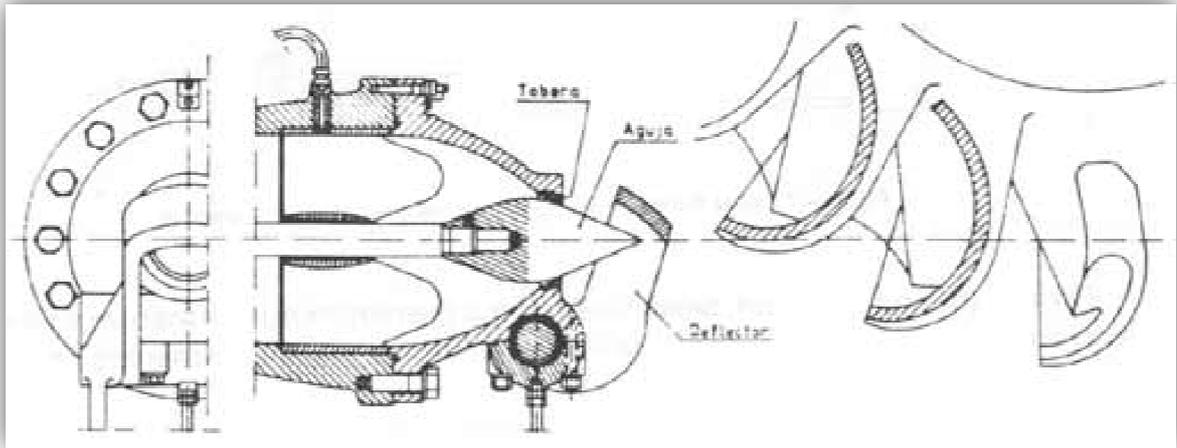
El distribuidor consta de las siguientes partes:

- Cámara de distribución
- Inyector
  - ✓ Tobera
  - ✓ Aguja
  - ✓ Deflector
- Equipo regulador de velocidad

**La cámara de distribución**, es la prolongación de la tubería forzada, acoplada a ésta por una brida de unión, entre la tubería forzada y la cámara de distribución se localiza la válvula de entrada a la turbina, también es conocida como cámara de inyectores. Tiene como misión fundamental conducir el agua hasta el inyector, igualmente sirve de soporte a los demás mecanismos que integran el distribuidor.

**El inyector**, es el elemento mecánico destinado a dirigir y regular el chorro de agua. Está compuesto por:

- **Tobera**, constituye una boquilla, con orificio de sección circular de un diámetro entre 5 y 30cm., instalada al final de la cámara de distribución. Dirige el chorro de agua, tangencialmente hacia la periferia del rotor, de tal modo que la prolongación de la tobera forma un ángulo de  $90^\circ$  con los radios de rotor



**Figura 3.6** Tobera

- **Aguja**, constituye un vástago situado concéntricamente en el interior del cuerpo de la tobera con movimiento de desplazamiento longitudinal en dos sentidos.



**Figura3.7** Aguja

- **Deflector**, es un dispositivo mecánico que, a modo de pala o pantalla, que puede ser intercalado con mayor o menor incidencia en la trayectoria del chorro de agua, entre la tobera y el rotor a fin de desviar, total o parcialmente el agua, impidiendo el embalamiento del rotor.

- **Equipo regulador de velocidad**, está constituido por un conjunto de dispositivos a base de servomecanismos, cuya función es mantener constante la velocidad de rotación.

**Rotor o rodete**, es la pieza clave donde se transforma la energía hidráulica del agua en energía mecánica, esencialmente consta de los siguientes elementos:

- **Rueda motriz**, está unida rígidamente al eje por medio de chavetas y anclajes adecuados. Su periferia está mecanizada apropiadamente para ser soporte de los cangilones.



*Figura 3.8 Rotor o rodete*

- **Cangilones**, También denominados álabes, cucharas o palas. Están diseñados para recibir el empuje directo del chorro de agua. Su forma es similar a la de una doble cuchara, con una arista interior lo más afilada posible, de modo que divide al cangilón en dos partes simétricas. Sobre esta arista donde incide el chorro de agua.

Actualmente para rotores de cualquier tamaño, los cangilones están forjados con la misma rueda, formando pieza única, lo cual permite una economía en la construcción y mayor seguridad de funcionamiento, dado el impacto inicial del agua que han de soportar en el momento del arranque, la fuerza centrífuga alcanzada en caso de embalamiento.



*Figura 3.9 Cangilones*

**La carcasa,** es la envoltura metálica que cubre los inyectores, el rotor y los otros elementos mecánicos de la turbina. Su principal objetivo es evitar que el agua salpique al exterior cuando, luego de abandonar los cangilones, en turbinas instaladas con el eje en posición vertical, la carcasa, situada horizontalmente, tiene en su periferia unos conductos de paso de aire a fin de lograr el adecuado equilibrio de presiones. En el caso de turbinas con el eje horizontal, la aireación se efectúa desde la cámara de descarga.



*Figura 3.10 Carcasa*

**La cámara de descarga,** es también conocida como tubería de descarga, es la zona por donde cae el agua libremente hacia el desagüe, después de haber movido el rotor, para evitar deterioros por la acción de los chorros de agua, y especialmente de los originados por la

intervención del deflector, la cámara de descarga suele disponer de un colchón de agua de 2 a 3 m de espesor y blindajes o placas situadas adecuadamente.

**El sistema de frenado**, consiste en un circuito de agua derivado de la cámara de distribución. El agua, proyectada a gran velocidad sobre la zona convexa de los cangilones, favorece el rápido frenado del rodete, cuando las circunstancias lo exigen

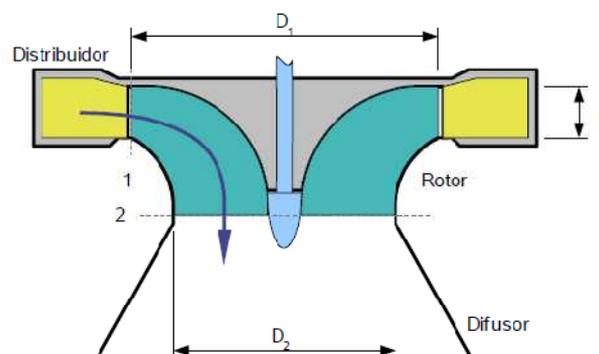
**El Eje**, está rígidamente unido al rotor y situado adecuadamente sobre cojinetes debidamente lubricados, transmite el movimiento de rotación del eje del generador, el número de cojinetes instalados así como su función, radial o radial-axial, depende de las características del grupo turbina - generador.

### 3.6 Turbina Francis

#### 3.6.1 Generalidades

La turbina Francis es una turbina de reacción de flujo diagonal, dado que el agua entra de forma radial y se acerca al eje en su recorrido a través del rotor hasta salir de forma axial, para de este modo, gracias al flujo centrípeto, conseguir un aumento de la velocidad de rotación del eje.

Las turbinas Francis son turbinas hidráulicas que se pueden diseñar para un amplio rango de saltos y caudales, siendo capaces de operar en rangos de desnivel que van de los diez metros hasta varios cientos de metros cuando se dan condiciones de caudal constante. Esto, junto con su alta eficiencia, ha hecho que este tipo de turbina sea el más ampliamente usado en el mundo, principalmente para la producción de energía eléctrica



**Figura 3.11** Turbina Francis

El agua llega a la cámara espiral, voluta o caracola, encargada de distribuir de forma uniforme el caudal por medio de un conducto circular de diámetro decreciente que envuelve al rotor describiendo una espiral y de este modo alimenta el distribuidor de forma simétrica.

En el distribuidor el agua se orienta y el caudal se regula por medio de una corona fija de álabes convergentes dispuestos en pares que se mueven de forma síncrona.



*Figura 3.12 Rotor de una turbina Francis*

Las palas del rotor están dispuestas de manera que el agua circula entre ellas. La presión del agua hace que al salir en un determinado ángulo, la reacción a la fuerza del agua haga girar el rotor.

### **3.6.2 Principales elementos**

**Caja espiral**, es un conducto alimentador de sección generalmente circular y de diámetro decreciente, que circunda al rotor procurando fluido necesario para la operación de la turbina, de acuerdo a las dimensiones de la turbina se construye de acero colado, fundición, chapa redoblada o soldada u hormigón armado.

**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 en energía cinética. El distribuidor es de álabes orientales y sirve también para producir el caudal cuando la carga de la turbina disminuye, conservando el mejor rendimiento posible, es decir reduciendo al mínimo las pérdidas hidráulicas por fricción y choque.

**Rodete**, los perfiles de los álabes son muy importantes para el buen rendimiento de la turbina, la rueda es de una sola pieza de fundición de hierro, acero, acero aleado o acero inoxidable para rodetes grandes y donde pueda existir vibración.

**Tubo de desfogue o difusor**, consta de un codo seguido de un tubo rectilíneo vertical u oblicuo, da salida al agua de la tubería y al mismo tiempo procura una ganancia en carga estática hasta el valor de la presión atmosférica. La forma acodada permite colocar el rodete móvil más próximo al nivel de aguas abajo, este es necesario para las máquinas de velocidad específicamente alta.



**Figura3.13**Corte Ecuatorial de una turbina Francis

### 3.7 Turbina Kaplan

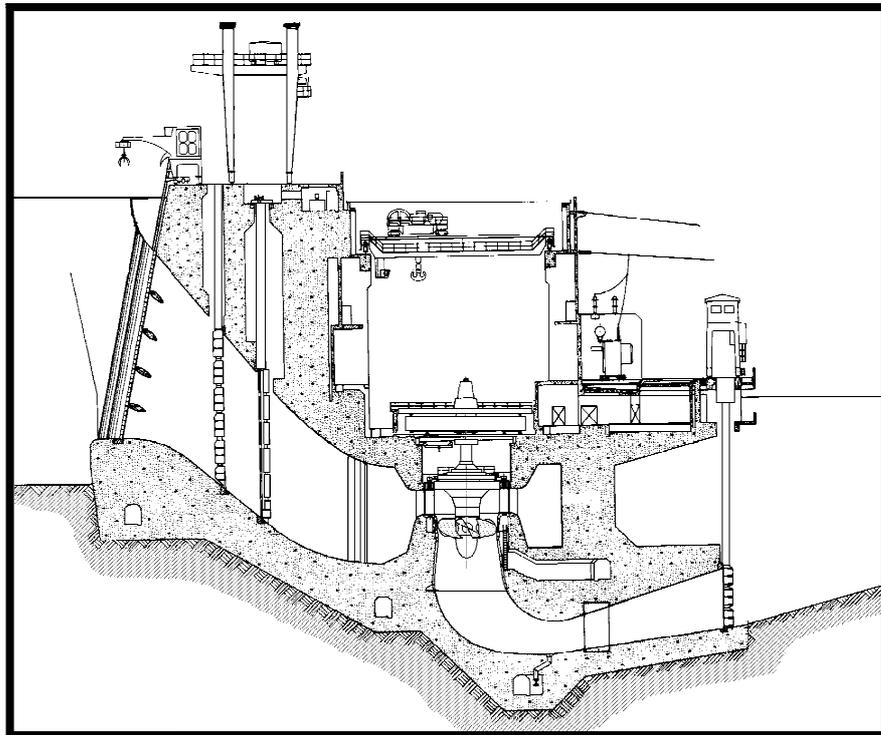
#### 3.7.1 Generalidades

La importancia de las turbinas Kaplan en pequeños saltos con grandes caudales, las hacen idóneas tanto en posición horizontal como vertical; por su similitud con las turbinas bulbo, empleadas tanto en centrales mareomotrices como en algunas mini centrales. La turbina Kaplan es un turbina de reacción y su flujo es completamente axial, es una turbina es una turbina de hélice con álabes ajustables de manera que la incidencia del agua en el borde de ataque del álabe de prueba pueda producirse en las condiciones de máxima acción, cualesquiera que sean los

requisitos de caudal o de carga se logra así mantener un rendimiento elevado a diferentes valores de la potencia.

En los casos en que el agua sólo circule en dirección axial por los elementos del rodete, tendremos las turbinas de hélice o Kaplan. Las turbinas Kaplan tienen álabes móviles para adecuarse al estado de la carga.

Estas turbinas aseguran un buen rendimiento aún con bajas velocidades de rotación.



*Figura 3.14* Sección transversal de una central hidráulica con turbina Kaplan

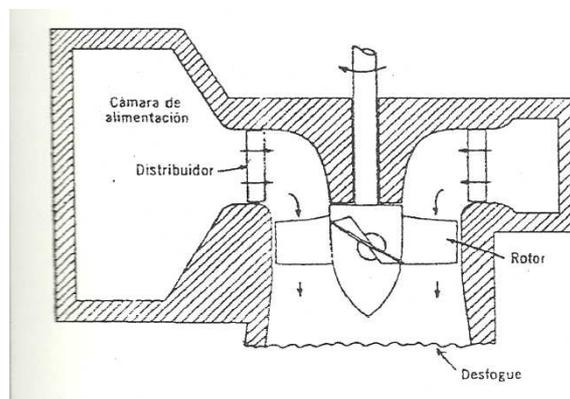
### 3.7.2 Principales elementos

**Cámara de alimentación o carcasa**, facilita la variación de la cantidad de movimiento del agua que fluye a la corona de los álabes directrices, en muchos de los casos suele ser de concreto, debido a la gran capacidad de gasto que admite.

**Distribuidor**, regula el gasto de admisión y además imprime al agua el giro necesario, en una zona de vórtices libres que precede al rotor, propiciando el ataque adecuado del agua a los álabes para una transferencia de energía eficaz. Los álabes del distribuidor se ajustan, de acuerdo a las necesidades de la potencia.

**Rotor de la turbina**, de forma de hélice, está constituido por un robusto cubo, cuyo diámetro es del orden del 40% al 50% del diámetro total al extremo de los álabes, en el cual van empotrados los álabes encargados de efectuar la transferencia de energía del agua al eje de la unidad. La robustez del cubo se justifica no solo por razones de resistencia mecánica sino también porque debe alojar en su interior el mecanismo de reglaje del paso de los alabes del rotor, los álabes del rotor tienen el perfil de ala de avión y desarrollo helicoidal. El perfil de ala permite obtener una acción útil de agua sobre el álabe en el movimiento que aquella tiene respecto a éste.

**Tubo de desfogue o difusor**, su función es recuperar la energía en virtud de su conicidad.



*Figura 3.15* Corte de una turbina Kaplan [2]

## CAPÍTULO IV

### **4 DESCRIPCIÓN DE VARIABLES A SER MEDIDAS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS PARA LA AUTOMATIZACIÓN**

#### **4.1 Introducción**

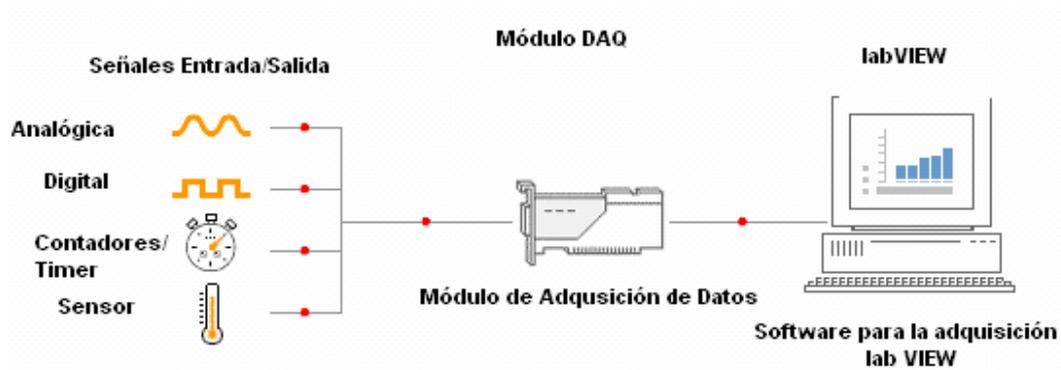
La adquisición de datos se inicia con el fenómeno físico o la propiedad física de un objeto de la investigación que se desea medir. Esta propiedad física o fenómeno podría ser el cambio de temperatura o la temperatura de una habitación, la presión dentro de una cámara, la fuerza aplicada a un objeto, o muchas otras cosas. Un eficaz sistema de adquisición de datos puede medir todas estas diferentes propiedades o fenómenos.

*Sensor* es un dispositivo que convierte una propiedad física o fenómeno en una señal eléctrica correspondiente medible, tal como tensión, corriente, el cambio en los valores de resistencia o condensador, etc. La capacidad de un sistema de adquisición de datos para medir los distintos fenómenos depende de los transductores para convertir las señales de dichos fenómenos.

*Transductores* son sinónimo de sensores en sistemas de DAQ. Hay transductores específicos para diferentes aplicaciones, como la medición de la temperatura, la presión, o flujo de fluidos.

#### **4.1.1 Adquisición de datos utilizando LabVIEW**

Adquisición de datos es el proceso de obtener o generar información de manera automatizada desde recursos de medidas analógicas y digitales como sensores y dispositivos bajo prueba. Utiliza una combinación de hardware y software basados en un computador para brindar un sistema de medida flexible y definido por el usuario.



**Figura 4.1** Esquema descriptivo de la adquisición de datos.

En la figura 4.1 se observa el esquema descriptivo del proceso de adquisición de datos, en el que se puede distinguir claramente los pasos que sigue la señal censada hasta llegar al computador. Primero, el sensor registra el fenómeno físico (presión, caudal, velocidad, etc.) que se está analizando y emite una señal de salida correspondiente ya sea analógica o digital; luego esta señal es interpretada por el módulo de adquisición que digitaliza la señal para enviarla al computador, donde se visualizan, analizan y almacenan según se requiera.

La adquisición de datos consiste en tomar un conjunto de variables físicas, convertirlas en voltajes y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en una computadora. Se requiere una etapa de acondicionamiento que adecua la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital. El elemento que realiza dicha transformación es la tarjeta o módulo de adquisición de datos.

Una vez que las señales eléctricas analógicas se convierten en digitales, se envían a través del bus de datos dentro de la memoria del computador, con lo cual se las puede procesar con un programa de aplicación adecuado al uso, que en este caso es LabVIEW.

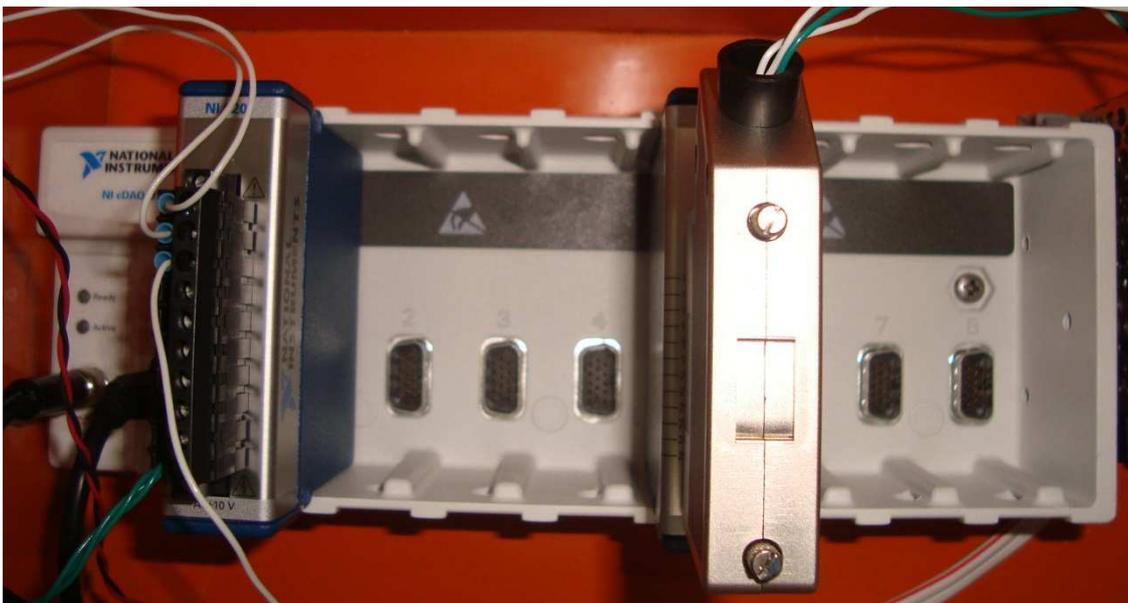
Las ventajas de un sistema típico de adquisición son: flexibilidad de procesamiento, posibilidad de realizar tareas en tiempo real o en análisis posteriores, gran capacidad de almacenamiento, rápido acceso a la información y toma de decisión, posibilidad de emular una gran cantidad de dispositivos de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

#### 4.1.2 Descripción del sistema NI compactDAQ

La manera tradicional de realizar pruebas se ve traspasada conforme a la complejidad de los dispositivos modernos y la electrónica que continúan evolucionando. Agregar nuevos dispositivos para probar cada nueva característica resulta muy lento y costoso.

NI compactDAQ está basado en software definido por el usuario, el hardware modular con la habilidad de trabajar con señales analógicas y digitales mezcladas, así como la arquitectura escalable para cambios rápidos según se modifiquen los requerimientos de prueba además proporciona las herramientas necesarias para mantenerse al tanto de las tecnologías siempre cambiantes que están siendo probadas.

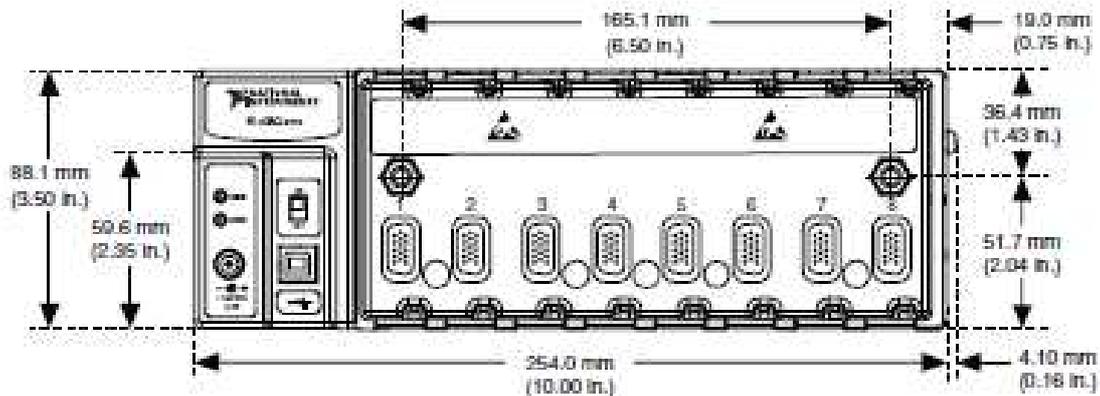
Un sistema NI compactDAQ consiste en un chasis, módulos de E/S y una computadora con windows conectada por USB o ethernet. Está diseñado para que sus componentes de hardware y software sean intercambiables. Con los mismos módulos y la aplicación de software es un sistema para pruebas rápidas de laboratorio usando puertos USB, puede también ser desplegado a través de la planta de producción usando ethernet; con las opciones de software flexible de NI, se puede fácilmente usar NI compactDAQ para leer datos en experimentos simples o para desarrollar un sistema de pruebas y control completamente automatizado.

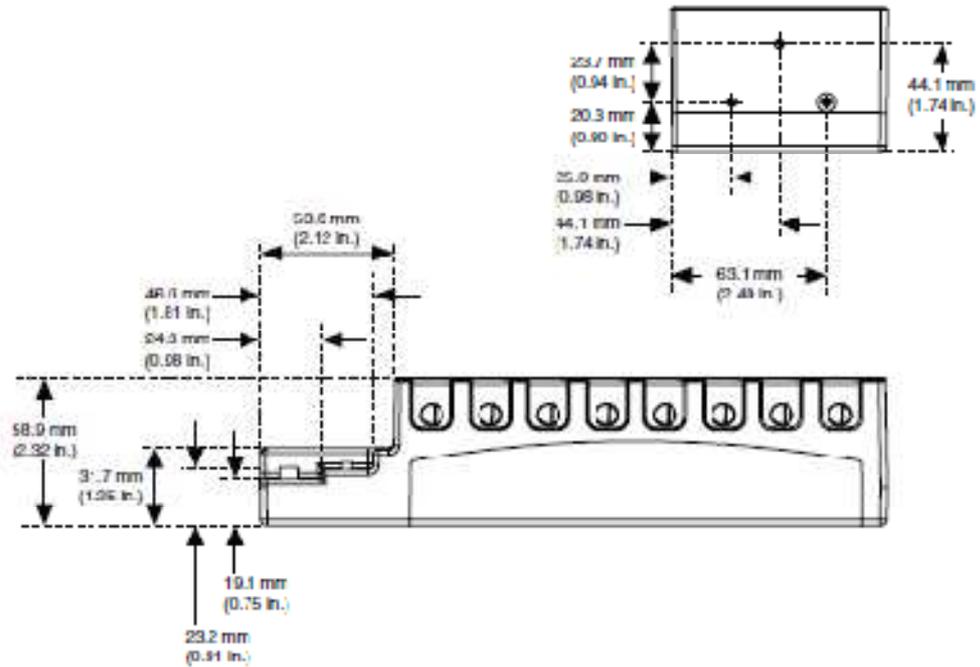


*Figura 4.2 NI compactDAQ.*

#### 4.1.2.1 Características de NI cDAQ-9172

- El NI cDAQ-9172 tiene ocho ranuras en chasis NI compactDAQ que puede albergar hasta a ocho módulos de la Serie C módulos E / S.
- El chasis opera en 11 a 30 VDC, e incluye un convertidor AC / DC. El cDAQ NI-9172 es un dispositivo compatible con USB 2.0. con opciones de montaje como en carril DIN, montaje en panel.
- El cDAQ NI-9172 tiene dos contador de 32 bits / fichas temporizador integrado en el chasis. Con una correlación digital módulo E / S instalado en la ranura 5 o 6 del chasis, puede acceder a toda la funcionalidad del chip de contador / temporizador incluyendo conteo de eventos, generación de pulso de onda o la medición, y los codificadores de cuadratura.



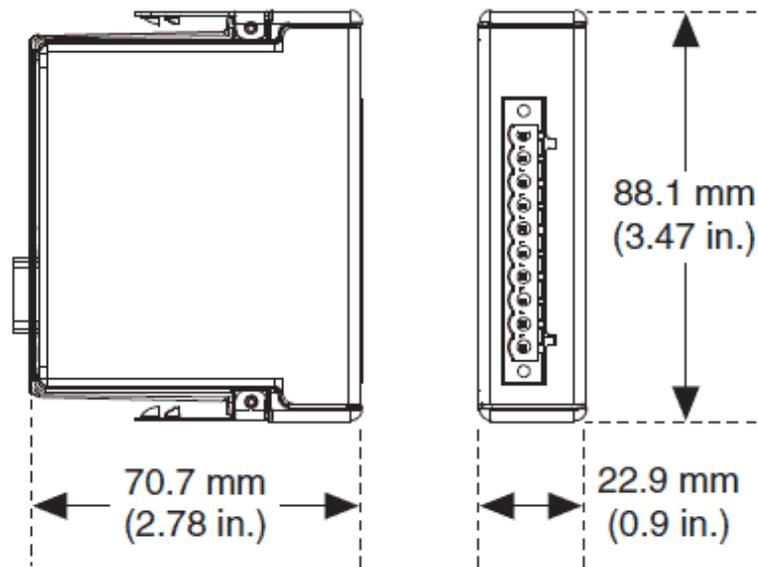


*Figura 4.3 NI cDAQ-9172 con dimensiones en milímetros y pulgadas.*

#### **4.1.2.2 Serie C módulos de E / S**

Los NI módulos de la serie C combinan convertidores A/D, de acondicionamiento de señal, y la conectividad de la señal en un solo paquete para la medida o la generación de uno o más tipos específicos de la señal. La serie C de módulos E/S son intercambiables en caliente y detecta automáticamente el chasis NI compactDAQ. Canales I/O se pueden acceder utilizando el software controlador NI-cDAQ.

Debido a que los módulos contienen acondicionamiento de señal para rangos de voltaje extendidos o tipos de señales industriales, normalmente se hacen conexiones de cableado directamente de los módulos I/O para los sensores/actuadores. Para la mayoría de estos módulos E/S proporcionan el aislamiento de la tierra del canal a tierra.



**Figura 4.4** Serie C de E / S del módulo, frontal y vista lateral con dimensiones.

Los módulos se combinan de acondicionamiento de señal, la conectividad, y adquisición de datos en un pequeño módulo para cada tipo de medida específica.

#### 4.1.3 NI 9201

El NI 9201 es un módulo de la Serie C para entrada analógica de 8 canales a un máximo de velocidad acumulada de 500 kS/s, 12 Bits y  $\pm 10$  V. Como con la mayoría de estos módulos, el NI 9201 está protegido contra picos de voltaje perjudiciales por hasta 2,300 Vrms. Esto significa que ningún voltaje dentro del rango de aislamiento puede dañar otros módulos en el sistema, el chasis o cualquier equipo de cómputo conectado. Además de la protección absoluta que brinda el aislamiento, existe protección de sobre voltaje de hasta 100 V para conexión errada de señal o salidas inesperadas a los canales individuales.

##### **Características del NI 9201**

- 8 entradas analógicas, rango de entrada  $\pm 10$  V Rango acumulado de muestro de 500 kS/s.
- Resolución de 12 bits, entradas de una sola terminal, terminal de tornillo o conectores D-Sub.
- Operación intercambiable en vivo; protección de sobre voltaje; aislamiento.
- Certificados de calibración trazable expedidos por el NIST.

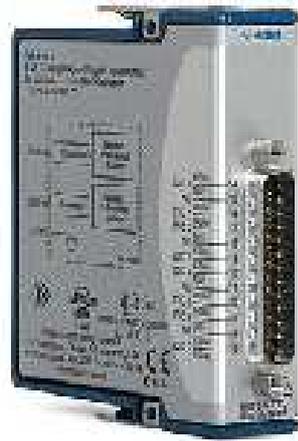
- Rango de operación de -40 a 70 °C



*Figura 4.5. Módulo NI 9201*

#### **4.1.4 NI 9401**

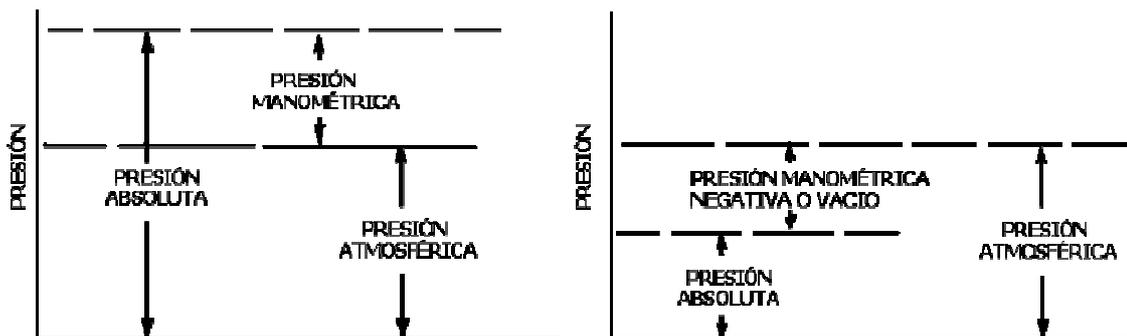
El NI 9401 de National Instruments es un módulo bidireccional de entrada digital de 8 canales a 100 ns para cualquier chasis NI compactDAQ o compactRIO, se puede configurar la dirección de las líneas digitales en el NI 9401 para entrada o salida de (4 bits). De esta manera, se puede programar el NI 9401 para tres configuraciones - ocho entradas digitales, ocho salidas digitales o cuatro entradas digitales y cuatro salidas digitales. Con la tecnología de E/S reconfigurables (RIO) se puede usar LabVIEW FPGA (en compactRIO únicamente) para programar el NI 9401 para implementar, a la medida, contadores/temporizadores de alta velocidad, protocolos de comunicación digital, generación de pulso y mucho más. Cada canal es compatible con señales de 5 V/TTL y ofrece aislamiento transitorio de 1,000 Vrms entre los canales de E/S y el plano trasero.



*Figura 4.6 Módulo NI 9401*

## 4.2 Medición de presión

**Presión**, se define como fuerza ejercida sobre una superficie por unidad de área. En ingeniería, el término presión se restringe generalmente a la fuerza ejercida por un fluido por unidad de área de la superficie que lo encierra. De esta manera, la presión (P) de una fuerza (F) distribuida sobre un área (A), se define como:



*Figura 4.7 Tipos de presión*

### 4.2.1 Instrumentos para medición de la presión

En los diferentes bancos de pruebas actualmente se encuentran instalados instrumentos mecánicos con los cuales se mide la presión; para cumplir con los objetivos de este proyecto es necesario instalar de instrumentos electromecánicos como transductores de presión.

#### **a. Instrumentos mecánicos**

Los instrumentos mecánicos utilizados para medir presión pueden clasificarse en:

- *Columnas de líquido:*
  - ✓ Manómetro de presión absoluta.
  - ✓ Manómetro de tubo en U.
  - ✓ Manómetro de pozo.
  - ✓ Manómetro de tubo inclinado.
  
- *Instrumentos elásticos:*
  - ✓ Tubos bourdon.
  - ✓ Fuelles.
  - ✓ Diafragmas.

#### **b. Instrumentos electromecánicos y electrónicos**

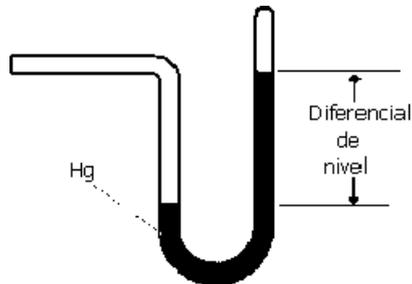
Los instrumentos electromecánicos y electrónicos utilizados para medir presión pueden clasificar en:

- ✓ Medidores de esfuerzo (strain gages)
- ✓ Transductores de presión resistivos
- ✓ Transductores de presión capacitivos
- ✓ Transductores de presión magnéticos
- ✓ Transductores de presión piezoeléctricos

#### **4.2.1.1 Instrumentos mecánicos**

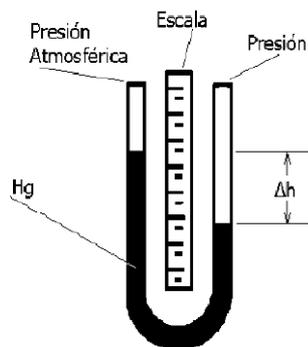
➤ **Columnas de líquido**

**Manómetro para medición de presión absoluta:** es simplemente un tubo en "U" que tiene un extremo sellado y al vacío y el otro extremo abierto a la presión absoluta que se va a medir.



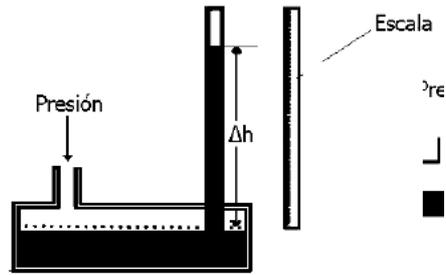
*Figura 4.8 Manómetro de presión absoluta.*

**Manómetro de tubo en "U":** se utiliza para medir presión diferencial. Consiste en un tubo en forma de "U" lleno de líquido. En cada una de las ramas del tubo se aplica una presión. La diferencia de altura del líquido en las dos ramas es proporcional a la diferencia de presiones. Un esquema característico puede verse en la figura.



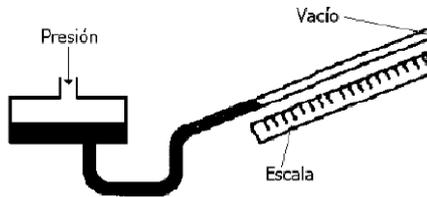
*Figura 4.9 Manómetro en U.*

**Manómetro de pozo:** en este tipo de manómetro una de las columnas del tubo en "U" ha sido sustituida por un reservorio o pozo de gran diámetro, de forma tal que la presión diferencial es indicada únicamente por la altura del líquido en la rama no eliminada del tubo "U".



*Figura 4.10 Manómetro de Pozo.*

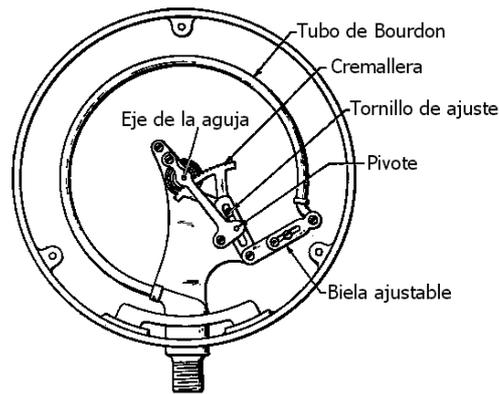
**Manómetro de tubo inclinado:** se utiliza para mediciones de presiones diferenciales pequeñas. En este tipo de manómetro, la rama del tubo de menor diámetro está inclinada con el objeto de obtener una escala mayor, ya que en este caso  $h = L \text{ sen } \varnothing$ .



*Figura 4.11 Manómetro de tubo inclinado.*

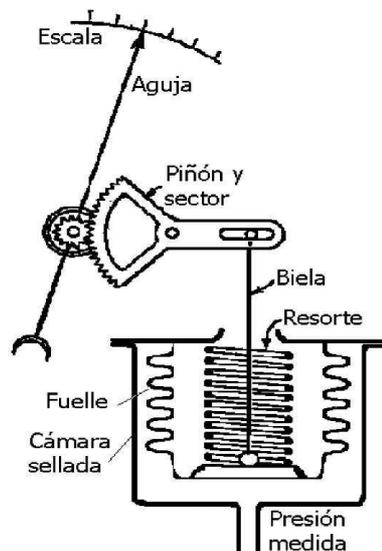
#### 4.2.1.2 Instrumentos elásticos

**Tubos bourdon:** Funcionan bajo el siguiente principio mecánico: un tubo enrollado, cerrado por un extremo, tiende a enderezarse cuando por el otro extremo del tubo se le aplica un gas o líquido bajo presión. Cuando el enrollado "Coil" se diserta correctamente y el material utilizado también es el correcto, la deformación que sufre el tubo, debido a la presión aplicada, es altamente repetitiva, pudiendo el sensor ser calibrado para producir precisiones. Tal como se muestra en la figura, el movimiento del extremo libre del tubo Bourdon se convierte, por medio de engranajes y eslabones, en un movimiento proporcional de una aguja o una plumilla del indicador o registrador.



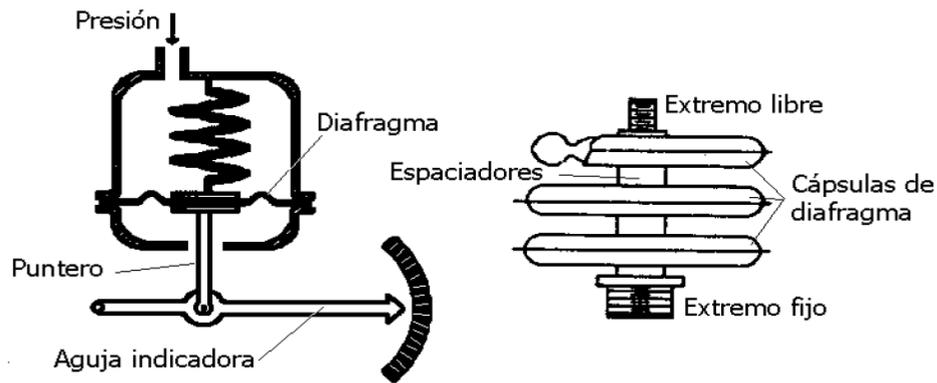
**Figura 4.12** Manómetro elástico “Tubo bourdon”

**Fuelles:** Un fuelle puede definirse como un tubo flexible, el cual cambia su longitud de acuerdo a la presión aplicada. Este cambio de longitud es mucho mayor que el que se obtendría si se utilizara un tubo bourdon de las mismas características. En muchas aplicaciones el fuelle se expande muy poco, pero la fuerza que produce es significativa. Esta técnica se emplea frecuentemente en mecanismos de balance de fuerzas.



**Figura 4.13** Manómetro de tiro del tipo de fuelle.

**Diafragmas:** El principio de operación es similar al de los fuelles, pero su construcción es diferente. El diafragma es un disco flexible generalmente con corrugaciones concéntricas, tal como se muestra en la figura.



*Figura 4.14 Diafragmas*

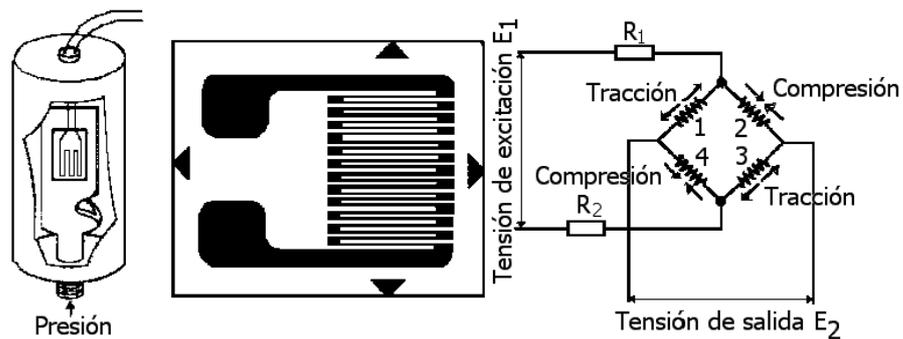
#### **4.2.1.3 Instrumentos electrónicos**

Una desventaja común que presentan los instrumentos mecánicos, es el método utilizado para transmitir el movimiento del elemento de medición de presión a un indicador, tal como un puntero o una plumilla. Un eslabón mecánico, sufre de desgaste, tiene un alto grado de histéresis, lo cual limita la precisión, velocidad de respuesta y repetitividad de la medición. Los avances en la tecnología electrónica han dado la respuesta a este problema, sensando electrónicamente el movimiento del elemento de medición de presión. El resultado de esto es: respuesta mucho más rápida, menor desgaste e histéresis, mejor compensación de la temperatura, y una salida, la cual es una señal eléctrica proporcional al movimiento del elemento de presión. Esta señal puede ser aplicada y condicionada luego para que reúna los requerimientos del sistema de control.

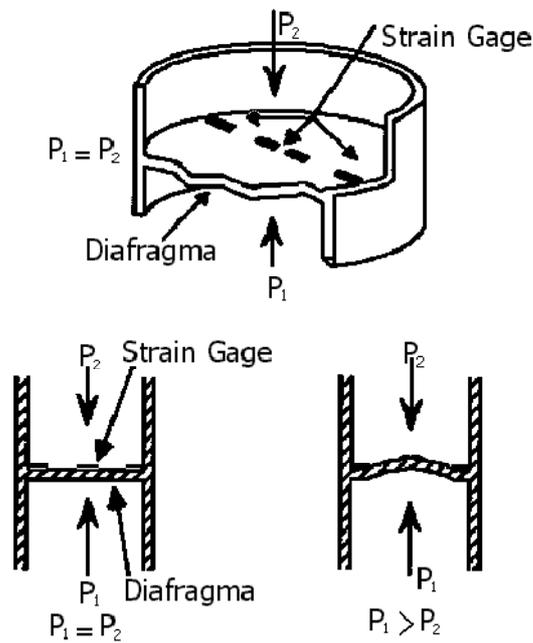
La mayoría de los instrumentos electromagnéticos de presión, incorporan uno de los instrumentos primarios de medición de presión discutidos previamente (instrumentos elásticos). El hecho de que la energía del proceso sea transformada en una señal eléctrica, a partir de un movimiento mecánico, hace que a estos instrumentos se les dé el nombre de “*Transductores*”.

**Transductor de presión**, convierte la presión en una señal eléctrica analógica. Aunque hay varios tipos de transductores de presión, una de las más comunes se encuentra el transductor base Strain-Gage.

**Strain gage (galgas extensiométricas);** es un mecanismo que utiliza el cambio de la resistencia eléctrica de un alambre o elemento semiconductor de resistencia, sometido a esfuerzo, para medir presión. El strain gage cambia un movimiento mecánico en una señal eléctrica cuando la resistencia varía por compresión o tensión. El cambio en la resistencia es una medida de la presión que produce la distorsión mecánica. La figura 4.15 ilustra el principio de operación de un strain gage.



(a)



(b)

**Figura 4.15** Principio de operación de un sensor con strain gage.

➤ **Características de los transductores de presión salida tipo cable**

**Transductor de presión de la serie PX302**

El transductor de presión requiere una excitación de 10 Vdc (5 a 15 Vdc limits), con una salida de voltaje de 0 a 100mV, opera a temperaturas de -18 a 71°C y pesa 131g.



*Figura 4.16* Transductor de presión.

**Transductor de presión de la serie PX309**

El transductor de presión requiere una excitación de 5 Vdc en un límite de (5 a 12 Vdc), con una salida de voltaje de 0 a 100mV, exceptuando 2psi=40mV y 1psi=20mV, opera a temperaturas de 0 a 50°C.



*Figura 4.17* Transductor de presión de 100psi instalado en la entrada de turbina Kaplan.

### **Transductor de presión diferencial PX409-001DWU5V**

El transductor de presión diferencial mide de (0 a 1psi) requiere una excitación de 10 Vdc en un límite de (10 a 30 Vdc), con una salida de voltaje de 0 a 5Vdc.



*Figura 4.18* Transductor de presión diferencial de 0 a 1 psi instalado en las tomas de la placa orificio (turbina Kaplan).

### **Transductor de presión vacuométrica PX209-30V15G5V y PX209-30VAC5V**

El transductor de presión vacuométrica PX209-30V15G5V es un transductor de rango compuesto mide de (-14.7 a 15)psi requiere una excitación de 10 Vdc, con una salida de voltaje de 0 a 5Vdc, pesa 128g, opera a temperaturas de -20 a 80°C.

El transductor de presión vacuométrica PX209-30VAC5V es un transductor de rango compuesto mide de (-14.7 a 0)psi requiere una excitación de 10 Vdc, con una salida de voltaje de 0 a 5Vdc, pesa 128g, opera a temperaturas de -20 a 80°C.



*Figura 4.19* Transductor de presión (vacuómetro).

### 4.3 Medición de flujo

La medición de flujo es uno de los aspectos más importantes en el control de procesos; de hecho, bien puede ser la variable más comúnmente medida. Existen muchos métodos confiables y precisos para medir flujo. Algunos son aplicables solamente a líquidos, otros solamente a gases y vapores; y otros a ambos. El fluido puede ser limpio o “sucio”, seco o húmedo, erosivo o corrosivo. Las condiciones del proceso tales como presión, temperatura, densidad, viscosidad, etc., pueden variar. Todos estos factores afectan la medición y deben ser tomados en cuenta en el momento de seleccionar un medidor de flujo.

**Caudal  $Q$** , Es el volumen de fluido por unidad de tiempo que pasa a través de una sección transversal a la corriente. Así por ejemplo en una tubería de agua los litros por hora que circulan a través de un plano transversal a la tubería.

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = A * V$$

Donde:  $Q$ = caudal

$A$ =área

$V$ =velocidad

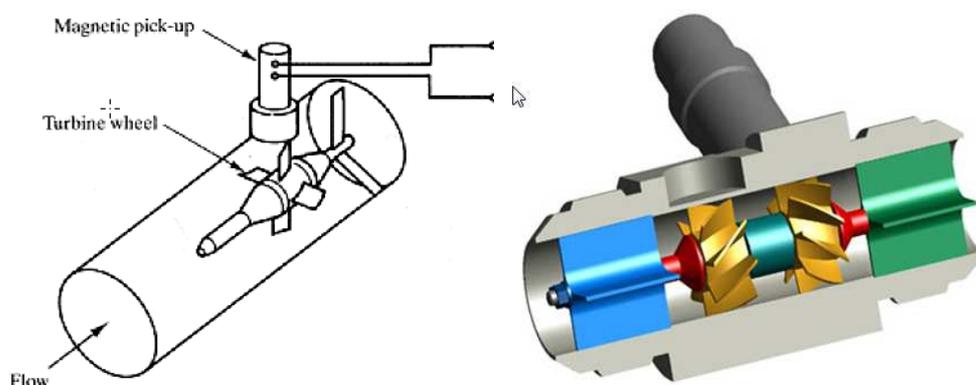
$t$ = tiempo

De acuerdo al principio de operación, los medidores de flujo pueden ser agrupados de la siguiente manera:

- ✓ Medidores diferenciales (head meters).
- ✓ Medidores de desplazamiento positivo.
- ✓ Medidores de área variable.
- ✓ Medidores volumétricos.
- ✓ Medidores de flujo másico.

#### 4.3.1 Medidores volumétricos

**Medidores tipo turbina,** Está constituido por un rotor con aspas o hélices instalado dentro de un tramo recto de tubería, axialmente en la dirección del flujo, tal como se muestra en la figura 3.19. El rotor generalmente está soportado por cojinetes para reducir la fricción mecánica y alargar la vida de las partes móviles. A medida que el fluido pasa a través del tubo, el rotor gira a una velocidad proporcional a la velocidad del fluido. En la mayoría de los medidores, un dispositivo de bobina magnética, colocado fuera de la tubería, detecta la rotación de las aspas del rotor. A medida que cada aspa del rotor pasa por la bobina, se genera un pulso de voltaje en la bobina. El número total de pulsos es proporcional a la cantidad total de fluido que pasa a través del rotor, mientras que la frecuencia de los pulsos es proporcional a la tasa de flujo. En la figura 3.20 se aprecia un medidor de doble turbina axial que tiene como ventaja frente a los uniaxiales una mucha mayor precisión debido a que los cambios de temperatura y por tanto de viscosidad del fluido no afectan tanto a la medición, pudiendo alcanzar una precisión absoluta de  $\pm 0,10\%$  sobre la medida tomada.



**Figura 4.20** Medidor de una sola turbina **Figura 4.21** Medidor de doble turbina axial

**Medidores tipo paleta,** El sensor funciona con un simple pero preciso principio electromecánico basado en la medición de la velocidad y el volumen del flujo en la tubería. Consta de cuatro imanes permanentes incrustados en las palas del rotor y una bobina en el cuerpo del sensor. A medida que el flujo de líquido hace que el rotor se mueva, una señal de onda senoidal se produce directamente proporcional a la velocidad de flujo.

Este tipo de medidor se parece a los de turbina pero al contrario que estos el elemento de medición, las paletas, no está introducido por completo dentro del fluido sino que esta solo parte de él, una paleta, en contacto con el flujo.



*Figura 4.22 Sensor de flujo tipo paleta.*

➤ **Características del sensor de flujo tipo paleta**

**Sensor de flujo tipo paleta FP-5300 y FP-5600**

**Sensor FP-5300** Este tipo de sensor trabaja con un simple pero preciso principio electromecánico basado en la toma de muestras y volumen de fluido que pasa por la tubería. Cuatro imanes permanentes, incrustados en las palas del rotor, gira más allá de una bobina en el cuerpo del sensor. A medida que el flujo de líquido hace que el rotor se mueva, una señal de onda sinusoidal se produce, directamente proporcional a la velocidad de flujo.

El sensor funciona a una máxima presión de 180 psig y a una temperatura mínima de 0°C y una máxima de 20°C.



*Figura 4.23* Sensor de flujo FP-5300.

**Sensor FP-5600** Es un sensor de poco flujo pero alta resolución su poco poder es ideal para cuantificar el fluido en tuberías con velocidad extremadamente baja. Utilizando la inserción de la tecnología del sensor tipo paleta estos sensores son fáciles de instalar y mantener.

El sensor trabaja a una presión máxima de 180psi y una máxima temperatura de 20°C, requiere un alimentación de 3.3 a 24 Vdc.



*Figura 4.24* Sensor de flujo tipo paleta FP-5600.

#### 4.4 Medición de velocidad

**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  $\omega$ . Su unidad en el Sistema Internacional es el radián por segundo (rad/s).

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

Donde:  $\Delta\theta$  = Variación del ángulo

$\Delta t$  = Variación del tiempo

**Lámpara estroboscópica**; es un instrumento que permite visualizar un objeto que está girando como si estuviera inmóvil o girando muy lentamente. Este principio es usado para el estudio de objetos en rotación o vibración, como las partes de máquinas y las cuerdas vibratorias. Si tenemos un objeto que está girando a  $N$  revoluciones por minuto y regulamos la frecuencia del estroboscopio a  $N$  destellos por minuto e iluminamos con él el objeto giratorio, éste, al ser iluminado siempre en la misma posición, aparecerá a la vista como inmóvil. Una luz de estroboscopio regulada en el período apropiado puede aparentar congelar el movimiento cíclico. Si la frecuencia de los destellos no coincide exactamente con la de giro, pero se aproxima mucho a ella, veremos el objeto moverse lentamente, hacia adelante o hacia atrás según que la frecuencia de destello del estroboscopio sea, respectivamente, inferior o superior a la de giro.



*Figura 4.25 Lámpara estroboscópica*

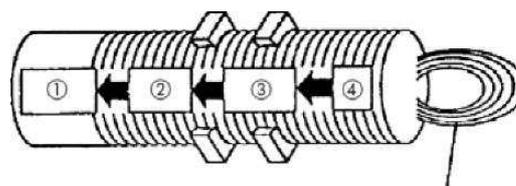
**Tacómetro**, es un dispositivo que mide la velocidad de giro de un eje, normalmente la velocidad de giro de un motor. Se mide en revoluciones por minuto (RPM).



*Figura 4.26 Tacómetro Turbina Pelton*

### **3.4.1 Sensor de proximidad**

**Sensores inductivos;** En general, los sensores de proximidad inductivos, se componen de cuatro elementos básicos: la bobina, un oscilador, un circuito de disparo, y un circuito de conmutación de salida, protegido contra corto-circuitos. El oscilador, genera un campo electromagnético de alta frecuencia, el cual será emitido por la bobina, radiando desde la superficie de la zona sensitiva. Al penetrar un objeto metálico en éste campo electromagnético, se producen unas corrientes parásitas, que absorben energía, tanto del campo electromagnético, como del oscilador. Esta absorción de energía, llamada atenuación, se incrementa al acercarse el objeto metálico a la superficie sensible. El circuito de disparo activa el circuito de salida, al excederse un determinado valor de atenuación. En los detectores de proximidad de DC (CC), el circuito de salida puede ser un transistor NPN, que conectará una carga al polo negativo, o también puede ser un transistor PNP que conecta la carga al polo positivo. En las unidades previstas para AC (CA) un thyristor o un triac suelen ser los que efectúan la conmutación.



*Figura 4.27 Sensor de proximidad inductivo.*

- 1) Parte final del detector
- 2) Conmutador de umbral
- 3) Oscilador
- 4) Bobina

#### ➤ Características del sensor de proximidad

Este sensor puede detectar la señal desde una distancia de 2 a 8mm la cual se corta cuando las muescas que se han dejado pasan por donde se encuentra el sensor. Requiere una alimentación de mínima de 12Vdc y una máxima de 24Vdc, con una frecuencia máxima de cambio de hasta 1000Hz, sus dimensiones son 97 x 132 x 42 mm y pesa 124g.



*Figura 4.28* Sensor de proximidad instalado en el banco de pruebas de la bomba centrífuga.

#### 4.5 Medición de fuerza

**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.

$$F = m * a$$

$$F = m * g$$

Donde:  $F = \text{Fuerza}$

$m = \text{masa}$

$a = \text{aceleración}$

$g = \text{gravedad}$

#### 4.5.1 Celda de carga

Una celda de carga es un transductor que convierte la fuerza o peso en una salida eléctrica cuantificable (señal eléctrica analógica). Un detector de deformación es un dispositivo que cambia su resistencia cuando está fatigado (esforzado). Esta conversión se logra por la deformación física de los calibradores de tensión que están unidos en el haz de la celda de carga y por cable en una configuración de puente de Wheatstone.

Los múltiples detectores de deformación son conectados para crear la configuración el puente de Wheatstone de cuatro piernas. Cuando una entrada de tensión eléctrica (voltaje) es aplicada al puente, la salida se convierte en un voltaje proporcional a la fuerza sobre la celda.



*Figura 4.29 Celda de carga omega*

#### **4.5.2 Cámara unibrain fire-i 1394**

Esta cámara se emplea para la adquisición de datos, es una Cámara digital Unibrain Fire-i, posee una resolución de 640x480 y una adquisición de imágenes de 30fps.

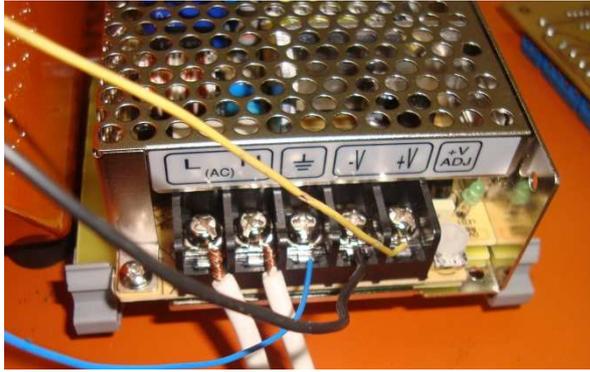


*Figura 4.30* Cámara digital unibrain fire-i 1394.

- Posee un lente antirreflejo de cristal con alta calidad de Brillo y elementos con recubrimiento de infrarrojos. Distancia de enfoque: 1 cm hasta el infinito.
- Built-in el procesamiento de imágenes de una calidad de imagen óptima.
- Balance de blancos: en el control automático o manual.
- Captura de fotogramas estáticos y sin comprimir / flujo de vídeo comprimido.

#### **4.6 Fuente de alimentación**

Es un circuito o dispositivo eléctrico activo que provee una diferencia de potencial o una corriente de manera confiable para que otros circuitos puedan funcionar. La fuente de alimentación se encarga de convertir la tensión alterna de la red industrial en una tensión casi continua. Para esto consta de un rectificador, fusibles y otros componentes que le permiten recibir la electricidad, regularla, filtrarla y adaptarla a las necesidades de Los sensores.

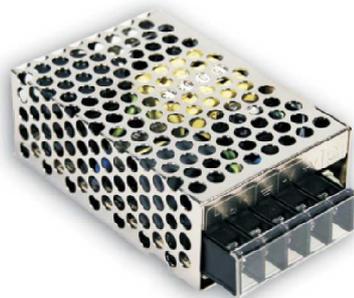


*Figura 4.31 Fuente de alimentación*

➤ **Características de la fuente de alimentación**

**Fuente de alimentación RS-25-5**

Posee una salida de voltaje de 5 voltios de corriente continua, con un rango de corriente de 0 a 5 A aproximadamente soporta un tiempo de 14ms en 115VAC a plena carga y un sobre voltaje de 5.75 a 6.75 voltios, tiene una eficiencia del 78.5%, trabaja a una temperatura de (-20 a 70°C).



*Figura 4.32 Fuente de alimentación RS-25-5*

### **Fuente de alimentación RS-35-12**

Posee una salida de voltaje de 12 voltios de corriente continua, con un rango de corriente de 0 a 3 A aproximadamente soporta un tiempo de 30ms en 115VAC a plena carga y un sobre voltaje de 13.18 a 16.2voltios, tiene una eficiencia del 81%, trabaja a una temperatura de (-25 a 70°C).



*Figura 4.33 Fuente de voltaje RS-35-12*

### **Interruptor de alimentación SP-24 AL**

Posee una salida de voltaje de 24Vdc, es ajustable el potenciómetro en un rango de 5 al 10% proporcionando una salida de más de 24Vdc, una salida de corriente de 1.5A y una eficiencia del 75%, con unas dimensiones de 71X106X65mm.



*Figura 4.34 Interruptor de Alimentación SP-24 AL.*

## CAPÍTULO V

### 5 MONTAJE DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS EN LOS BANCOS DE PRUEBAS

#### 5.1 Características de los bancos de pruebas

A continuación se describen los datos técnicos y de funcionamiento de los bancos de pruebas.

##### 5.1.1 Bomba reciprocante

###### 5.1.1.1 Datos técnicos

###### **Bomba**

Tipo de bomba	Doble Acción
Carrera (S)	1,625 pulg. (41,3 mm)
Diámetro de cilindro (DP)	1,75 pulg ( 44,5 mm)
Diámetro del eje del pistón	11,1 mm
Velocidad máxima	240 rpm
Cabeza máxima	53,4 m
Caudal máximo	22, 8 l/s
Diámetro de la succión y descarga	1 pulg. (25,4 mm)

###### **Motor**

Tipo	Velocidad variable Shunt
Rango de velocidad	0 - 1400 rpm
Potencia	0,75 HP
Longitud del brazo porta pesas	0,20 m
Relación de transmisión	5.14

###### 5.1.1.2 Descripción general del banco de pruebas antes de la automatización

El banco de pruebas de la bomba reciprocante consta de las siguientes partes:

1. Consta de una bomba reciprocante completa de doble acción con banco de montaje, mecanismo de biela – manivela, válvulas, cámara de aire y visor
2. Un motor de velocidad variable con brazo para medir el torque.
3. Panel de control del motor con un rectificador transformador incorporado, provisto de una regulación uniforme de la velocidad.
4. Una banda dentada de alta eficiencia entre el motor y la bomba cubierta con una fuerte protección de acero.
5. Una válvula de compuerta de presión situada en la descarga de la bomba con un indicador visible de flujo.
6. Un conjunto de tubos para succión y descarga, incluyendo las válvulas de control, empaques y acoples.
7. Un manómetro y un vacuómetro tipo bourdon para medir la presión de descarga y succión de la bomba respectivamente.
8. Un tanque volumétrico para medir el flujo, además con desviador de flujo, rebosadero de emergencia y medidor de nivel.
9. Un tanque de reservorio de PVC.



*Figura 5.1 Fotografía del banco de pruebas de la bomba reciprocante antes de la automatización.*

### **5.1.2 Bomba centrífuga**

### **5.1.2.1 Datos técnicos**

#### **Bomba**

Tipo de bomba	Impulsor centrífugo abierto
Diámetro exterior del impulsor	127mm standard
Número de alabes	6
Tipo de alabes	Curvados hacia atrás
Capacidad del tanque sumidero	420 litros
Capacidad del tanque volumétrico	140 litros

#### **Motor**

Tipo de motor	Shunt
Potencia	21 HP
Amperaje	9.3 A
Corriente	directa
Velocidad del eje	variable de 0 a 3000 rpm
Capacidad	1,6 Kw a 2900 rpm
Fuente eléctrica	110 v /monofásico / 50 - 60 Hz
Radio del brazo de torque	204

### **5.1.2.2 Descripción general del banco de pruebas antes de la automatización**

La bomba es impulsada por medio de un motor de C.D. Con capacidad de velocidad variable, logrado por una regulación de campo shunt. El motor, conjuntamente con su controlador, permite que la velocidad de la bomba sea variada gradualmente entre 0 y 3000 rpm.

La incorporación de un impulsor abierto y un plato visor acrílico transparente, permiten al estudiante examinar las aletas del impulsor sin recurrir al desmontaje de la bomba.

Cuatro tomas de presión están conectadas a diferentes radios en el plato visor del impulsor de modo que podemos determinar el incremento de presión a lo largo del perfil del álabe.

Se pueden reemplazar con impulsores alternativos de diámetros y geometría de los perfiles variables para usar en estudios comparativos más avanzados.

Los tanques de agua son construidos de fibra de vidrio con plástico reforzado (G.R.P.) y por lo tanto resistentes a la corrosión. Sin embargo el cuerpo de la bomba y el impulsor son de hierro fundido, por eso es recomendado utilizar un anticorrosivo (por ejemplo D-23) en el agua cuando el equipo es llenado.

El tanque sumidero está provisto de una llave de drenaje y sobre éste está montado un tanque volumétrico el cual tiene el indicador de nivel y una escala. Una válvula de compuerta sirve de drenaje de emergencia ante un sobre flujo.

También se incluye un divisor que es operado manualmente de modo que el agua de descarga por la bomba puede volver directamente al sumidero o al tanque de medición si se requiere.

Para tomar las medidas de flujo era necesario usar un cronómetro, en este sistema de debe tomar medidas de nivel con el agua quieta para aumentar la exactitud de las mismas.

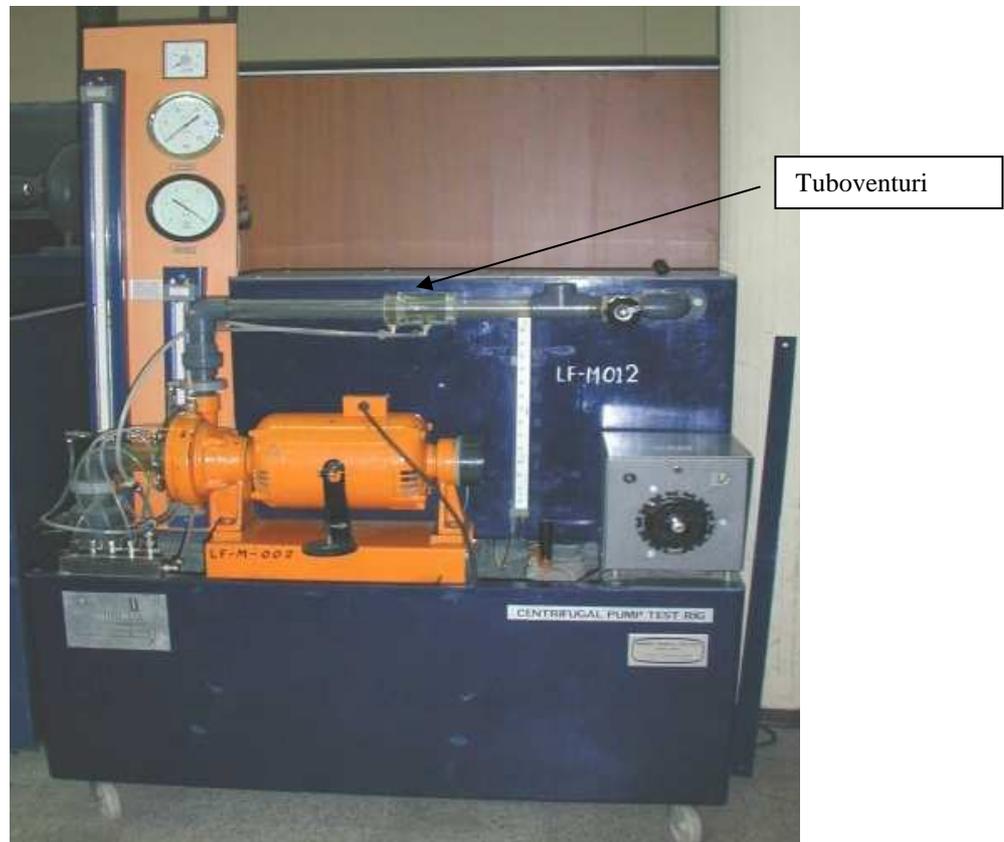
La tubería de succión de la bomba está fabricada de PVC reforzado que incluye tomas de presión En la Tubería de descarga tenemos un válvula tipo compuerta, medidores de presión y sus respectivas válvulas que permiten tomar lecturas de presión.

Se contaba también con un manómetro diferencial y un venturi de perspex, el cual fue diseñado para que se instale en la tubería de descarga de la bomba el cual tiene un diámetro nominal de 1 ½” y un diámetro de garganta de 1.28”, Este operaba conjuntamente con un manómetro diferencial de mercurio, el cual se conecta por medio de mangueras. El venturi permite medir caudales sobre los 60 galones por minuto (5 litros por segundo), después de que se ha calibrado el instrumento.

El equipo dispone de un manómetro diferencial de mercurio de 1 m el cual permite que se determine las cabezas desarrolladas por la bomba sobre los 30 pies.

Antes de conectar el suministro eléctrico, debe asegurarse que el motor y el regular del motor sean compatibles con el suministro disponible.

La bomba es cebada por medio de un bulbo succionador de caucho manual, conectado a una válvula de cierre rápido situada sobre la carcasa de la voluta.



*Figura 5.2* Fotografía del banco de pruebas de la bomba centrífuga antes de la automatización.

### 5.1.3 Bomba axial

#### 5.1.3.1 Datos técnicos

**Bomba**

Tipo de bomba	Axial
Diámetro de succión	11 pulg. ( 279.4 mm)
Diámetro de descarga	14 pulg. (355.6 mm)

### **Motor**

Tipo de motor	Trifásico
Potencia	22/15 Kw
Velocidad	1740/ 1145 rpm
Longitud del brazo porta pesas	0.365 m

#### **5.1.3.2 Descripción general del banco de pruebas antes de la automatización**

La bomba axial es una turbomáquina que permite la transferencia de energía del rotor al líquido mientras éste pasa a través de los álabes en dirección axial. Gracias a que el impulsor tiene la forma de hélice de 2 a 6 aspas, por lo que estas bombas se llaman también de hélice

Las bombas axiales ayudan cuando se quiere mover grandes caudales con pequeñas alturas y baja presión siendo esta su verdadera aplicación. La velocidad específica de las bombas de hélice es alta, facilita el paso de grandes gastos debido a la forma y disposición del impulsor en el mismo ducto de circulación del líquido.



*Figura 5.3 Fotografía del banco de pruebas de la bomba axial.*

## **5.1.4 Turbina Pelton**

### **5.1.4.1 Datos técnicos**

#### **Turbina**

Cabeza neta de diseño	30.5 m
Cabeza de trabajo máxima	76.2 m
Diámetro máximo del chorro	1.88 cm
Diámetro del círculo de ataque del rodete	24.4 cm
Velocidad óptima del eje	8000 rpm
Diámetro de la tubería de admisión	6.35 cm

#### **Motobomba**

Tipo de bomba	Centrífuga
Tipo de motor	Trifásico
Potencia	7.5 Kw
Velocidad	3480 rpm

### **5.1.4.2 Descripción general del banco de pruebas antes de la automatización**

El equipo está compuesto de un eje horizontal apoyado en dos rodamientos, uno de bolas y otro de rodillos, el primero está diseñado para carga radial y axial y el segundo para carga radial. El rodete Pelton es montado en un extremo del eje y asegurado con un perno y al otro extremo de éste es acoplado un dinamómetro. Todo el rodete es mecanizado en bronce fundido y balanceado estáticamente para la operación libre de vibración.

Para evitar que el agua entre a lo largo del eje principal tiene como sello un retén sobre un bocín del bronce. Ambos rodamientos son diseñados para ser lubricados por medio de graseros estándar.

El agua es alimentada a la tobera de la turbina a través del inyector de hierro fundido en el cual, la regulación de la aguja es operada manualmente, en un extremo del eje de la aguja es apoyado en un bocín como guía para asegurar la concéntrica entre la aguja y la tobera. La cabeza de la aguja es de bronce montado en un eje de acero inoxidable y la tobera es maquinada en una fundición de bronce para cañón. El movimiento de la aguja es efectuado por medio de un eje roscado y tuerca operada manualmente, para su lubricación está provista de un grasero, la filtración a lo largo del eje de la aguja es evitada por medio de un sello de cuero.

La carcasa de la turbina es de hierro fundido, la cual tiene una gran ventana para inspeccionar, a través de esta con una lámpara estroboscópica es posible observar el rodete en funcionamiento.

La potencia de salida de la turbina es observada por medio de un dinamómetro. La medida del torque se determina del valor marcado en la balanza. La velocidad rotacional de la turbina es indicada directamente del dial del tacómetro operado por banda. La presión en el ducto de entrada es tomada en un manómetro de presión montado en la carcasa de la turbina y controlado por medio de una válvula de paso.



*Figura 5.4 Turbina Pelton*

## 5.1.5 Turbina Kaplan

### 5.1.5.1 Datos técnicos

#### **Turbina**

Tipo de turbina	Carcasa espiral (voluta)
Tamaño nominal del rodete	8" (203.2 mm)
Número de aspas del rotor	4
Número de alabes del distribuidor	16
Velocidad específica	135 rpm
Cabeza neta de diseño	1.5 ft
Diámetro de entrada a la turbina	13 ½" ( 344 mm )
Diámetro de salida de la turbina	10 <sup>2/3</sup> " (271 mm)

#### **Bomba**

Tipo de bomba	Axial
---------------	-------

#### **Motor**

Tipo de motor	Trifásico
Potencia	22/15 Kw
Velocidad	1740/ 1145 rpm

### 5.1.5.2 Descripción general del banco de pruebas antes de la automatización

La turbina Kaplan es de eje vertical, su rodete de hélice es de cuatro aspas, el fluido recorre la voluta y entra al rodete a través de los álabes de cierre y apertura regulables, como no se pueden ver los alabes directrices en el interior de la voluta hay dos álabes indicadores, montados exteriormente en los álabes de eje extendido que nos muestran la posición real.

El fluido es impulsado mediante una bomba axial, que recibe el agua que se descarga de la turbina, de esta manera se forma un circuito cerrado de funcionamiento.

El conducto de rodete es de acrílico transparente para apreciar las distintas reacciones del fluido con el cambio de los ángulos de las aspas, se puede observar en determinadas posiciones la formación de cavitación y turbulencia.

El torque de salida de la turbina se mide por medio de un dinamómetro de tambor con banda de fricción.

Se mide el caudal mediante el método de placa orificio, instalado en la tubería antes del ingreso a la turbina

La presión de entrada y salida se toman directamente de manómetros instalados.

Para medir la velocidad del eje principal tiene instalado un tacómetro, por medio de una banda entre la polea del tacómetro y el eje.

La turbina es montada sobre tres columnas de concreto armado, el eje de la turbina es guiado sobre dos rodamientos de bolas.



*Figura 5.5 Turbina Kaplan*

## 5.1.6 Turbina Francis

### 5.1.6.1 Datos técnicos

#### **Turbina:**

Tipo de turbina	Carcasa espiral (voluta)
Tamaño nominal del rodete	6" (152.5 mm)
Número de álabes directrices	8
Velocidad específica	36 RPM
Cabeza neta de diseño	6m
Rendimiento máximo del eje	2.9 BHP
Caudal	2700 Lt/min
Velocidad óptima del eje	1000 rpm
Velocidad de embalamiento	1800 rpm
Diámetro de entrada a la turbina	6" (152.5 mm)

#### **Motobomba:**

Tipo de bomba	Centrífuga
Tipo de motor	Trifásico
Potencia	7.5 Kw
Velocidad	1750 RPM

### 5.1.6.2 Descripción general del banco de pruebas antes de la automatización

La turbina Francis es de voluta de eje horizontal. En un extremo del eje está acoplado un dinamómetro de freno de disco, para medir el torque de salida de la turbina.

La potencia de salida de la turbina y el flujo a través de la máquina es controlada por el número de álabes directrices móviles, estos álabes son conectados mediante horquillas a un anillo de operación el cual gira por la acción de una simple palanca manual. Un par de álabes indicadores son montados para indicar directamente la posición de apertura de los álabes directrices.

El rodete de la turbina está montado en el otro extremo de eje principal, el cual es asegurado con el casquete roscado. El agua es descargada de la turbina a través de un tubo difusor el cual tiene una curvatura de 90°. La velocidad del eje de la turbina es indicada directamente en un tacómetro que funciona con una banda conectada al eje principal.

La turbina está montada en una bancada de acero dulce. Esta bancada es montada sobre el tanque reservorio. El eje de la turbina es guiado sobre dos rodamientos, uno de bolas y el otro de rodillos.



*Figura 5.6 Turbina Francis*

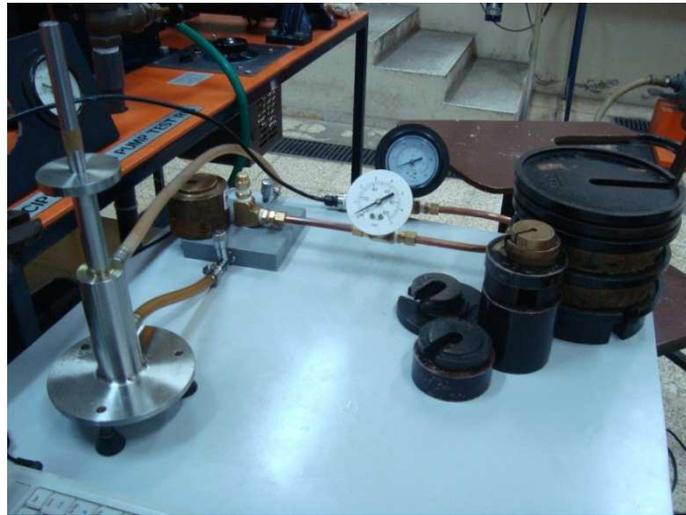
## **5.2 Montaje de equipos e instrumentos**

Para realizar la instalación de los equipos e instrumentos fue necesario realizar algunas adecuaciones al banco de pruebas de acuerdo con las necesidades de funcionamiento de cada sensor.

### **5.2.1 Montaje de los transductores de presión**

Antes de realizar el montaje de los traductores de presión se realizó una evaluación de las lecturas arrojadas por estos, con valores obtenidos de los datasheet (Hojas de calibración); pero

para conseguir que los datos de la señal que emite cada sensor se convierta en presión, dentro del programa es necesario ingresar una ecuación diferente para cada uno de ellos dependiendo de su comportamiento y los datos arrojados, para lo que se utilizó el equipo de calibración de peso muerto del cual se describe las características y funcionamiento en el *ANEXO 1*.



*Figura 5.7 Obtención de las ecuaciones de los transductores de presión con el equipo de calibración peso muerto.*

En el montaje de los transductores de presión fue necesario instalar para cada uno de ellos una T de bronce de ¼” NPT, con el fin de tener dos tomas de presión en cada punto de medición, siendo una para el sensor y la otra para el manómetro de tipo bourdon ya existentes.

Además es necesario para la protección de cada uno de estos sensores acoplar un Snubber el cual es un accesorio de protección del sensor contra picos de presión.

### **5.2.1.1 Bomba reciprocante**

Para este banco de pruebas los transductores de presión se ubicaron en la succión y descarga.



*Figura 5.8 Manómetro y vacuómetro de la bomba reciprocante.*



*Figura 5.9 Transductores de presión instalados en la bomba reciprocante.*

### **5.2.1.2 Bomba centrífuga**

Los transductores de presión para este banco de pruebas se ubican en las tomas de succión y descarga donde se encuentran el vacuómetro y manómetro respectivamente, antes de la automatización las lecturas se tomaban en el manómetro de mercurio diferencial.



*Figura 5.10 Manómetros de succión, descarga y manómetro diferencial de la bomba centrífuga.*



*Figura 5.11 Montaje de los transductores de presión.*

### 5.2.1.3 Bomba axial

En este banco de pruebas no solo están instalados los transductores de presión para la succión y descarga.



*Figura 5.12 Transductores de presión instalados en la bomba axial.*

Antes de la ejecución del presente proyecto se utilizaba un generador de presión diferencial incorporado a la tubería de salida de la bomba, del tipo de placa orificio, cuya diferencia de presiones se registraba en el manómetro inclinado de mercurio al que se encontraba conectado, hoy en su lugar se ha colocado un transductor de presión diferencial. La ecuación para el cálculo del caudal a través de la placa-orificio es la siguiente:

$$Q = Cq * Ao * \sqrt{2 * g * h_v} \quad [ m^3 / s ]$$

Donde: Q=caudal  $m^3$

$h_v$  = altura del manómetro [ mca ]

$Ao$  = área del orificio [  $m^2$  ]

$Cq$  = coeficiente de gasto

$g$ =gravedad



*Figura 5.13 Transductor de presión diferencial.*

#### **5.2.1.4 Turbina Pelton**

Para la turbina Pelton solo se instaló un transductor de presión en la entrada del banco de Pruebas.



*Figura 5.14 Transductor de presión turbina Pelton.*

### **5.2.1.5 Turbina Kaplan**

En la turbina Kaplan se ubicó dos transductores de presión en la toma de succión y descarga, y para la medición de caudal se utiliza el transductor de presión que se detalló en la bomba axial *ver figura 4.13*, pero para este caso la ecuación para determinar el caudal es la siguiente:

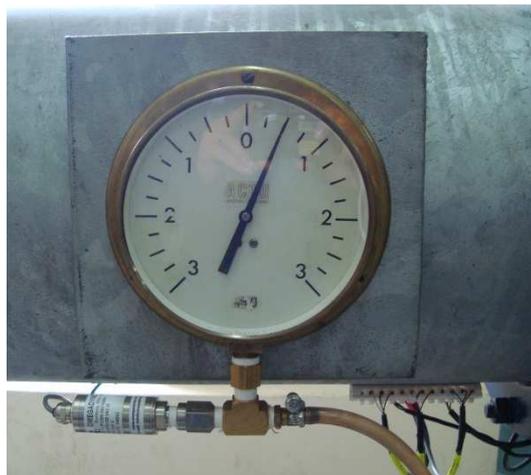
$$Q = 0.375 * Cq * (h)^2$$

Donde:

h = lectura del transductor de presión.

Q=caudal

Cq= coeficiente de gasto



*Figura 5.15 Manómetro y transductor de presión de rango compuesto, ubicados en la descarga de la turbina Kaplan.*

### **5.2.1.6 Turbina Francis**

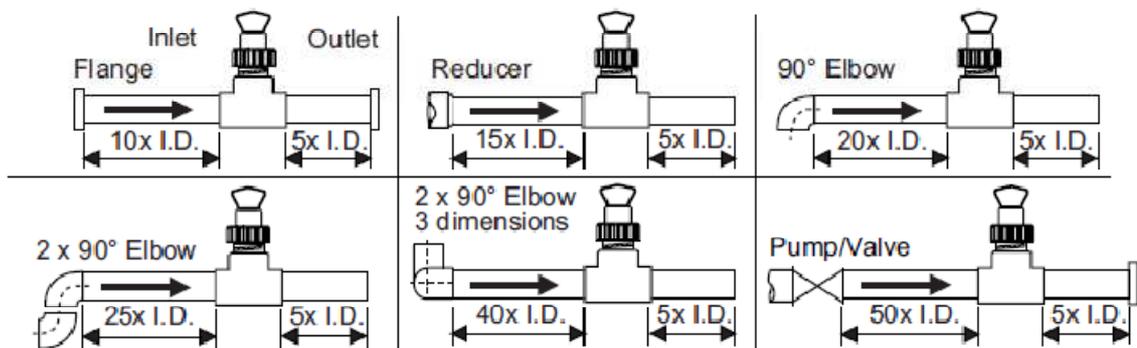
En el banco de pruebas de la turbina Francis el transductor de presión está ubicado en la toma de la entrada a la turbina.



*Figura 5.16 Manómetro y transductor de presión.*

### 5.3 Montaje del sensor de flujo

Antes instalar el sensor de flujo se debe tener en cuenta las siguientes recomendaciones para su montaje aguas arriba y aguas abajo, esto quiere decir; para que el sensor funcione en óptimas condiciones se debe dejar una cierta distancia antes y después de donde se lo va a situar.



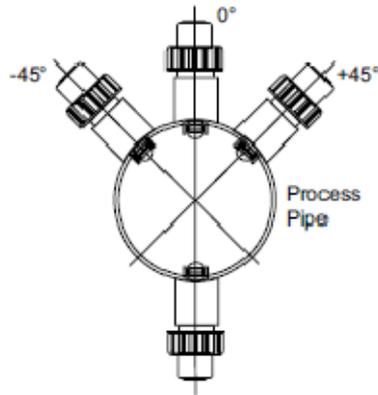
*Figura 5.17 Ubicación de la conexión del sensor.*

#### 5.3.1 Posición del montaje del sensor

La guía del usuario de Sensores de flujo de rueda de paletas muestra la posición correcta que debe instalarse, se puede observar a continuación.

- **Disposición horizontal del tubo:** Monte el sensor en posición vertical ( $0^\circ$ ) para lograr el mejor rendimiento. Monte a un máximo de  $45^\circ$  cuando hayan burbujas de aire (el tubo debe estar lleno). No monte en la parte inferior del tubo cuando encuentre sedimentos.

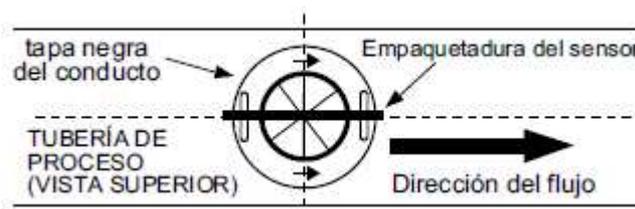
- **Disposición vertical del tubo:** El sensor puede montarse en cualquier orientación. Se prefiere un flujo ascendente para garantizar el llenado del tubo.



**Figura 5.18** Muestra la posición de montaje del sensor.

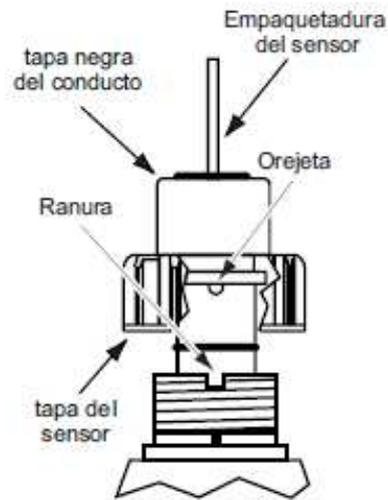
### 5.3.2 Instalación del sensor

- Lubricar los anillos o juntas O del sensor con un lubricante de silicona o a base de agua, en este caso se utilizó Gel Lubricante K-Y, por ningún motivo se debe utilizar lubricante a base de petróleo porque se puede dañar las juntas O.
- Mediante 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, véase Figura 5.19.



**Figura 5.19** Señala la dirección de Flujo.

- 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 de pueden dañarse, véase Figura 5.20.

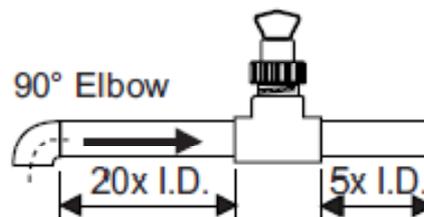


*Figura 5.20 Acoplamiento de la rosca de la tapa del sensor.*

### 5.3.3 Bancos de pruebas donde se ubican los sensores de flujo

#### 5.3.3.1 Bomba recíproca

La tubería de descarga no cumple con la longitud necesaria que requiere el sensor, por lo cual se alargó la mesa de 122 cm a 188 cm, puesto que antes de la ubicación del sensor se tiene un codo de 90° y debe cumplir las distancias mínimas especificadas en la figura.



*Figura 5.21 Ubicación de la conexión del sensor con un codo a 90°.*

Siendo

$$ID = 2,25cm$$

$$20 \times ID = 45cm$$

$$5 \times ID = 11,25cm$$

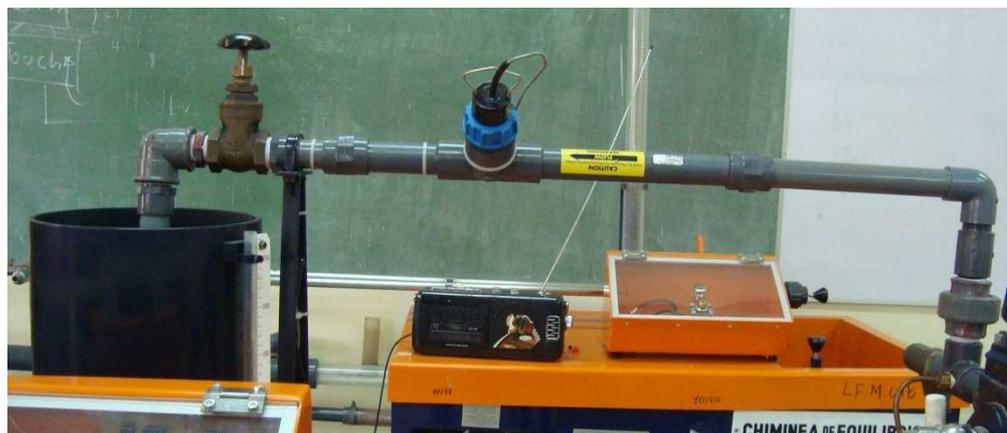
Donde: ID= Diámetro interno de la Tubería

Después de realizado el redimensionamiento antes especificado cabe recalcar que se desplazó el tanque volumétrico al final de la tubería de descarga.



*Figura 5.22 En la fotografía se muestra el redimensionamiento de la tubería de descarga para la instalación del sensor de flujo.*

Para este caso por la disposición horizontal del tubo, se colocó la tubería de acoplamiento para el sensor fitting con un ángulo de  $45^\circ$  tomando en cuenta la posibilidad que existan burbujas de aire.



*Figura 5.23 La fotografía muestra el ángulo de inclinación de  $45^\circ$  con que se encuentra ubicado el sensor.*

Se acopló la rosca de la tapa del sensor a la pestaña de alineación a la ranura de la pieza de anclaje, ajustándolo manualmente.

### 5.3.3.2 Bomba centrífuga

Para colocar el sensor de flujo en la Bomba Centrífuga, debido al poco espacio del que se dispone fue necesario remover el Tubo Venturi con el que se realizaba anteriormente la medición del caudal.

Antes de donde se va a montar el sensor de flujo se tiene un codo a 90° y de la misma manera que se explicó previamente se debe cumplir con las distancias mínimas como se especifican en la *figura5.21*.

*Siendo*

$$ID = 3,7 \text{ cm}$$

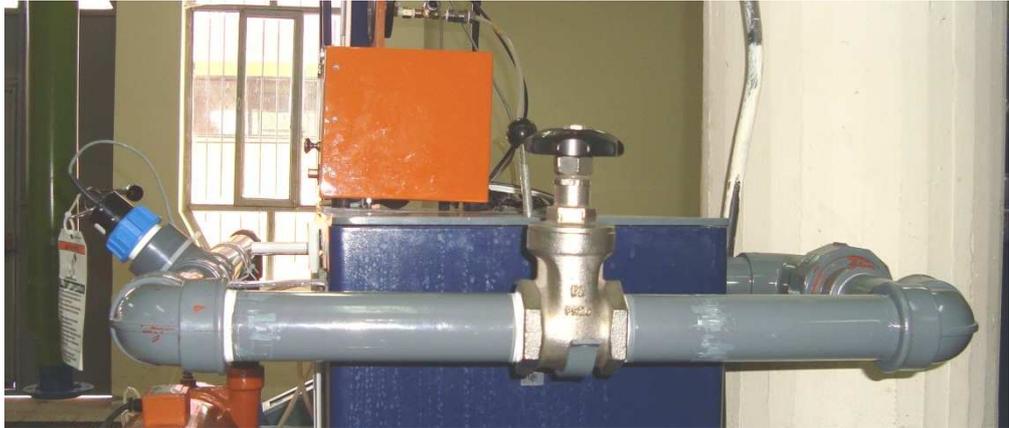
$$20 \times ID = 74 \text{ cm}$$

$$5 \times ID = 18,5 \text{ cm}$$



**Figura 5.24** En la fotografía se muestra la ubicación del sensor de flujo en el banco de pruebas de la bomba centrífuga.

En el montaje del sensor de flujo para este banco de pruebas se tomó en cuenta las recomendaciones de instalación que se detalladas anteriormente y se utilizó el mismo procedimiento.



*Figura 5.25 La fotografía muestra el ángulo de inclinación de 45° con que se encuentra ubicado el sensor.*

### **5.3.3.3 Turbina Pelton**

Antes de poder realizar el montaje del sensor del flujo en la turbina Pelton fue necesario tomar en cuenta las distancias mínimas que requiere para su correcto funcionamiento, tomando en cuenta que al igual que los bancos de pruebas mencionados anteriormente, también se tiene un codo a 90° previamente al lugar de donde se lo va a ubicar.

*Siendo*  $ID = 5,8 \text{ cm}$

$20 \times ID = 116 \text{ cm}$

$5 \times ID = 29 \text{ cm}$

Para cumplir con estas especificaciones fue indispensable desplazar unos centímetros hacia la derecha el banco de pruebas para colocar el fitting donde instala el sensor.



*Figura 5.26 Sensor de flujo auto alimentado ubicado en la turbina Pelton.*

#### **5.4 Montaje del sensor de proximidad**

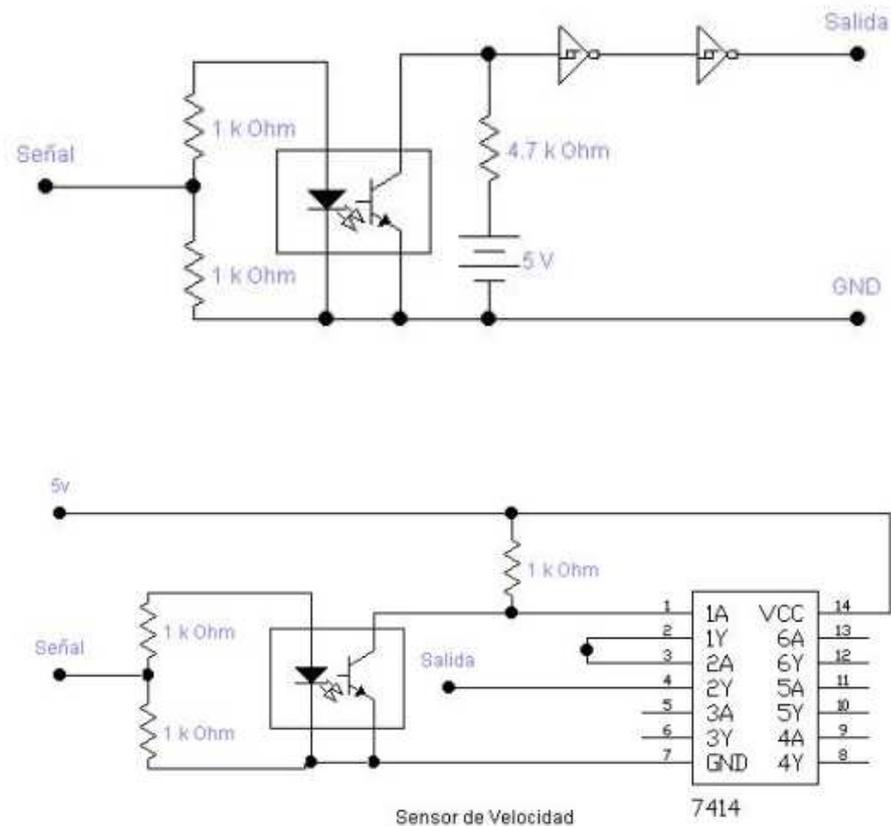
En el montaje de este sensor, cabe mencionar que se necesita de una tarjeta de acoplamiento para realizar las conexiones, debido a que este requiere una alimentación de 12V y el módulo contador de adquisición NI 9401 detecta señales de 5 V/TTL para enviarlas al programa.



*Figura 5.27 Tarjeta de acople para el sensor de proximidad.*

Para elaborar la tarjeta de acople se han utilizado los siguientes elementos:

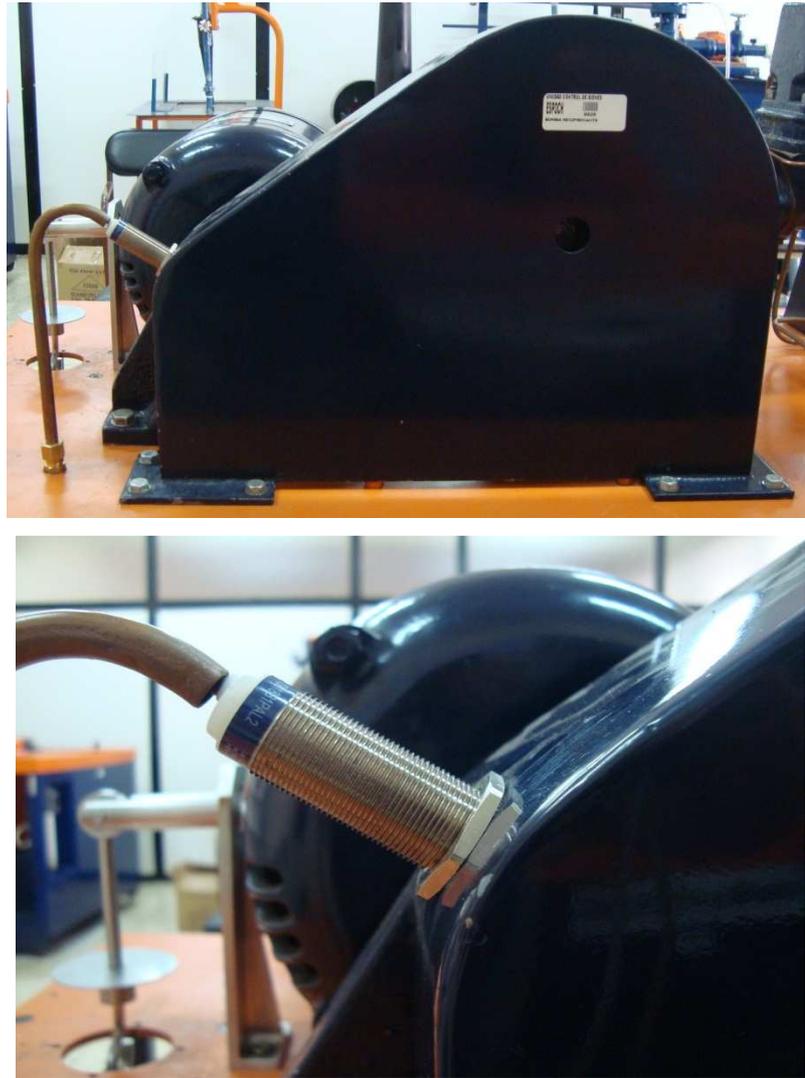
- Dos resistencias de 1K Ohmio.
- Un HD74LS14P
- Un Tiristor
- Tres Borneras



*Figura 5.28 Diagrama del circuito de la tarjeta de acople*

#### **5.4.1 Bomba recíproca**

Para el montaje del sensor de proximidad que mide la velocidad angular a la que gira el motor, se tuvo que realizar una perforación en la cubierta de acero de la banda de dentada de alta eficiencia, con la finalidad que detecte los objetos metálicos que se instalaron en la periferia de un disco de nylon el cual fue acoplado al eje del motor, para cortar el campo magnético. El sensor de proximidad se encuentra instalado a tres milímetros de los objetos metálicos.



*Figura 5.29 Sensor de proximidad instalado en la carcasa de protección de la banda dentada.*

#### **5.4.2 Bomba centrífuga**

La bomba centrífuga tiene una protección de PVC donde se encuentra el rotor, aprovechando los pasadores metálicos con las que ya cuenta el banco de pruebas para cortar el campo magnético; se realizó una perforación de 17 mm en la protección para poder ubicar el sensor de proximidad, se lo instalado a 5 milímetros de distancia de los pasadores.



*Figura 5.30* En las fotografías se muestra el sensor de proximidad instalado en la bomba centrífuga.

#### **5.4.3 Bomba axial**

Para la instalación del sensor en la bomba axial se ha colocado dos tornillos de cabeza cilíndrica lisa en la periferia del acople entre el rotor y la bomba, además se realizó una perforación en la protección metálica para el montaje del sensor de proximidad; que se lo ubico a 5mm de distancia.



*Figura 5.31* Sensor de proximidad ubicado en la bomba axial.

#### 5.4.4 Turbinas Pelton, Kaplan y Francis

Para realizar el montaje del sensor de proximidad en estas turbinas fue necesario instalar piezas de montaje en L, exclusivas para efectuar el acoplamiento de este sensor, las piezas en L se colocaron para las turbinas Pelton y Francis además se situaron tornillos de cabeza cilíndrica lisa en la periferia del eje principal del rotor de las turbinas, a 5 mm de distancia.



*Figura 5.32* Sensor de proximidad  
turbina Pelton.



*Figura 5.33* Sensor de proximidad  
turbina Francis.

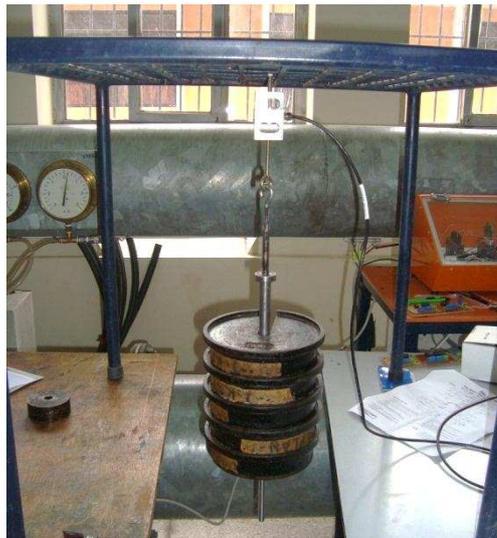
En la turbina Kaplan los tornillos se colocaron en el tambor de freno, conjuntamente además de la pieza para montaje del sensor en L se instaló una protección metálica alrededor del sensor para protegerlo en caso de que la banda se caiga y lo roce.



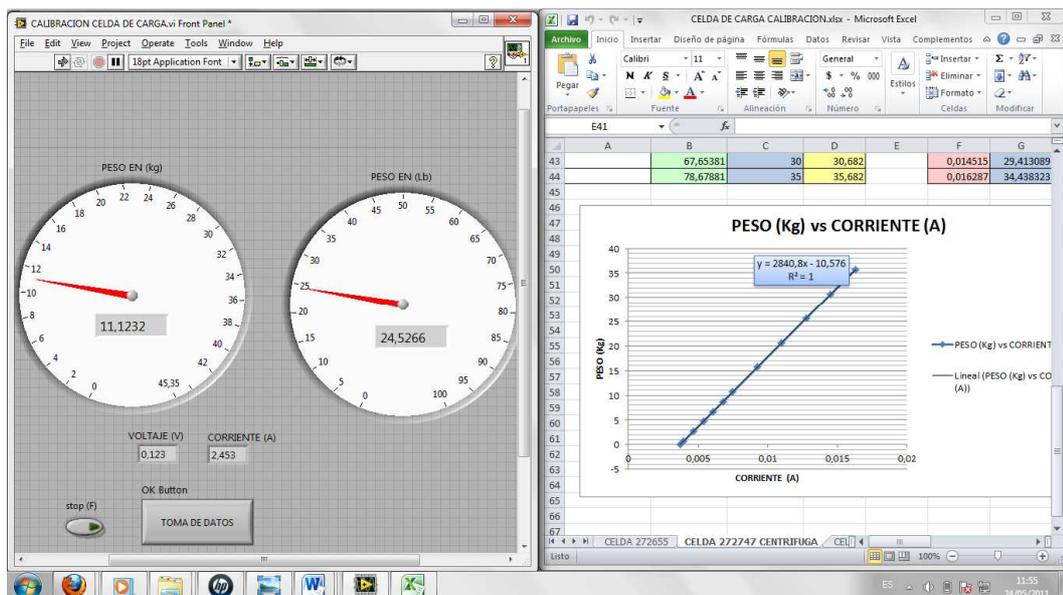
*Figura 5.34* Sensor de proximidad instalado en el tambor de freno de la turbina Kaplan.

## 5.5 Montaje de la celda de carga

Como se mencionó anteriormente en los traductores de presión que era necesario encontrar la ecuación para que arrojaran valores precisos de presión, también para las celdas de carga se realizó la obtención de ecuaciones para transformar la señal en peso y posteriormente encontrar el torque de las Bombas, para esto a cada celdas se le colocaron pesas para hallar la ecuación respectiva.



*Figura 5.35 En la fotografía se muestra como se realizó la obtención de las ecuaciones de cada una de las celdas de carga.*



*Figura 5.36 Programa realizado para calibración de la celda de carga.*

### 5.5.1 Bomba reciprocante

Para realizar el montaje de la celda de carga se construyó un soporte de acuerdo sus dimensiones y adecuado al lugar donde se lo instaló en la mesa del banco de pruebas de la bomba reciprocante, además se utilizó ganchos M6 para unir la celda de carga con el brazo del motor que como ya se especificó anteriormente mide 0,20 metros, la celda se aseguró al soporte se utilizando un perno de acero inoxidable M6x15.



*Figura 5.37 Celda de carga y soporte en la bomba reciprocante.*

### 5.5.2 Bomba centrífuga

Debido al poco espacio con el que se cuenta en este banco de pruebas se diseñó un soporte para ubicar la celda de carga, colocando pernos para asegurarlo en la base donde se asienta la Bomba Centrífuga, alineándolo con el brazo porta pesas.

Para unir la celda de carga con el brazo se han utilizado ganchos M6 que actúan cuando el motor ejerce la fuerza necesaria para equilibrar el campo magnético que genera el estator y así medir el torque, la celda está asegurada al soporte con un perno de acero inoxidable M6x15, la longitud del brazo porta pesas es de 0.25m.



*Figura 5.38 Celda de carga y soporte bomba centrífuga.*

### **5.5.3 Bomba axial**

En este banco de pruebas gracias a que el espacio en el brazo porta pesas es muy limitado, para que la celda de carga pueda medir fuerza de tensión se la ubicó en el brazo posterior de la bomba, donde antes se colocaban los contrapesos para balancearla; se ha diseñado un soporte para el montaje de la celda de carga, el que está anclado al piso y se encuentra a una distancia de brazo de 0.40m.



*Figura 5.39 Celda de carga en la bomba axial*

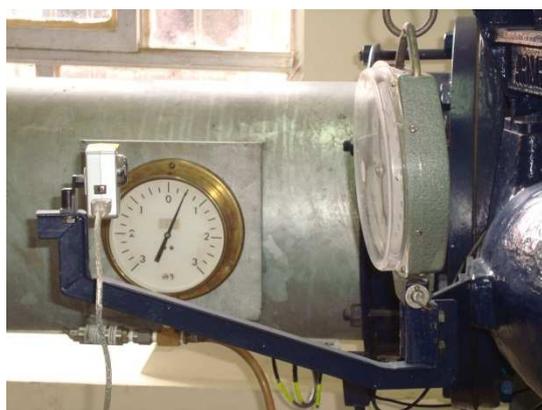
### **5.6 Montaje e instalación de las cámaras unibrain fire-i 1394**

Para el montaje de estas cámaras digitales se ha diseñado y construido unos soportes donde se las va a asentar frente al dinamómetro de cada turbina, con el fin que se pueda realizar la adquisición de datos.



(a)

(b)



(c)

**Figura 5.40** Cámaras digitales unibrain fire-i instaladas en (a) turbina Pelton, (b) turbina Francis, (c) turbina Kaplan.

## 5.7 Montaje del hardware NI compactDAQ

Para el montaje del NI compactDAQ, los módulos de adquisición de datos de la serie C, las fuentes de alimentación y demás accesorios necesarios para realizar la automatización se construyó una caja que en adelante se llamará panel de adquisición, donde se ubicarán todos los instrumentos y equipos antes mencionados.

El panel de adquisición está creado de acuerdo al diseño de un panel de Control; son de acero inoxidable revestidos con pintura al horno, un borde de aluminio donde se asienta una cubierta de acrílico transparente, un par de bisagras para la movilidad de la cubierta, una agarradera, una chapa que brinda la seguridad para almacenar los equipos, cuatro patas de caucho donde se asienta el panel.



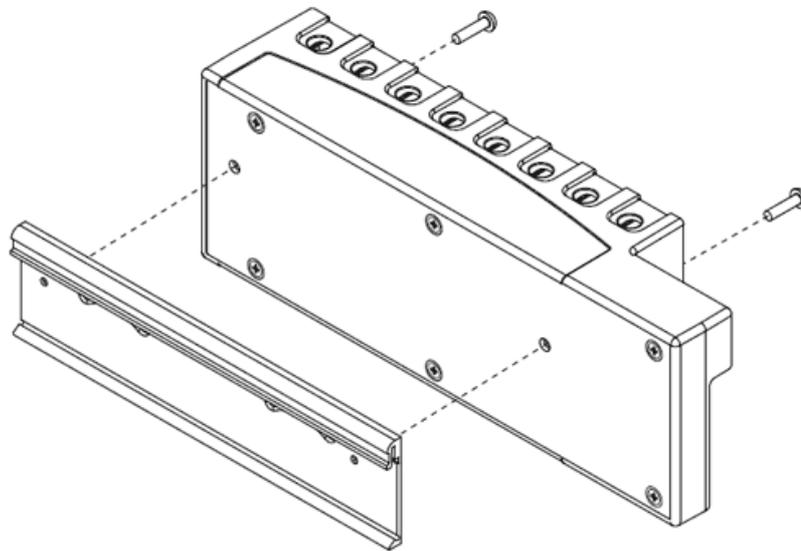
*Figura 5.41* Caja del panel de control.

En la bomba centrífuga debido a que el espacio para hacer cualquier reforma es muy reducido, el panel diseñado para optimizar el espacio disponible es diferente al resto de paneles, se lo ubica en la tapa del tanque volumétrico del banco de pruebas.



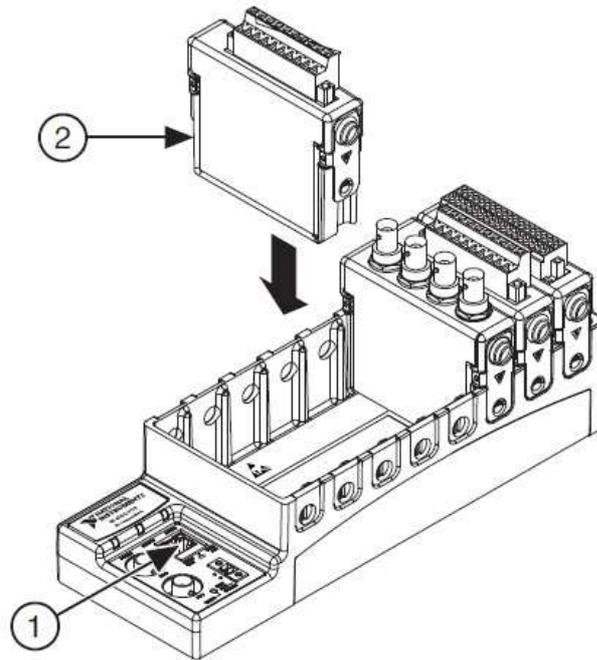
**Figura 5.42** Caja del panel de control bomba centrífuga.

En el montaje del NI compactDAQ en un riel DIN, es necesario sujetarlo en el clip de montaje del riel DIN para el chasis con dos tornillos M4 x 17, como lo muestra la figura con el labio mayor de la guía DIN colocada hacia arriba, cuando se ha terminado se lo centra en un riel DIN.



**Figura 5.43** Instalación de DIN-Rail en cDAQ-9172

Insertar cada serie C módulo E / S apretando ambos módulo de seguridad, para colocar el módulo E / S en una ranura de módulo de vacío, y presionando hasta que los dos pestillos de bloqueo del módulo en su lugar.



**Figura 5.44** Instalación de módulos serie C E/S.

Dentro de los paneles de adquisición también se acoplaron las fuentes de alimentación sobre un riel DIN para facilitar la instalación, de la misma manera están ubicadas las tarjetas de acoplamiento para los sensores de proximidad.

Con el fin de facilitar la unión de los cables provenientes de los sensores de alimentación y señal, se han colocado borneras a donde llegan y salen dichos cables.



**Figura 5.45** Panel de adquisición de la bomba axial.

## CAPÍTULO VI

### **6 AUTOMATIZACIÓN DE LOS BANCOS DE PRUEBAS**

#### **6.1 Programa LabVIEW**

Este programa fue creado por National Instruments para funcionar sobre máquinas MAC, salió al mercado por primera vez en 1986. LabVIEW (laboratory virtual instrumentation engineering workbench) constituye un revolucionario sistema de programación gráfica; es una plataforma para la construcción y desarrollo de aplicaciones para adquisición de datos, control de instrumentos y automatización industrial.

LabVIEW se diferencia de los lenguajes tradicionales al presentar un ambiente de programación gráfico, llamado lenguaje G, para crear programas basados en diagramas de bloques.

Los programas desarrollados en LabVIEW se denominan instrumentos virtuales, o VIs, y su origen provenía del control de instrumentos, aunque hoy en día su uso se ha ampliado mucho más allá del control de instrumentos.

Entre las principales aplicaciones se puede mencionar:

- Adquisición de datos y análisis matemático.
- Automatización industrial y programación de PACs.
- Diseño de controladores: simulación y testeo rápido.
- Control y supervisión de procesos.
- Visión artificial y control de movimiento.

Para el empleo de LabVIEW se diferencia de los lenguajes de programación convencionales ya que se apoya en símbolos gráficos en lugar del lenguaje escrito para construir aplicaciones esto le permite adaptarse a las necesidades de los científicos e Ingenieros.

Un programa desarrollado en LabVIEW se compone de un panel frontal y un diagrama de bloques. El panel frontal es la interfaz interactiva de usuario de un VI debido a que simula el

panel de un instrumento físico. El panel frontal puede contener botones, interruptores, pulsadores, gráficas y otros controles e indicadores que permiten al usuario monitorear, registrar y controlar parámetros de los procesos de interés.

El diagrama de bloques es el programa propiamente dicho, es aquí donde se define su funcionalidad, contiene el código fuente del VI; es aquí donde se realiza la implementación del programa del VI para controlar o realizar cualquier proceso de las entradas y salidas que se crearon en el panel frontal. Adicionalmente, el diagrama de bloque contiene funciones y estructuras incorporadas en las bibliotecas de LabVIEW VI.

## **6.2 Diseño de instrumentación virtual**

El concepto de instrumentación virtual nace a partir del uso del computador como instrumento de medición de señales como presión, caudal, velocidad, fuerza, etc.

Sin embargo, la instrumentación virtual va más allá de la simple medición de corriente o voltaje sino que involucra el procesamiento, análisis, almacenamiento, distribución y despliegue de datos e información relacionados con la medición de una o varias señales específicas.

## **6.3 Descripción de un VI**

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.

#### **6.4 Descripción del panel frontal**

El panel frontal del VI para este trabajo se ha diseñado exclusivamente para cada uno de los banco de pruebas; contienen características propias necesarias para la adquisición de cada bomba o turbina.

##### **6.4.1 Bomba reciprocante**

El panel frontal del VI de la bomba reciprocante contiene las siguientes características:

- Diagrama representativo del banco de pruebas de la bomba reciprocante.
- Fecha de la práctica.
- Hora de la práctica.
- Control de texto donde se ingresa número de grupo que desarrolla la práctica.
- Control de texto donde se ingresa número de práctica.
- Indicador de presión de 0 a 7 bar.
- Indicador de presión de -1 a 0 bar.
- Indicador de fuerza de 0 a 1000g.
- Indicador de caudal en Lt/s.
- Indicador de Velocidad Angular de 0 a 1200rpm.
- Botón de STOP.

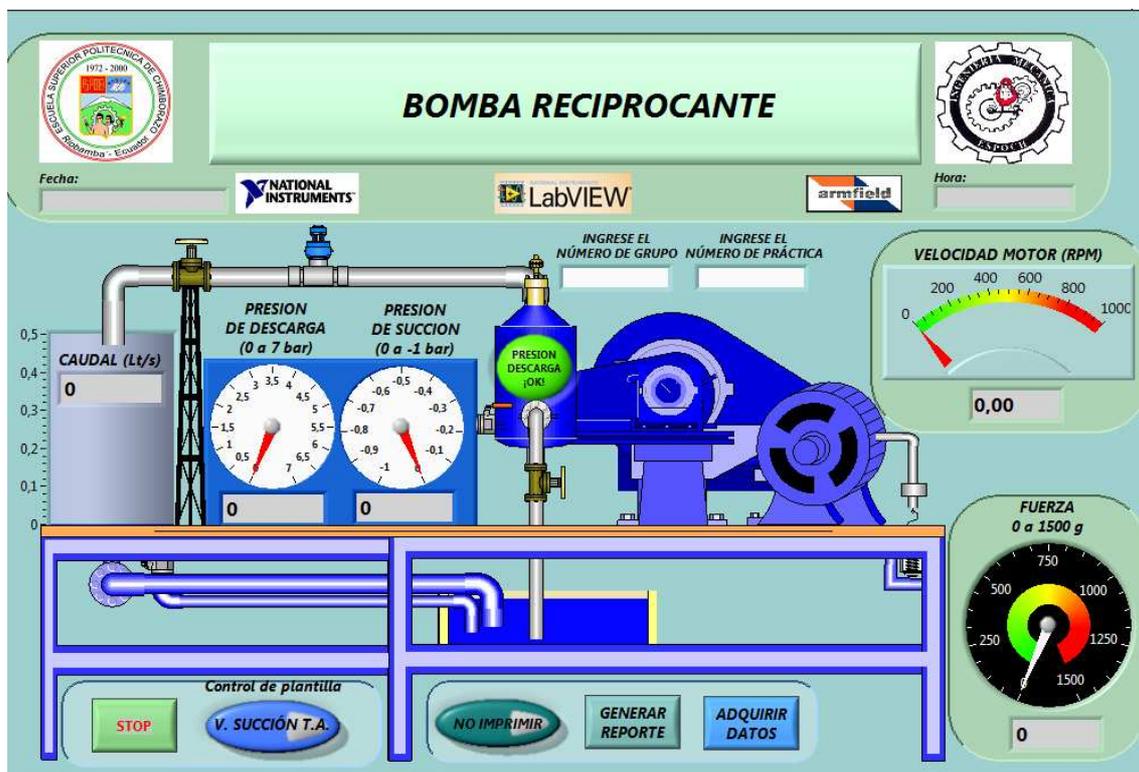
Además el panel frontal cuenta con un led circular, muestra si la presión del manómetro de 0 a 7 bar es correcta se mostrará de color verde, si existe una sobrepresión se mostrara de color rojo y sonará una alarma indicando el Peligro.

Un push button para seleccionar la plantilla de la válvula que se va a variar (Succión o Descarga), así durante la generación del Reporte el programa escoge la plantilla que va a utilizar previa la selección del usuario.

Un OK button que se presiona cada vez que se necesite adquirir los datos para almacenarlos antes de generar el reporte.

Un push button, se lo presionará antes de generar el reporte de datos para que se imprima el reporte en tiempo real una vez que se lo ha generado

Un OK button para generar el reporte de datos una vez terminada la práctica.



*Figura 6.1 Panel frontal de la bomba recíproca.*

#### 6.4.2 Bomba centrífuga

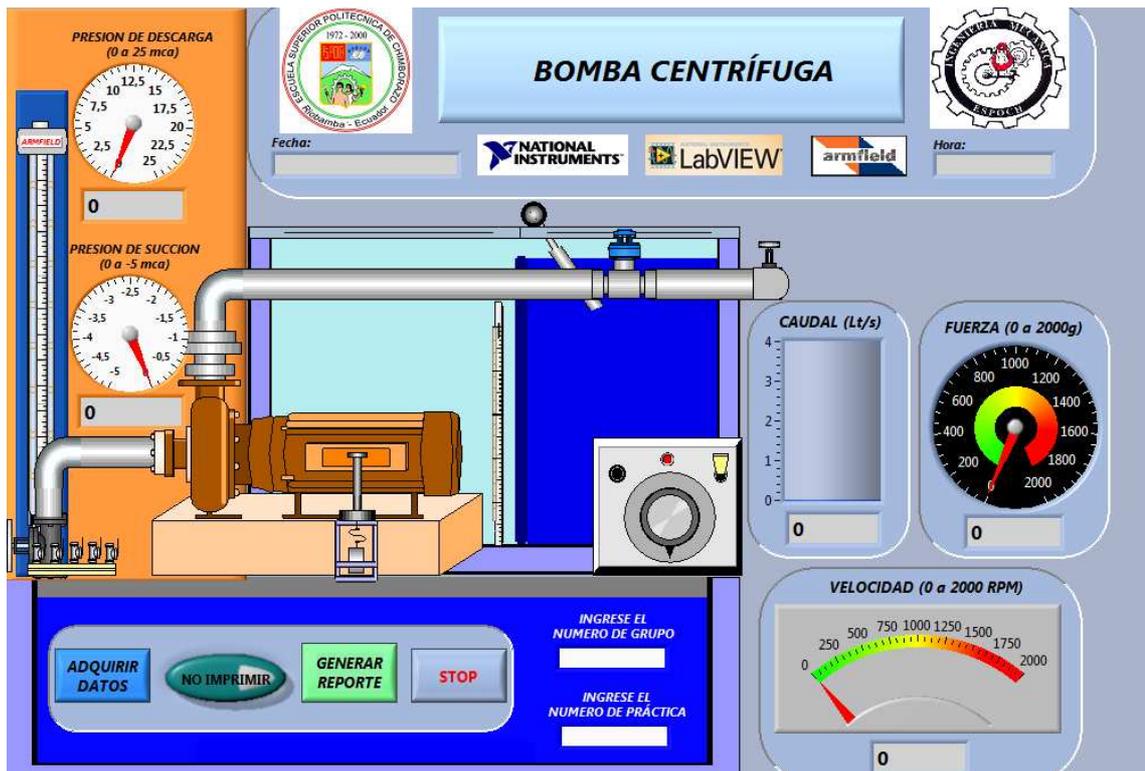
El panel frontal del VI de la bomba centrífuga contiene las siguientes características:

- Diagrama representativo del banco de pruebas de la bomba centrífuga.
- Fecha de la práctica.
- Hora de la práctica.
- Control de texto donde se ingresa número de grupo que desarrolla la práctica.
- Control de texto donde se ingresa número de práctica.
- Indicador de presión de 0 a 25 mH<sub>2</sub>O.
- Indicador de presión de -5 a 0 mH<sub>2</sub>O.
- Indicador de fuerza de 0 a 2000g.
- Indicador de caudal en Lt/s.
- Indicador de velocidad angular de 0 a 2200rpm.
- Botón de STOP.

Un OK button que se presiona cada vez que se necesite adquirir los datos para almacenarlos antes de generar el reporte.

Un push botton, se lo presionará antes de generar el reporte de datos para que se imprima el reporte en tiempo real una vez que se lo ha generado

Un OK button para Generar el reporte de datos una vez terminada la práctica.



*Figura 6.2 Panel frontal de la bomba centrífuga.*

### 6.4.3 Bomba axial

El panel frontal del VI de la bomba axial contiene las siguientes características:

- Diagrama representativo del banco de pruebas de la bomba axial.
- Fecha de la práctica.
- Hora de la práctica.
- Control de texto donde se ingresa número de grupo que desarrolla la práctica.
- Control de texto donde se ingresa número de práctica.
- Control de texto donde se ingresa el grado de apertura de álabes del rotor.
- Indicador de presión de 0 a 12 mH<sub>2</sub>O.
- Indicador de presión de -3 a 3 mH<sub>2</sub>O.
- Indicador de presión diferencial de 0 a 1 psi.
- Indicador de fuerza de 0 a 60 Kg.
- Indicador de caudal en Lt/s.
- Indicador de velocidad angular de 0 a 2200rpm.
- Botón de STOP.

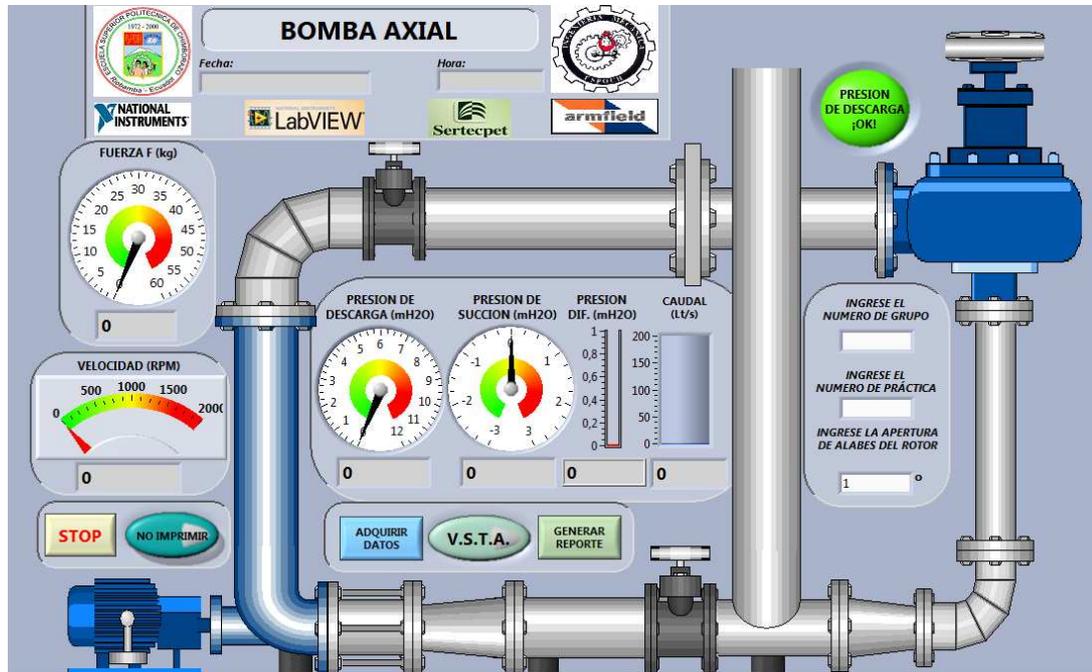
Un push button para seleccionar la plantilla con la apertura de la válvula de succión de totalmente abierta y 50% abierta va a variar, así durante la generación del Reporte el programa escoge la plantilla que va a utilizar previa la selección del usuario.

Un led circular, muestra si la presión del manómetro de 0 a 12 m H<sub>2</sub>O es correcta se mostrará de color verde, si existe una sobrepresión se mostrara de color rojo y sonará una alarma indicando el Peligro.

Un OK button que se presiona cada vez que se necesite Adquirir los Datos para almacenarlos antes de generar el reporte.

Un push botton, se lo presionará antes de generar el reporte de datos para que se imprima el reporte en tiempo real una vez que se lo ha generado

Un OK button para Generar el reporte de datos una vez terminada la práctica.



*Figura 6.3* Panel frontal de la bomba axial.

#### 6.4.4 Turbina Pelton

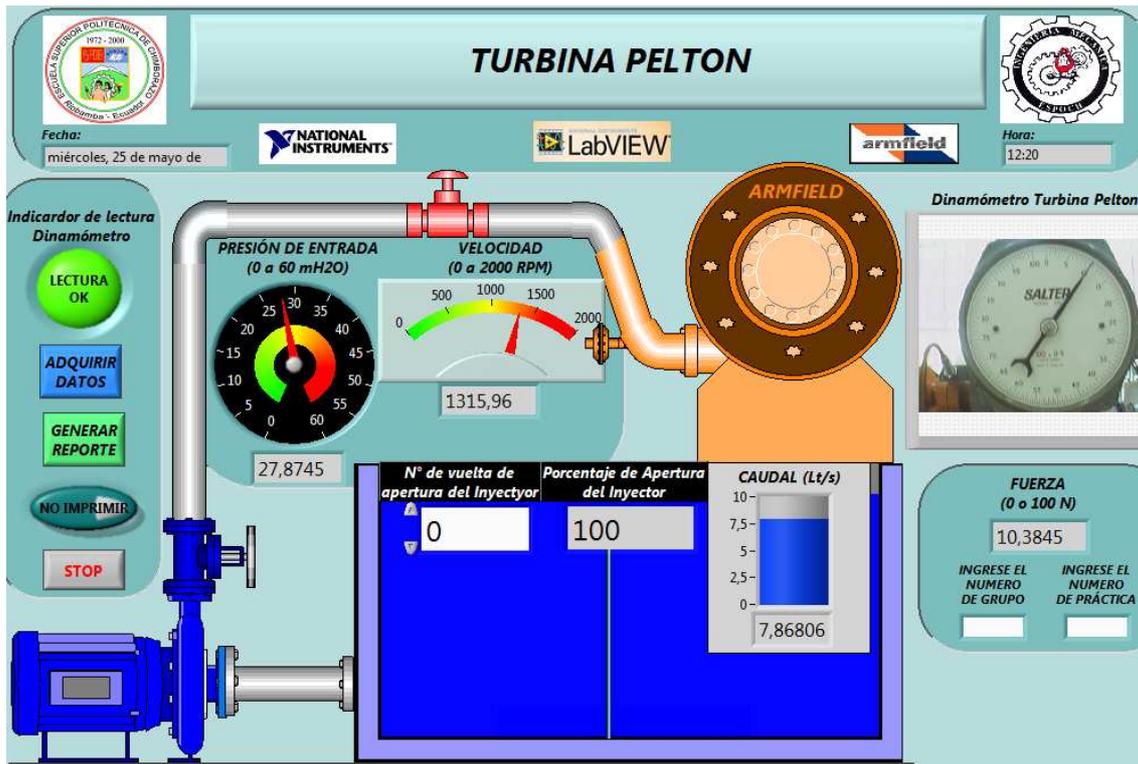
El panel frontal del VI de la turbina Pelton contiene las siguientes características:

- Diagrama representativo del banco de pruebas de turbina Pelton.
- Fecha de la práctica.
- Hora de la práctica.
- Control de texto donde se ingresa número de grupo que desarrolla la práctica.
- Control de texto donde se ingresa número de práctica.
- Control de texto donde se varía el Número de vueltas de apertura del inyector.
- Indicador del porcentaje de apertura del inyector.
- Indicador de presión de 0 a 60 mH<sub>2</sub>O.
- Indicador de imagen del dinamómetro captada por la cámara, muestra el rango de 0 a 100 newtons.
- Un led indicador del proceso para la toma de lectura del dinamómetro, se muestra de color amarillo cuando se espera la lectura, de color verde cuando la lectura está clara.
- Indicador de fuerza que muestra la lectura de 0 a 100 N.
- Indicador de caudal en Lt/s.
- Indicador de velocidad angular de 0 a 2000 rpm.
- Botón de STOP.

Un OK button que se presiona cada vez que se necesite Adquirir los Datos para almacenarlos antes de generar el reporte.

Un push botton, se lo presionará antes de generar el reporte de datos para que se imprima el reporte en tiempo real una vez que se lo ha generado.

Un OK button para generar el reporte de datos una vez terminada la práctica.



*Figura 6.4* Panel frontal de la turbina Pelton.

#### 6.4.5 Turbina Kaplan

El panel frontal del VI de la turbina Kaplan contiene las siguientes características:

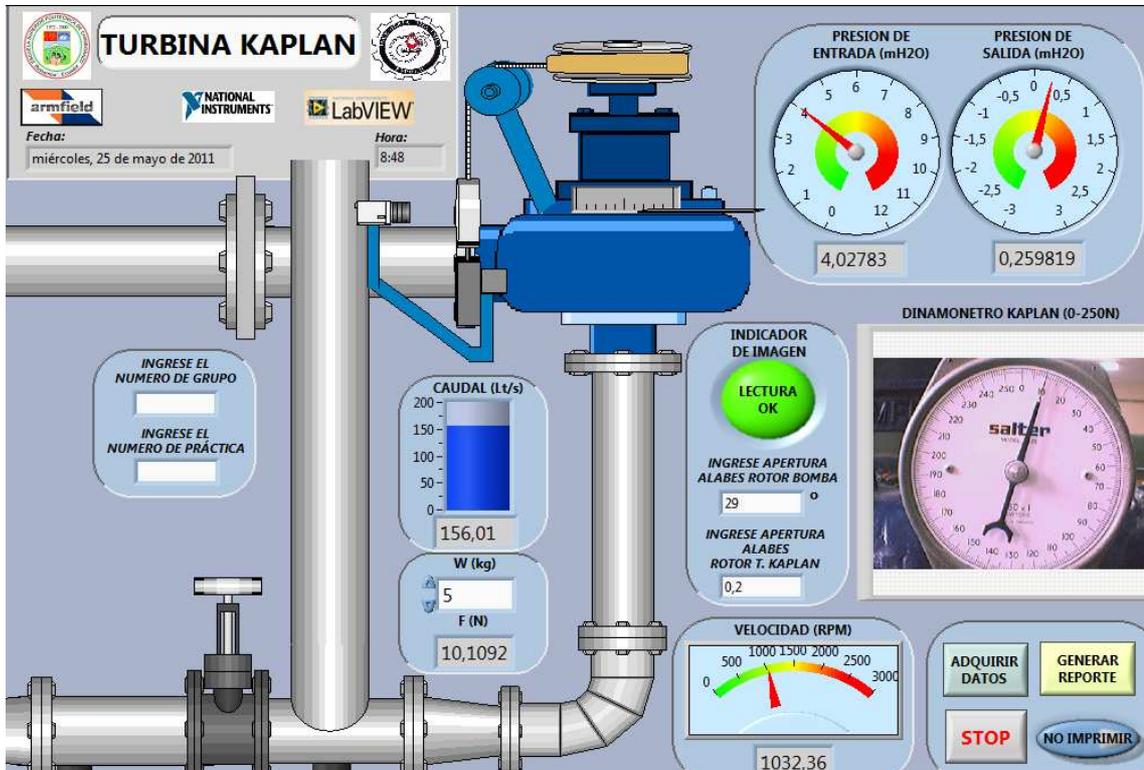
- Diagrama representativo del banco de pruebas de turbina Kaplan.
- Fecha de la práctica.
- Hora de la práctica.
- Control de texto donde se ingresa número de grupo que desarrolla la práctica.
- Control de texto donde se ingresa número de práctica.
- Control numérico que se varía medida que se aumenta la carga al extremo del tambor de freno.
- Control de texto donde se ingresa la apertura de álabes del rotor de la bomba axial.
- Control de texto donde se ingresa la apertura de álabes del rotor de la turbina Kaplan.
- Indicador de presión de 0 a 12 mH<sub>2</sub>O.
- Indicador de presión de -3 a 3 mH<sub>2</sub>O.

- Indicador de Imagen del dinamómetro captada por la cámara, muestra el rango de 0 a 250 newtons.
- Un led indicador del proceso para la toma de lectura del dinamómetro, se muestra de color amarillo cuando se espera la lectura, de color verde cuando la lectura está clara.
- Indicador de fuerza que muestra la lectura de 0 a 250 newtons.
- Indicador de caudal en Lt/s.
- Indicador de velocidad angular de 0 a 3000rpm.
- Botón de STOP.

Un OK button que se presiona cada vez que se necesite Adquirir los Datos para almacenarlos antes de generar el reporte.

Un push botton, se lo presionará antes de generar el reporte de datos para que se imprima el reporte en tiempo real una vez que se lo ha generado.

Un OK button para generar el reporte de datos una vez terminada la práctica.



*Figura 6.5* Panel frontal de la turbina Kaplan.

#### **6.4.6 Turbina Francis**

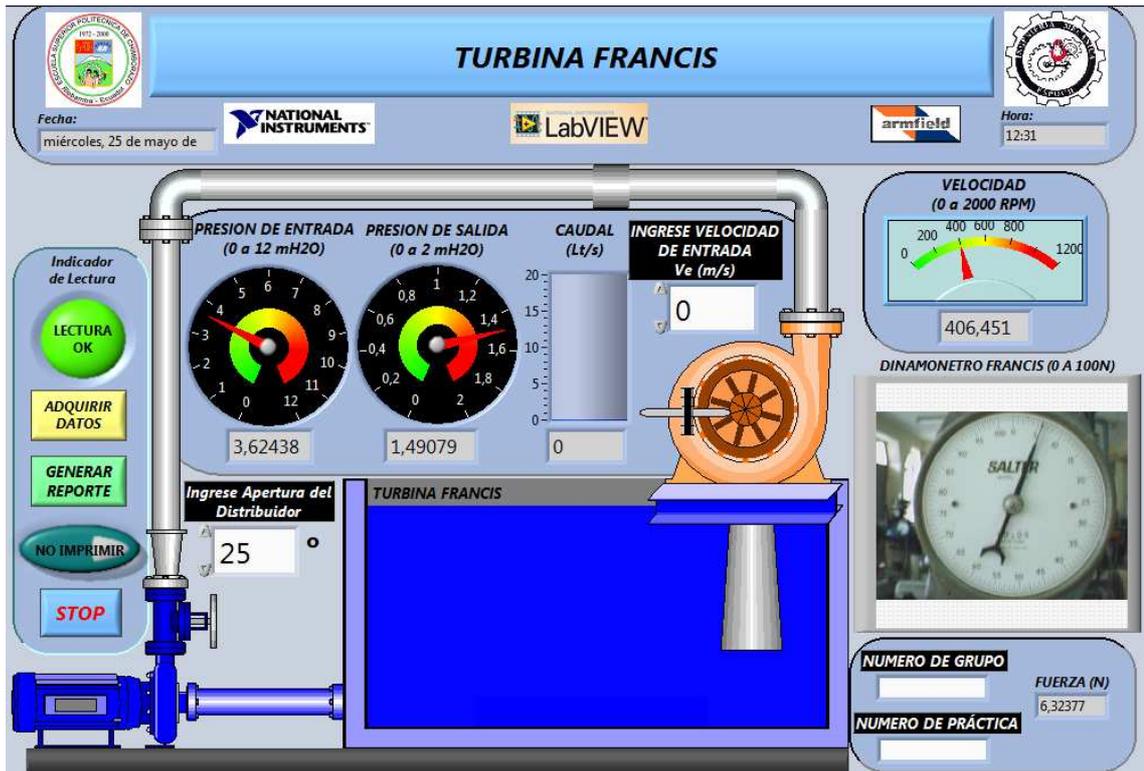
El panel frontal del VI de la turbina Francis contiene las siguientes características:

- Diagrama representativo del banco de pruebas de turbina Francis.
- Fecha de la práctica.
- Hora de la práctica.
- Control de texto donde se ingresa número de grupo que desarrolla la práctica.
- Control de texto donde se ingresa número de práctica.
- Control de texto donde se ingresa la velocidad de entrada  $V_e$  obtenida del medidor de caudal.
- Indicador de presión de 0 a 12 mH<sub>2</sub>O.
- Indicador de imagen del dinamómetro captada por la cámara, muestra el rango de 0 a 100 newtons.
- Un led indicador del proceso para la toma de lectura del dinamómetro, se muestra de color amarillo cuando se espera la lectura, de color verde cuando la lectura está clara.
- Indicador de fuerza que muestra la lectura de 0 a 100 N.
- Indicador de caudal en Lt/s.
- Indicador de velocidad angular de 0 a 1600 rpm.
- Botón de STOP.

Un OK button que se presiona cada vez que se necesite Adquirir los Datos para almacenarlos antes de generar el reporte.

Un push botton, se lo presionará antes de generar el reporte de datos para que se imprima el reporte en tiempo real una vez que se lo ha generado.

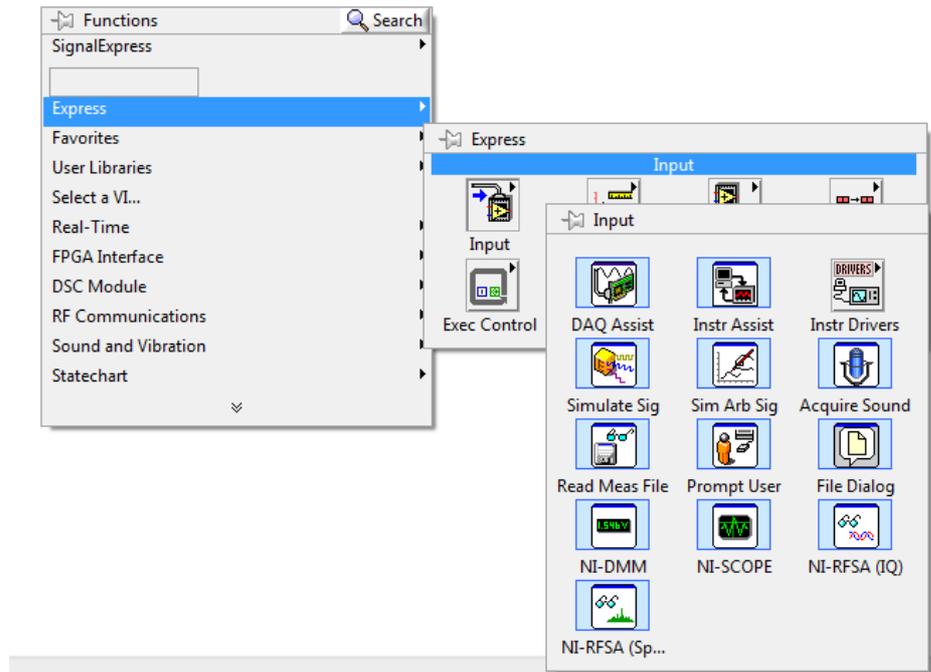
Un OK button para generar el reporte de datos una vez terminada la práctica.



*Figura 6.6* Panel frontal de la turbina Francis.

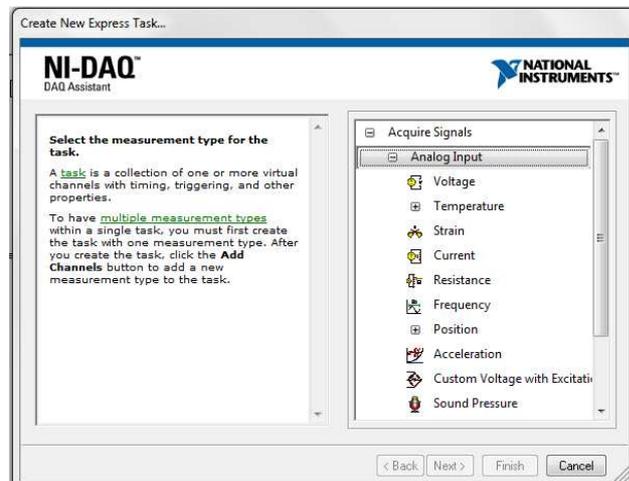
## 6.5 Configuración del DAQ assistant para la adquisición de datos

Para comenzar con la adquisición de Datos es necesario configurar el DAQ assistant, para cada uno de los VI's es decir para cada banco de pruebas, este icono se lo encuentra en las librerías express del programa, su función es la crear, editar y ejecutar tareas usando un NI-DAQmx.



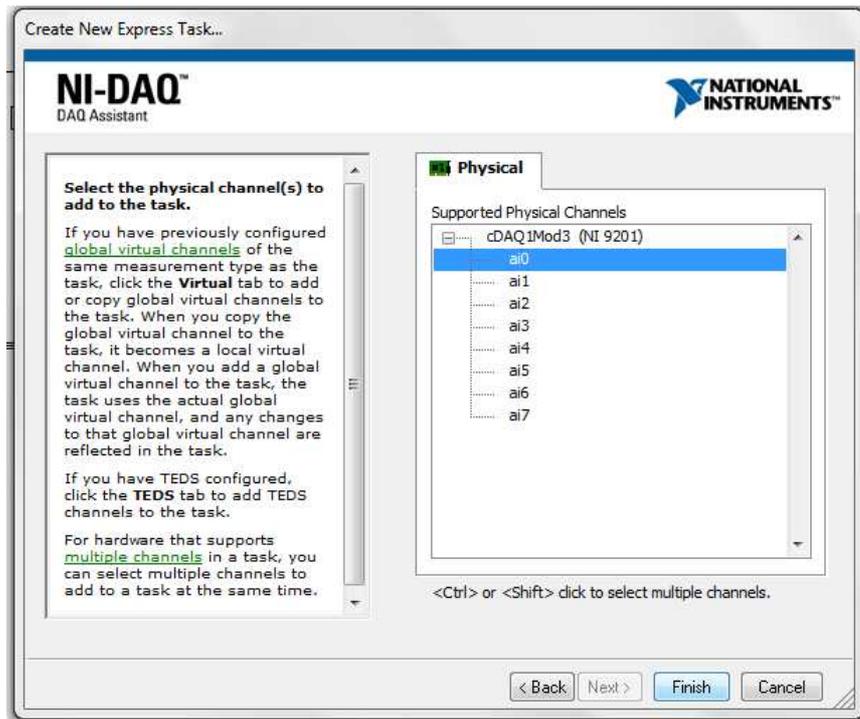
*Figura 6.7 DAQ Assistant ubicado desde la librería express.*

Permite de una manera rápida y sencilla configurar el NI compactDAQ 1972 para generar y adquirir señales tanto analógicas como digitales.



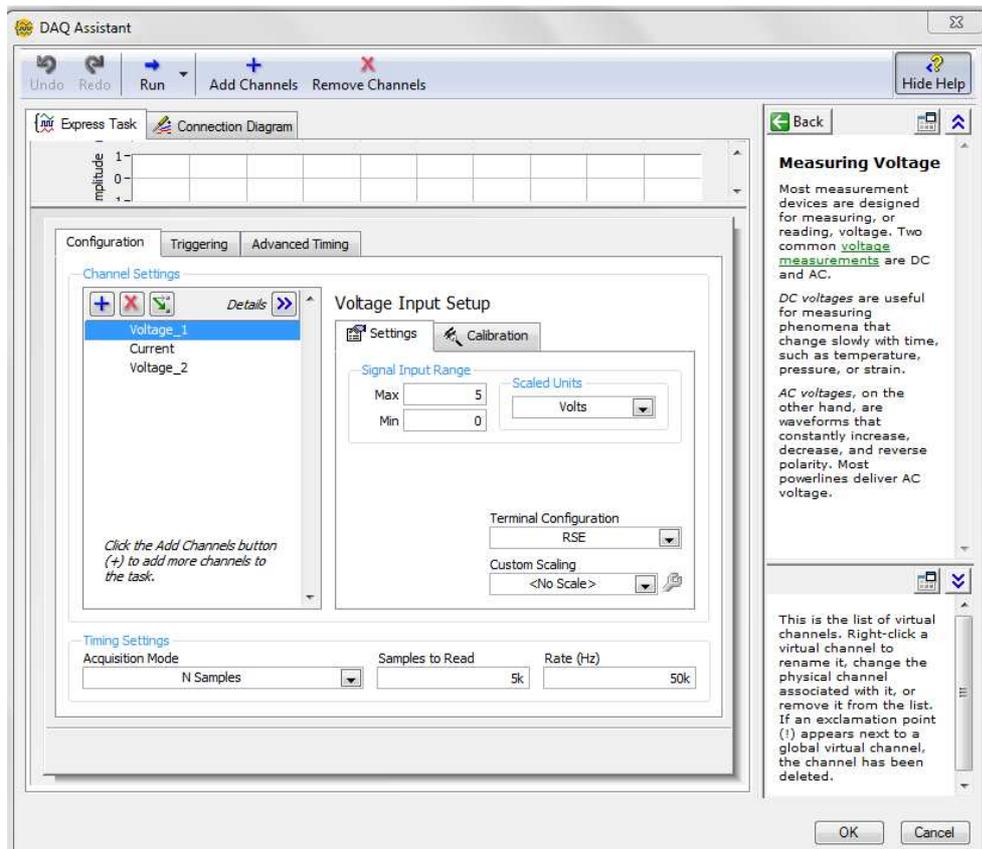
*Figura 6.8 Creando una nueva tarea express en el DAQ assistant.*

Una vez que se ha seleccionado el tipo de señal que se va a adquirir, el asistente muestra en la pantalla los canales físicos por donde se obtiene la señal con los que cuenta la tarjeta.



*Figura 6.9 Muestra los canales físicos de la tarjeta.*

Después de escoger el canal por los que se quiere recibir las señales, el DAQ assistant permite configurar el número y la frecuencia del muestreo, así como los rangos esperados de la señal a recibir.

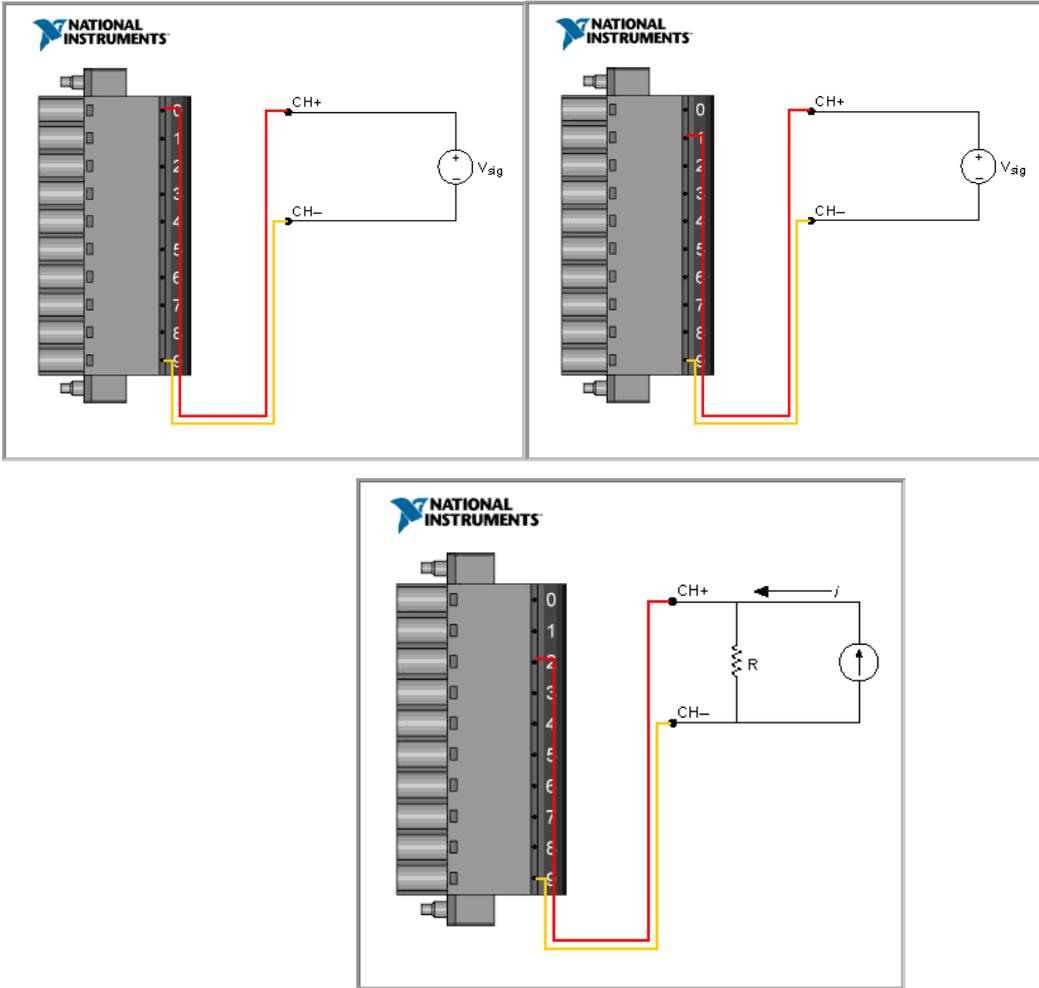


**Figura 6.10** Configuración de rangos para la adquisición.

Luego de haber fijado todos los parámetros con los que se va a realizar la adquisición para el primer canal, se puede adicionar con el icono más canales adicionales para adquirir más señales.

Una vez finalizada la configuración del NI compactDAQ se da clic en el botón OK y el programa genera un subVI, que obtendrá la señal y según la configuración del programa la mostrará en el panel frontal.

El asistente del programa brinda la posibilidad de observar cómo se encuentran conectados los diferentes sensores a cada uno de los canales mostrando el circuito de conexión. Como se muestra a continuación:



*Figura 6.11 Canales ocupados con los sensores de presión y la celda de carga.*

## 6.6 Visión artificial en LabVIEW

**Visión artificial**, proceso de extracción de información del mundo físico a partir de imágenes utilizando para ello un computador.

Comparación entre sistemas

- Sistema humano
  - Mejor capacidad de reconocimiento
  - Mejor adaptación a situaciones imprevistas
  - Utilización de conocimiento previo
  
- Sistema artificial
  - Mejor evaluación de magnitudes físicas
  - Buen desempeño de tareas rutinarias

### **Etapas de un sistema de visión artificial**

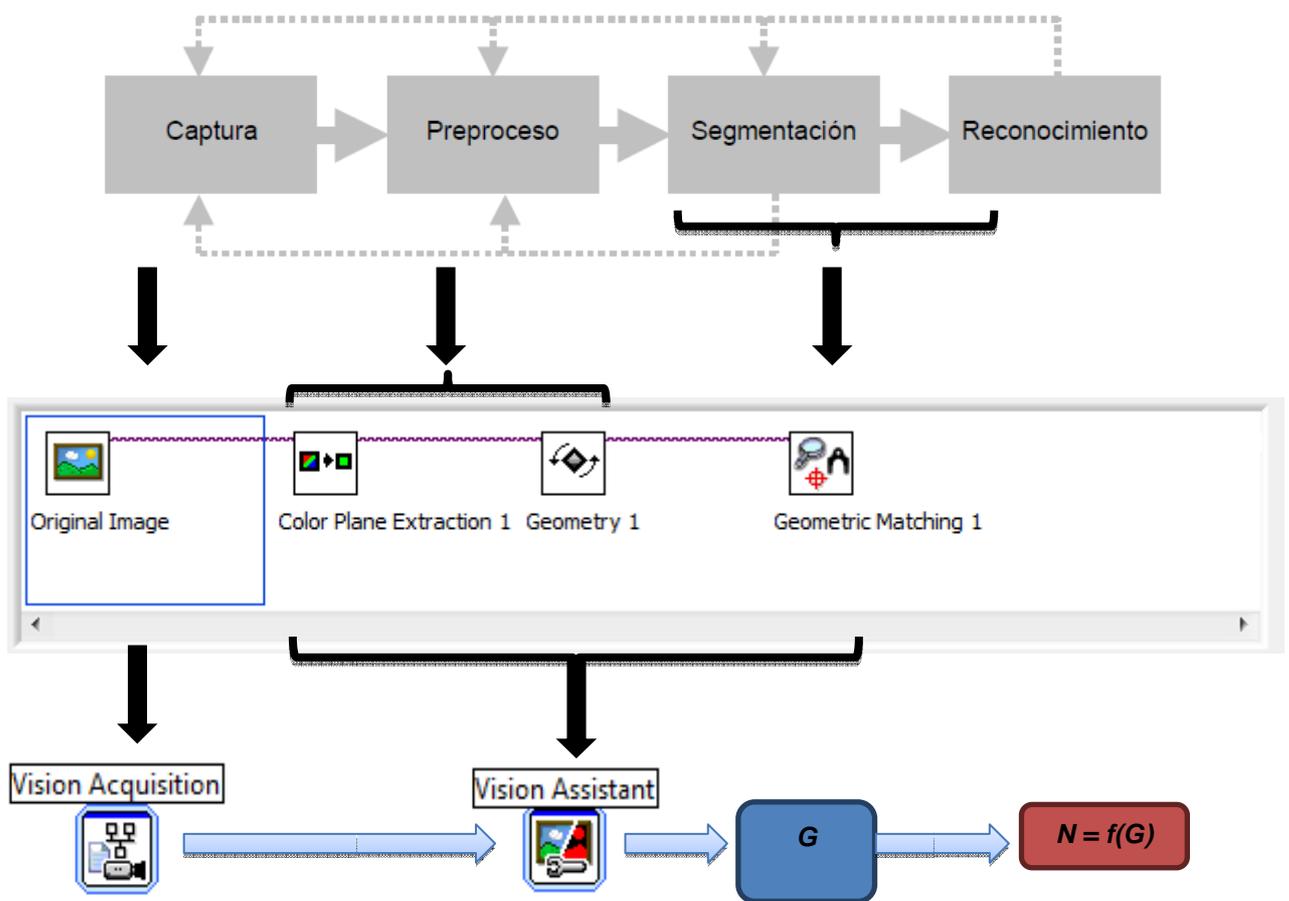
Se ha visto que el ser humano captura la luz a través de los ojos, y que esta información circula a través del nervio óptico hasta el cerebro donde se procesa.

Existen razones para creer que el primer paso de este procesado consiste en encontrar elementos más simples en los que descomponer la imagen (como segmentos y arcos). Después el cerebro interpreta la escena y por último actúa en consecuencia. La visión artificial, en un intento de reproducir este comportamiento, define tradicionalmente cuatro fases principales:

1. La primera fase, que es puramente sensorial, consiste en la **captura o adquisición de las imágenes digitales** mediante algún tipo de sensor.
2. 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 realizan partes interesantes de la misma.
3. La siguiente fase se conoce como **segmentación**, y consiste en aislar los elementos que interesan de una escena para comprenderla.

4. Por último se llega a la etapa de **reconocimiento o clasificación**. En ella se pretende distinguir los objetos segmentados, gracias al análisis de ciertas características que se establecen previamente para diferenciarlos.

Estas cuatro fases no se siguen siempre de manera secuencial, sino que en ocasiones deben realimentarse hacia atrás. Así, es normal volver a la etapa de segmentación si falla la etapa de reconocimiento, o a la de preproceso, o incluso a la de captura, cuando falla alguna de las siguientes:



G : grados sexagesimales

N : newtons

$N = f(G)$  : relación matemática fuerza (N) en función de la posición angular

(G)

## 6.7 NI Vision acquisition

Para los bancos de pruebas turbina Pelton, Francis y Kaplan es necesaria la ayuda de NI vision acquisition, esta es una herramienta muy eficaz obtener datos gracias a la visión artificial.

National instruments ha desarrollado NI vision acquisition software, siendo un programa de apoyo dentro del mismo LabVIEW, el cual permite de manera rápida y sencilla la adquisición de imágenes y videos en tiempo real de casi cualquier dispositivo como las cámaras video fotográficas como las unibrain fire.

El vision acquisition software incluye una completa librería de funciones de procesamiento de imágenes que permite desarrollar aplicaciones destinadas a la inspección automática de procesos como, revisar tolerancias en medidas de piezas terminadas, verificar etiquetas, contar píldoras, monitoreo de velocidades de procesos, leer o verificar textos en empaques, leer códigos de barra y muchas otras aplicaciones.

Para este proyecto el vision acquisition software, permite observar en tiempo real la variación de fuerza que se produce en los dinamómetros de las diferentes turbinas a través del panel frontal de cada cámara.

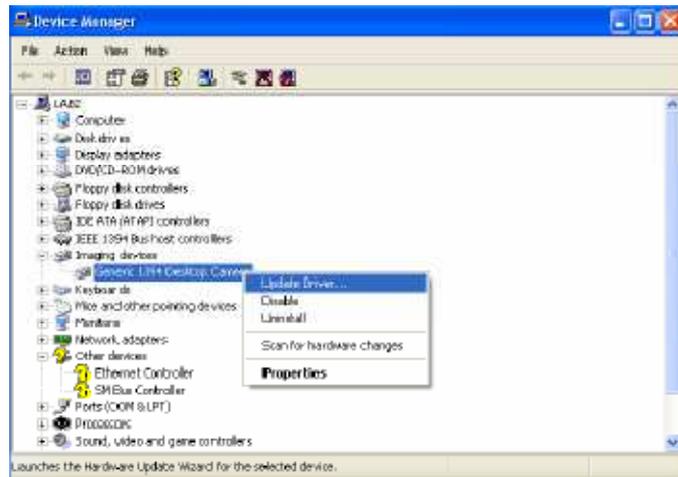
La cámara que se empleó para la adquisición de datos es una cámara digital unibrain fire-i, de la que se habló en el capítulo 3, posee una resolución de 640x480 y una adquisición de imágenes de 30fps.

En la primera conexión, la cámara será reconocida por microsoft windows y se instalará en el controlador genérico 1394 de cámaras de escritorio.



*Figura 6.12 Conexión de la cámara digital.*

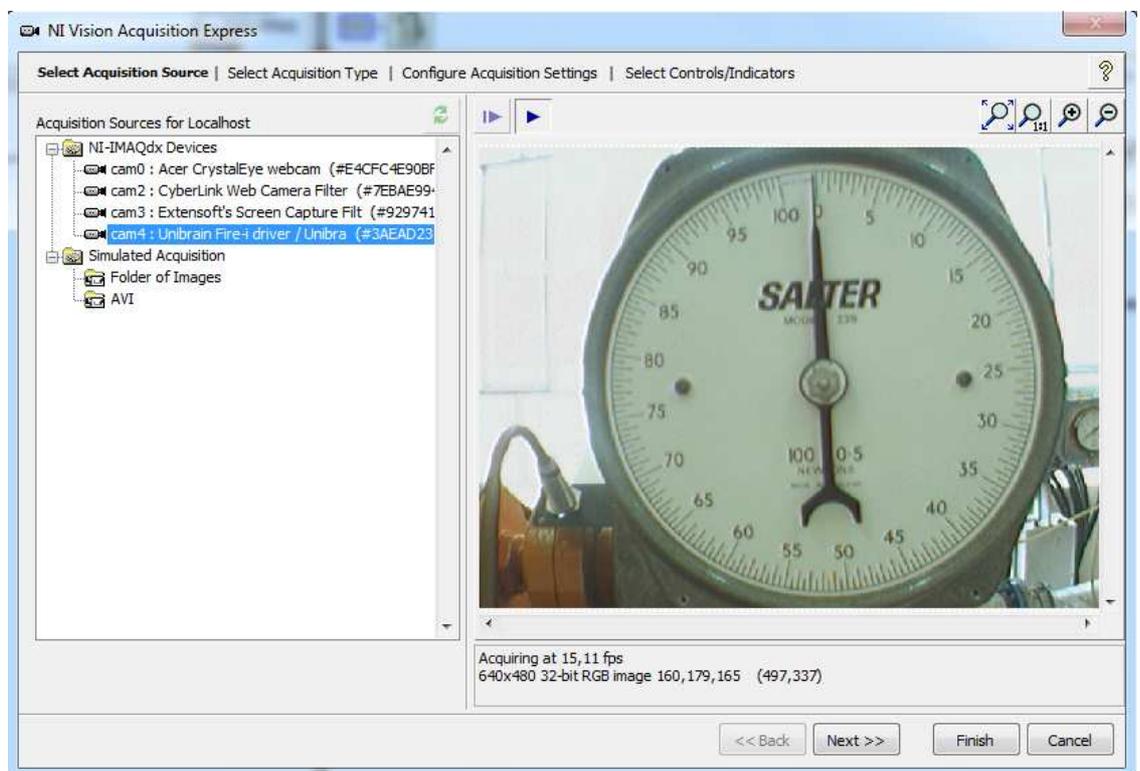
Por lo tanto, se debe abrir la ventana del administrador de dispositivos, buscar la nueva cámara y actualizar manualmente su controlador.



*Figura 6.13 Administrador de dispositivos*

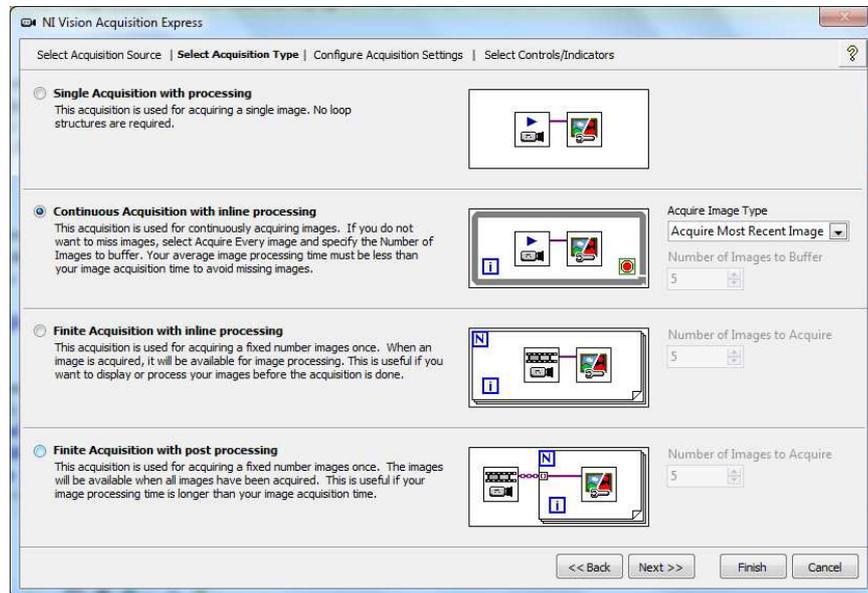
Una vez instalado el software de la Cámara digital para comenzar con la adquisición es primero configurar el NI vision acquisition Express de la siguiente manera:

Primero se selecciona el dispositivo del que se desea obtener el video de la lista de dispositivos disponibles como se ve a continuación.



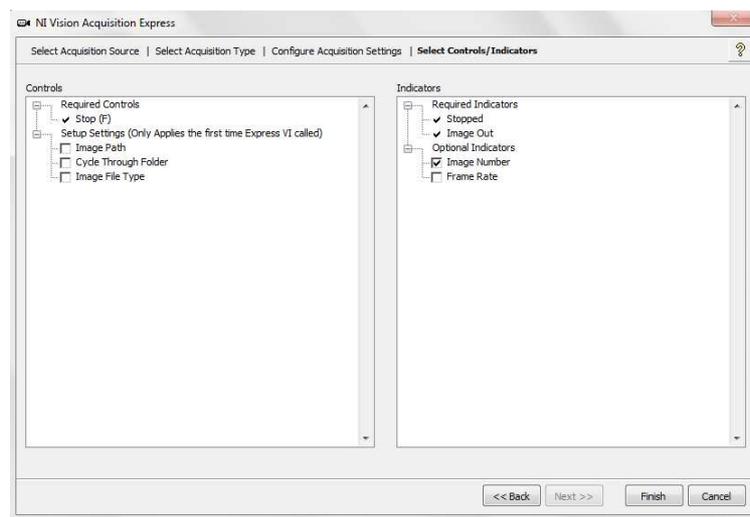
*Figura 6.14 Seleccionar la cámara digital.*

Una vez seleccionado el dispositivo se procede a seleccionar el tipo de adquisición que se va a realizar, para esta aplicación se elegirá adquisición continua con procesamiento interno.



**Figura 6.15** Selección de adquisición continua de datos.

Luego se selecciona la imagen patrón y el número de imágenes que va a adquirir la cámara resolución. Finalmente, en el siguiente cuadro de diálogo se seleccionan los indicadores y controles que se desean colocar en el VI.



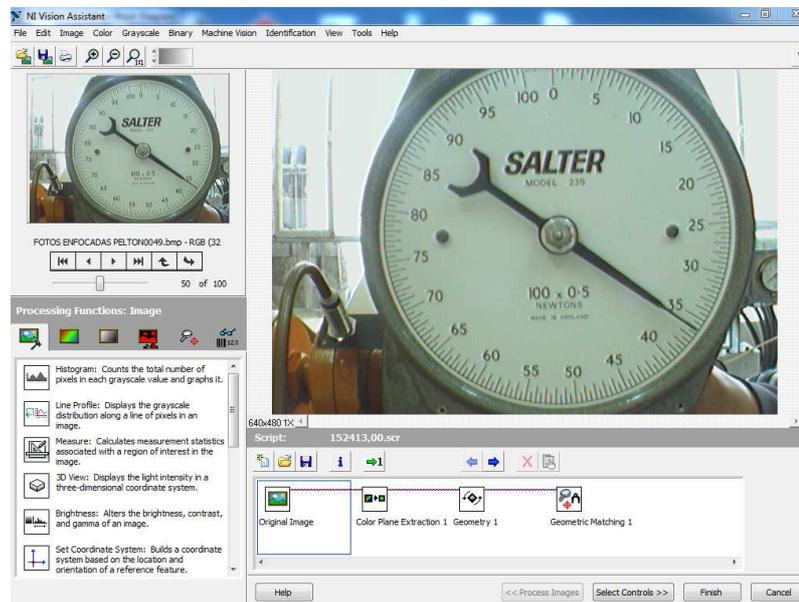
**Figura 6.16** Selección de controles e indicadores.

## 6.8 Visión artificial en LabVIEW mediante “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 se configura para que el software pueda arrojar los datos obtenidos.

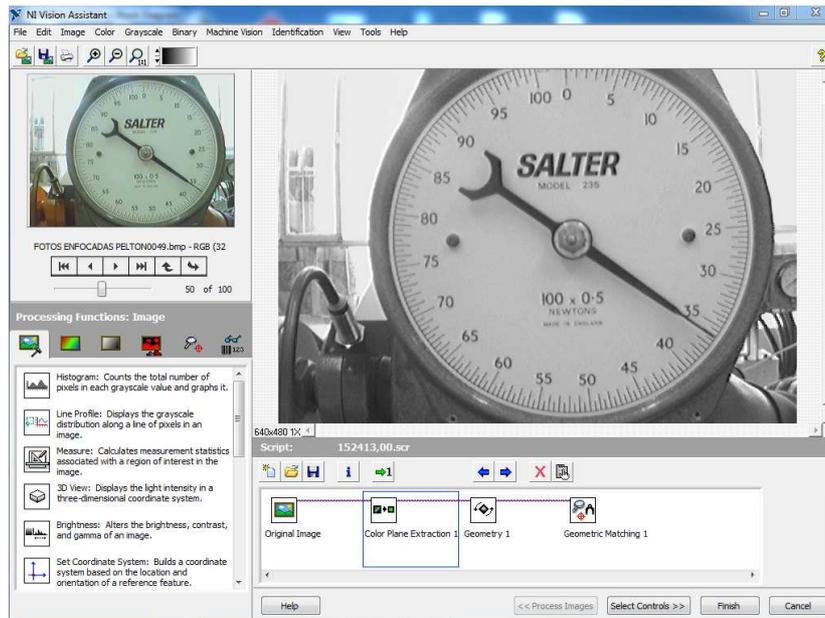
Para realizar la configuración en NI vision assistant es necesario seguir los siguientes pasos:

1. Se realiza la adquisición de la imagen:



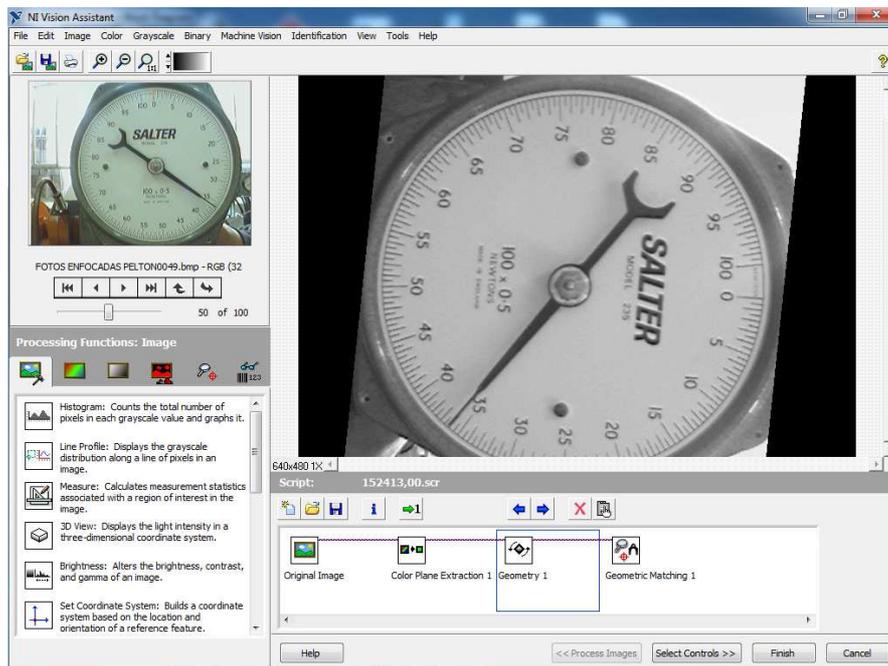
*Figura 6.17 Adquisición de la imagen.*

2. Es necesario crear un archivo patrón Se extrae el color de la imagen:



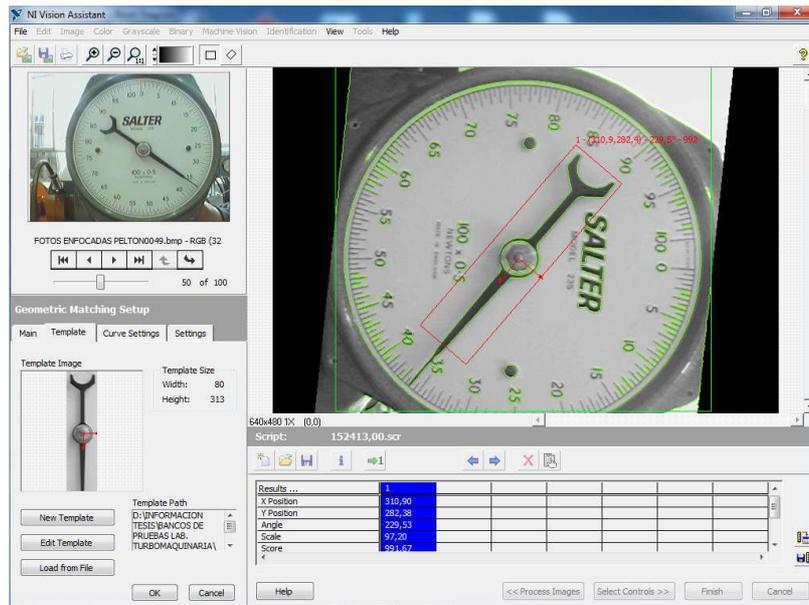
*Figura 6.18 Extracción del color.*

3. Rotación de la imagen:



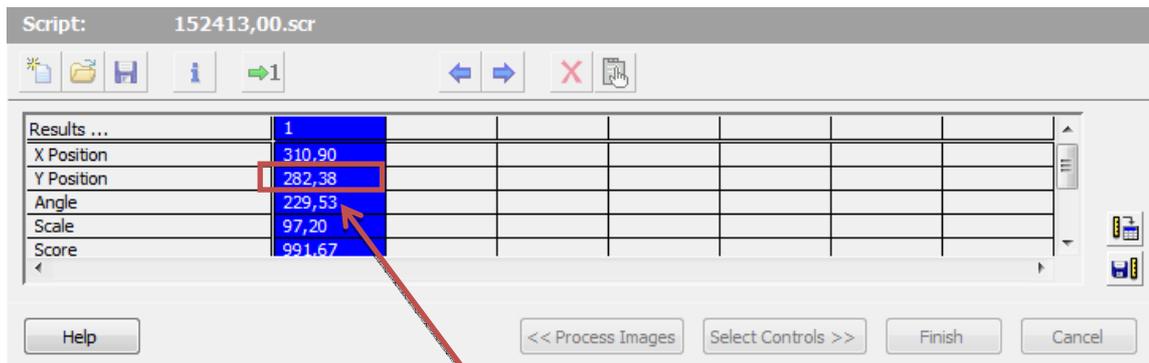
*Figura 6.19 Rotación de la imagen.*

4. Detección de la aguja del dinamómetro mediante template path (plantilla patrón):



*Figura 6.20 Localización de la aguja mediante una plantilla patrón.*

5. Resultados de la posición de la aguja detectada:

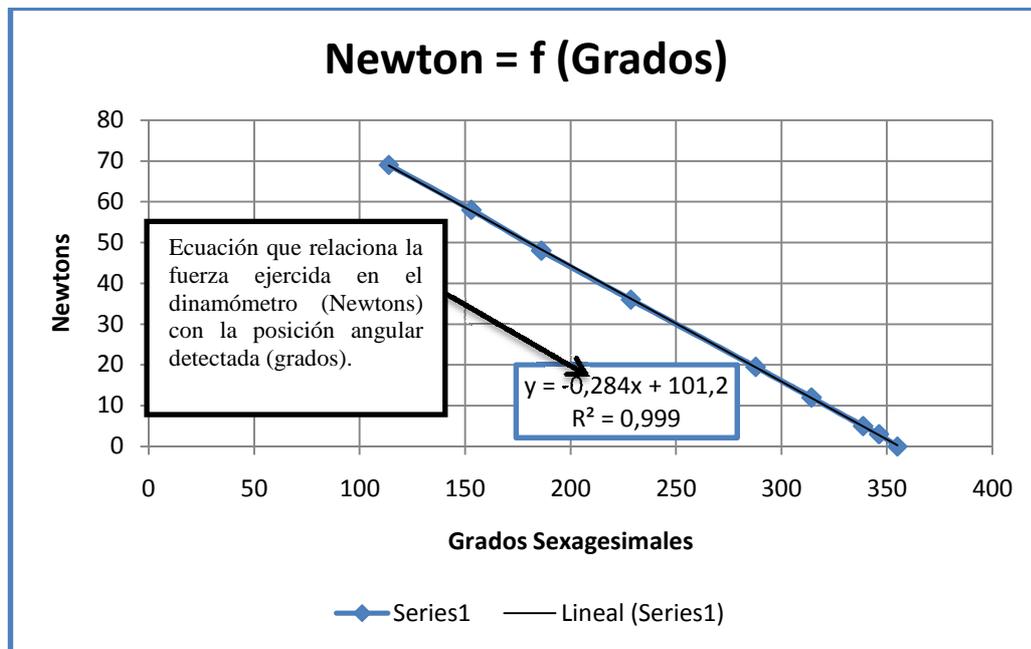


Ángulo de posición utilizado para transformar grados sexagesimales a newtons.

*Figura 6.21 Resultados de los ángulos de posición obtenidos.*

**TABLA 6.1** EN LA TABLA SE MUESTRA LA RELACIÓN ENTRE LOS GRADOS DE ROTACIÓN DE LA IMAGEN Y LOS NEWTONS QUE MIDE EL DINAMÓMETRO.

Grados	Newtons
354,94	0
346,23	3
338,72	5
314,24	12
287,75	19,5
228,54	36
186,08	48
152,89	58
113,79	69



**Figura 6.22** La gráfica muestra cómo se obtiene la ecuación de la lectura fuerza ejercida en el dinamómetro y la lectura obtenida por la cámara.

$$N = - 0,2845 * G + 101,26$$

Dónde:  $G$  = ángulo

$N$  = La fuerza en Newtons

La presente ecuación indica la relación matemática entre la fuerza ejercida en un dinamómetro de 0 a 100newtons instalado en la Turbina Pelton. La pendiente es negativa porque la escala del dinamómetro se encuentra en sentido horario.

## **6.9 Generación de reportes**

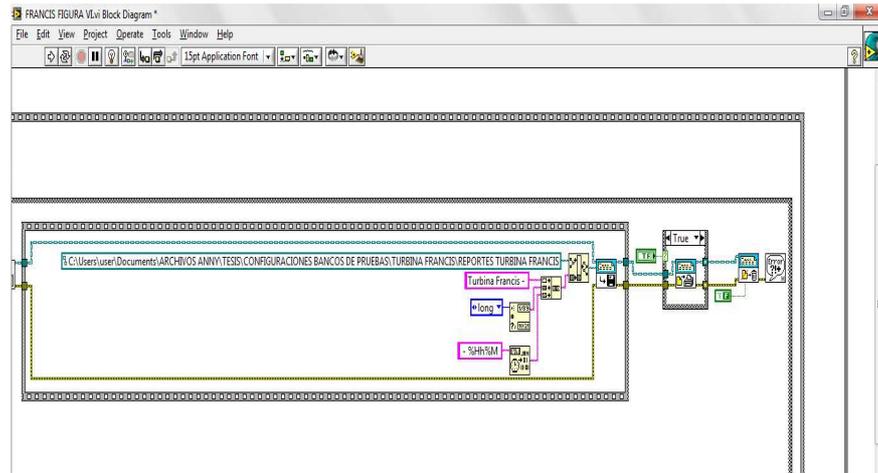
El análisis de datos y generación de reportes representa la integración de procesamiento de información, la generación de reportes en una aplicación de adquisición de datos. Funciones integradas son incluidas con LabVIEW para construir reportes personalizados rápida y fácilmente basados en sus medidas. 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 compactDAQ 1972, 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 bomba recíproca posterior a esto se coloca una imagen de las curvas que se graficaron en el LabVIEW.

Para realizar este proceso, cada vez que 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.



*Figura 6.23 Generación de reportes.*

## CAPÍTULO VII

### **7. PRUEBAS DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS EN LOS BANCOS AUTOMATIZADOS.**

Después de terminado con el montaje de los equipos, y la respectiva programación para cada uno de los bancos, se ha realizado pruebas preliminares de su funcionamiento, para ejecutar el desarrollo respectivo de las prácticas de laboratorio.

En los anexos se muestra las hojas de Guía del Laboratorio que se han utilizado para el desarrollo de la práctica.

#### **7.1 Bomba reciprocante**

Los datos para este banco de pruebas han sido obtenidos con la válvula de control en la descarga totalmente abierta, mientras se varía la válvula de control en la succión desde completamente abierta hasta casi totalmente cerrada, y de la misma manera con la válvula de control en la succión completamente abierta y la válvula de control en la descarga variándola desde completamente abierta hasta casi totalmente cerrada; con valores distintos en las revoluciones del motor.

##### **7.1.1 Cálculo tipo:**

Se realizó el cálculo tipo para la demostración, las ecuaciones que utiliza el VI para la automatización. Se seleccionó el punto de máxima eficiencia cuando se varía la apertura de la válvula de control en la descarga, a 700 rpm.

- *Apertura de válvula de succión*                       $V_S = \text{totalmente abierta}$
- *Apertura de válvula de descarga*                       $V_D = 6.3 \text{ Vueltas de cierre}$

##### **7.1.1.1 Datos técnicos del equipo:**

<i>Carrera del pistón</i>	$S = 41.3 \text{ mm}$
<i>Diámetro del pistón</i>	$D_P = 44.5 \text{ mm}$

Diámetro del eje	$D_E = 11.1 \text{ mm}$
Diámetros de succión y descarga	$D_S = D_d = 25.4 \text{ mm}$
Brazo del motor	$d = 200 \text{ mm}$
Relación de transmisión	$n = 5.14$

### 7.1.1.2 Variables medidas por los instrumentos utilizados en automatización:

Presión de Descarga	$P_d = 2.4705 \text{ bar} = 25.19209 \text{ mca}$
Presión de Succión	$P_s = -0.1373 \text{ bar} = -1.40007 \text{ mca}$
Caudal Real	$Q_R = 0.1228 \text{ Lt/s} = 0.0001228 \text{ m}^3/\text{s}$
Velocidad del motor de la bomba	$N_m = 689.538 \text{ RPM} (700\text{rpm})$
Fuerza ejercida por el brazo del motor	$F = 0.7176 \text{ kg}$

### 7.1.1.3 Variables calculadas por el programa la bomba reciprocante:

#### ➤ **CABEZA MANOMÉTRICA ( $H_m$ ):**

$$\frac{P_s}{\gamma} + \frac{V_s^2}{2g} + Z_s + H_m = \frac{P_d}{\gamma} + \frac{V_d^2}{2g} + Z_d \quad (1)$$

$$H_D = \frac{P_D}{\gamma} \quad \text{y} \quad H_S = \frac{P_S}{\gamma} \quad Z_D - Z_S \approx 0$$

Mediante las relaciones:

$$\Delta H = H_D - H_S$$

Los diámetros a la entrada y salida son iguales, por lo tanto  $V_S = V_D$  por lo cual:

$$H_m = H_D - H_S$$

$$H_m = 25.19209 - (-1.40007)$$

$$H_m = 26.5923 \text{ mca}$$

#### ➤ **VELOCIDAD DE LA BOMBA ( $N_B$ ):**

$$N_B = N_m / n = 689.538 / 5.14 = 134.1514 \text{ RPM}$$

$$N_B = 689.538 / 5.14$$

$$N_B = 134.1514 \text{ RPM}$$

$$\omega_B = 14.0483 \text{ rad/s}$$

➤ **CAUDAL TEÓRICO (  $Q_T$  ):**

Se calcula con mediante la expresión:

$$Q_T = V_T * \omega_B$$

donde:

$V_T$  = volumen teórico (  $m^3$  )

$\omega$  = velocidad angular de la bomba (rad/s )

$D_P$  = diámetro del pistón ( m )

$S$  = carrera del pistón ( m )

$$Q_T = \frac{\pi * S * \left( 1 - 0.5 * \left( \frac{D_E}{D_P} \right)^2 \right) * D_p^2}{2} * \omega_B$$

$$Q_T = \frac{\pi * 0.0413 * \left( 1 - 0.5 * \left( \frac{0.0111}{0.0445} \right)^2 \right) * 0.0445^2}{2} * 14.0483$$

$$Q_T = 0.0017486 m^3/s = 1.7486 \text{ Lt/s}$$

➤ **EFICIENCIA VOLUMÉTRICA (  $\eta_v$  ):**

$$\eta_v = \frac{Q_R}{Q_T} * 100$$

$$\eta_v = \frac{0.1228}{1.7486} * 100$$

$$\eta_v = 7.0241 \%$$

➤ **POTENCIA ÚTIL O HIDRÁULICA (  $P_u$  ) :**

$$P_u = \frac{\gamma * Q_R * H_m}{75} \text{ (CV)}$$

$$P_u = \frac{1000 * 0.0001228 * 26.5923}{75} \quad \text{dónde: } P_u = \text{potencia útil ( CV)}$$

$$P_u = 0.0435 \text{ CV}$$

$Q_R$  = caudal real (  $m^3/s$  )

$\gamma$  = peso específico (  $kg/ m^3$  )

$H_m$  = cabeza manométrica ( mca )

➤ **POTENCIA DE ACCIONAMIENTO (  $P_a$  ):**

$$P_a = F * d * N_m$$

donde: F = fuerza (kg)

d = brazo del motor

$N_m$  = rpm del motor

$$P_a = 0.001396 * F * d * N_m(\text{CV})$$

$$P_a = 0.001396 * 0.7176 * 0.2 * 689.538$$

$$P_a = 0.1382 \text{ CV}$$

➤ **EFICIENCIA TOTAL ( $\eta_T$ ):**

$$\eta_T = \frac{P_u}{P_a} * 100 \%$$

$$\eta_T = \frac{0.0435}{0.1382} * 100$$

$$\eta_T = 31.5225 \%$$

Luego de realizado el cálculo tipo de un conjunto de datos; a continuación se presentan los reportes de datos, donde se detallan todos los resultados obtenidos.

**7.1.2 Reportes de datos a 700 rpm, realizando variaciones de apertura de la válvula de control en la descarga:**

$N_m$  = revoluciones del motor de la bomba

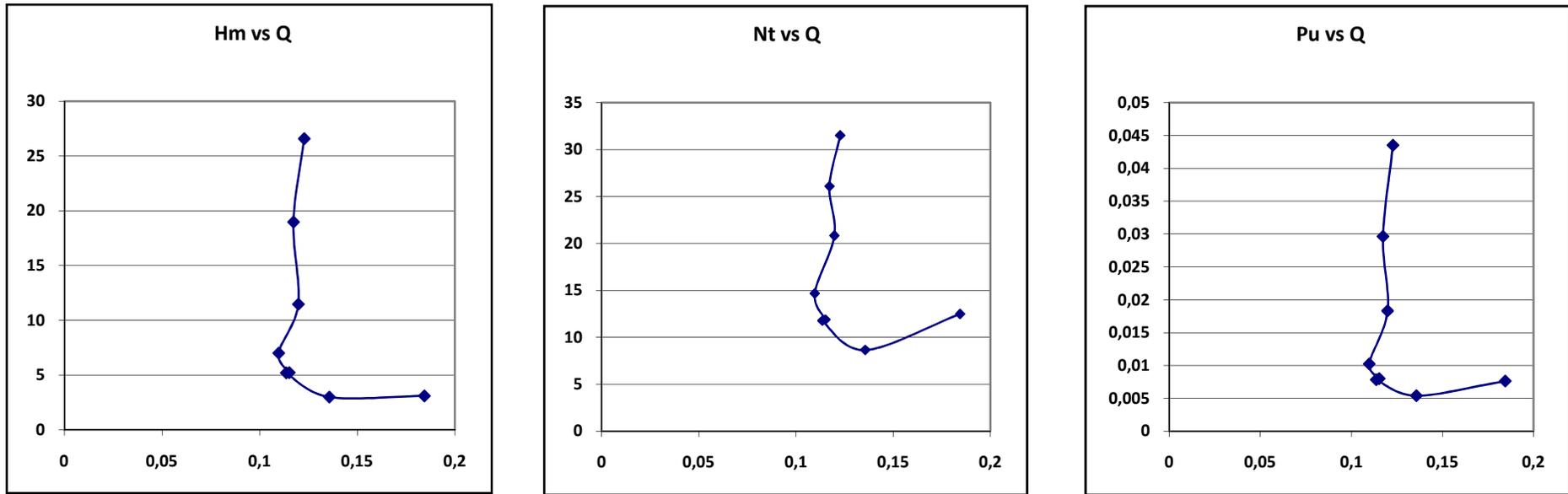
VSTA = válvula de succión totalmente abierta

Los reportes de datos se detallan a continuación:

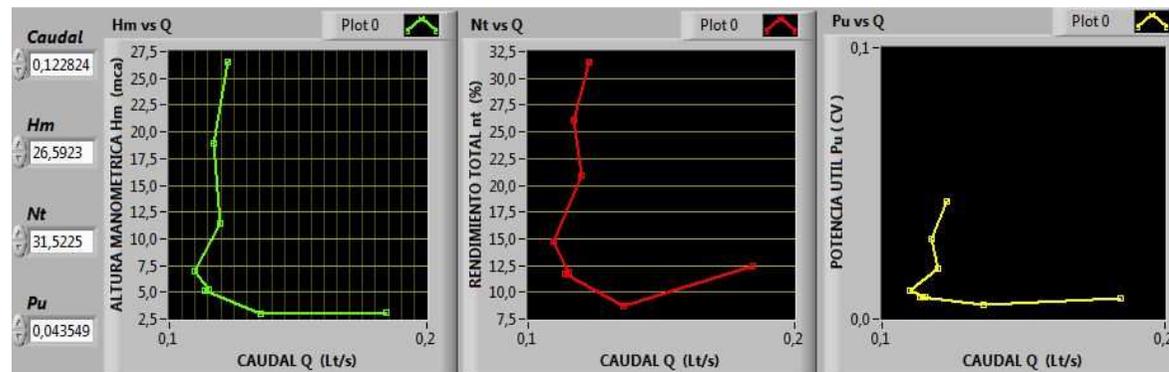
$N_m = 700 \text{ rpm} - \text{VSTA}$

**TABLA 7.1** TABLA PARA LECTURA Y CÁLCULOS DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA BOMBA RECIPROCANTE A 700 RPM Y VSTA.

<b>TABLA PARA LECTURA Y CÁLCULOS</b>														
<b>Apertura Válvulas</b>		<b>PRESIONES Y CAUDAL</b>				<b>VELOCIDAD Y POTENCIAS</b>								
<b>Succión</b>	<b>Descarga</b>	<b>Ps</b>	<b>Pd</b>	<b>Hm</b>	<b>QR</b>	<b>Nm</b>	<b>WB</b>	<b>NB</b>	<b>QT</b>	<b>W</b>	<b>ηv</b>	<b>Pu</b>	<b>Pa</b>	<b>ηt</b>
		<b>bar</b>	<b>bar</b>	<b>mca</b>	<b>Lt / s</b>	<b>rpm</b>	<b>rad/s</b>	<b>rpm</b>	<b>Lt / s</b>	<b>kg</b>	<b>%</b>	<b>CV</b>	<b>CV</b>	<b>%</b>
Totalmente Abierta	5 Vueltas de cierre	-0,1311	0,1741	3,1124	0,1844	699,3176	14,2476	136,0540	1,7734	0,3139	10,4006	0,0077	0,0613	12,49
Totalmente Abierta	5,5 Vueltas de cierre	-0,1317	0,1627	3,0022	0,1357	689,8101	14,0539	134,2043	1,7493	0,3255	7,7568	0,0054	0,0627	8,66
Totalmente Abierta	6 Vueltas de cierre	-0,1306	0,3797	5,2038	0,1137	696,1256	14,1825	135,4330	1,7653	0,3445	6,4389	0,0079	0,0670	11,78
Totalmente Abierta	6,06 Vueltas de cierre	-0,1383	0,3744	5,2282	0,1152	692,6128	14,1110	134,7496	1,7564	0,3490	6,5584	0,0080	0,0675	11,90
Totalmente Abierta	6,12Vueltas de cierre	-0,1389	0,5485	7,0097	0,1097	685,9926	13,9761	133,4616	1,7396	0,3644	6,3086	0,0103	0,0698	14,70
Totalmente Abierta	6,18Vueltas de cierre	-0,1337	0,9921	11,4794	0,1198	695,4988	14,1698	135,3111	1,7637	0,4530	6,7949	0,0183	0,0880	20,85
Totalmente Abierta	6,24Vueltas de cierre	-0,1362	1,7245	18,9745	0,1173	686,0273	13,9768	133,4684	1,7397	0,5937	6,7432	0,0297	0,1137	26,10
Totalmente Abierta	6,3 Vueltas de cierre	-0,1373	2,4705	26,5923	0,1228	689,5380	14,0483	134,1514	1,7486	0,7176	7,0241	0,0435	0,1382	31,52



*Figura 7.1* Curvas características de la bomba recíproca a 700 rpm y VSTA.



*Figura 7.2* Curvas características de la bomba recíproca a 700 rpm y VSTA, imagen programa LabVIEW.

**7.1.3 Reportes de datos a 700 rpm realizando variaciones de apertura de válvula de succión:**

$N_m$  = revoluciones del motor de la bomba

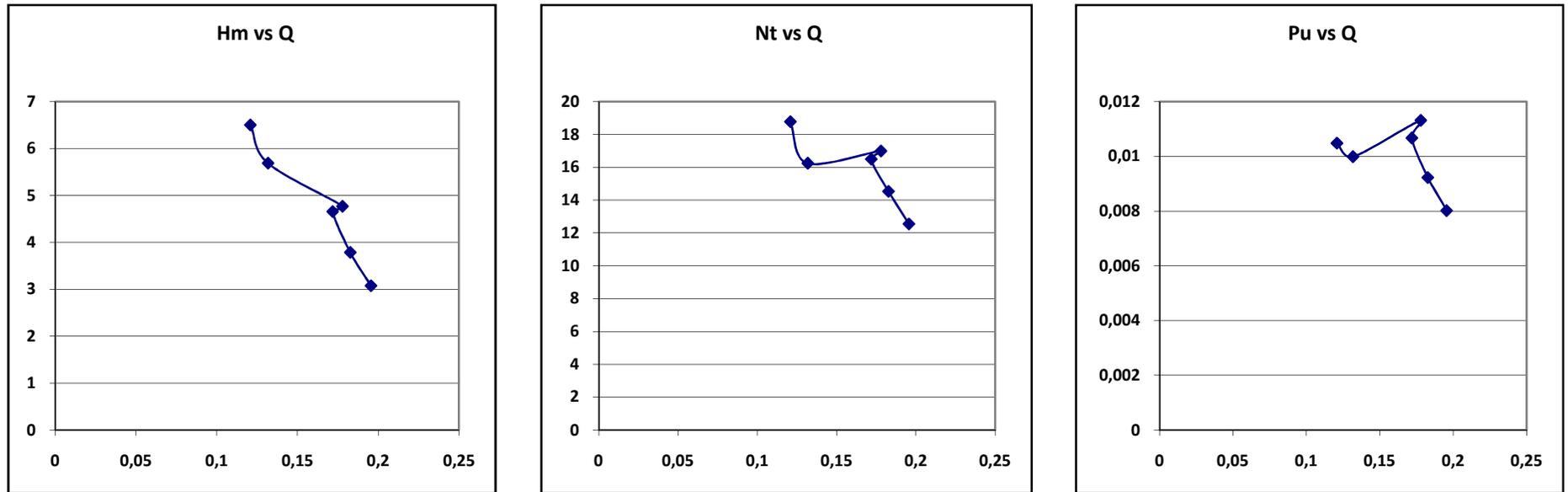
VDTA=válvula de descarga totalmente abierta

Los reportes de datos se detallan a continuación:

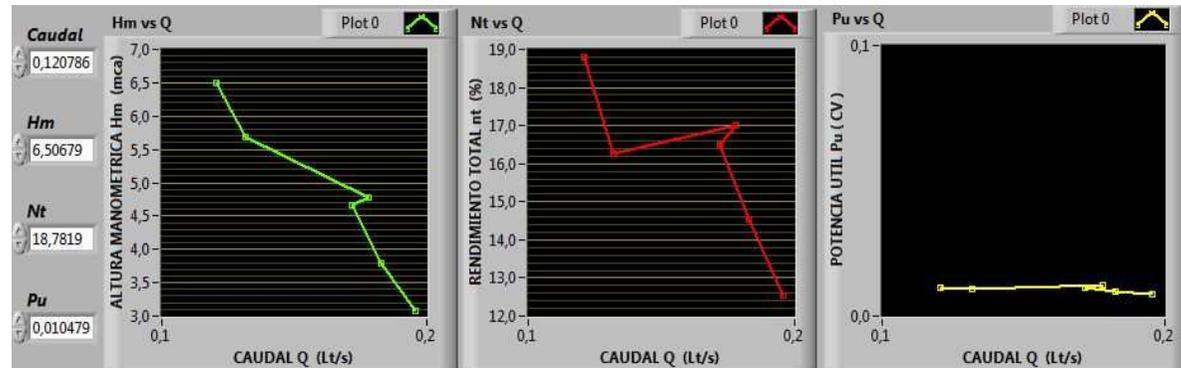
**$N_m = 700 \text{ rpm} - \text{VDTA}$**

**TABLA 7.2 TABLA PARA LECTURA Y CÁLCULOS DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA BOMBA RECIPROCANTE A 700 RPM Y VDTA.**

<b>TABLA PARA LECTURA Y CÁLCULOS</b>														
<b>Apertura Válvulas</b>		<b>PRESIONES Y CAUDAL</b>				<b>VELOCIDAD Y POTENCIAS</b>								
<b>Succión</b>	<b>Descarga</b>	<b>Ps</b>	<b>Pd</b>	<b>Hm</b>	<b>QR</b>	<b>Nm</b>	<b>WB</b>	<b>NB</b>	<b>QT</b>	<b>W</b>	<b><math>\eta_v</math></b>	<b>Pu</b>	<b>Pa</b>	<b><math>\eta_T</math></b>
		<b>bar</b>	<b>bar</b>	<b>mca</b>	<b>Lt / s</b>	<b>rpm</b>	<b>rad/s</b>	<b>rpm</b>	<b>Lt / s</b>	<b>kg</b>	<b>%</b>	<b>CV</b>	<b>CV</b>	<b>%</b>
5 Vueltas de cierre	Totalmente Abierta	-0,17	0,13	3,07	0,20	699,47	14,25	136,08	1,77	0,33	11,03	0,0080	0,06	12,55
5,25 Vueltas de cierre	Totalmente Abierta	-0,20	0,17	3,79	0,18	696,57	14,19	135,52	1,77	0,33	10,34	0,0092	0,06	14,53
5,50 Vueltas de cierre	Totalmente Abierta	-0,27	0,18	4,66	0,17	698,47	14,23	135,89	1,77	0,33	9,70	0,0107	0,06	16,50
5,75 Vueltas de cierre	Totalmente Abierta	-0,33	0,14	4,77	0,18	692,34	14,11	134,70	1,76	0,34	10,14	0,0113	0,07	17,00
6 Vueltas de cierre	Totalmente Abierta	-0,42	0,13	5,69	0,13	702,00	14,30	136,58	1,78	0,31	7,40	0,0100	0,06	16,25
6,1 Vueltas de cierre	Totalmente Abierta	-0,46	0,17	6,51	0,12	698,46	14,23	135,89	1,77	0,29	6,82	0,0105	0,06	18,78



*Figura 7.3* Curvas características de la bomba recíproca a 700 rpm y VDTA.



*Figura 7.4* Curvas características de la bomba recíproca a 700 rpm y VDTA, imagen programa LabVIEW.

## **7.2 Bomba centrífuga**

Los datos para este banco de pruebas han sido obtenidos con la válvula de control en la descarga desde totalmente abierta hasta casi completamente cerrada; con distintos valores para las revoluciones del motor.

### **7.2.1 Cálculo tipo:**

Se realizó el cálculo tipo para la demostración las ecuaciones que utiliza el programa para la adquisición de datos. Se seleccionó el punto de máxima eficiencia cuando se varía la apertura de la válvula de descarga, a 1000 rpm.

- *Apertura de válvula de succión*  $V_S = \text{totalmente abierta}$
- *Apertura de válvula de descarga*  $V_D = 5 \text{ Vueltas de cierre}$

#### **7.2.1.1 Datos técnicos del equipo:**

<i>Diámetros de succión</i>	$D_S = 2'' = 0.0508 \text{ m}$
<i>Diámetros de descarga</i>	$D_d = 1 \frac{1}{2}'' = 0.0381 \text{ m}$
<i>Brazo del motor</i>	$d = 0.25 \text{ m}$

#### **7.2.1.2 Variables medidas por los instrumentos utilizados en automatización:**

<i>Presión de Descarga</i>	$P_d = 1.8173 \text{ mca}$
<i>Presión de Succión</i>	$P_s = - 0.4905 \text{ mca}$
<i>Caudal</i>	$Q = 1.1338 \text{ Lt/s} = 0.001338 \text{ m}^3/\text{s}$
<i>Velocidad del motor de la bomba</i>	$N = 994.3913 \text{ RPM (1000rpm)}$
<i>Fuerza ejercida por el brazo del motor</i>	$F = 0.1213 \text{ kg}$

### 7.2.1.3 Variables calculadas por el programa de automatización:

➤ **CABEZA DIFERENCIAL DE LA BOMBA (Hm):**

$$\frac{P_S}{\gamma} + \frac{V_S^2}{2g} + Z_S + H_m = \frac{P_D}{\gamma} + \frac{V_D^2}{2g} + Z_D \quad (1) \quad H_D = \frac{P_D}{\gamma} \quad \text{y} \quad H_S = \frac{P_S}{\gamma}$$

$$Z_D - Z_S \approx 0$$

*Mediante las relaciones:*

$$V_D^2 = V_S^2 * \left(\frac{D_S}{D_D}\right)^4 \quad V_S^2 = \frac{Q^2}{A_S^2}$$

$$\Delta H = H_D - H_S$$

$$\Delta H = 1.8173 - (-0.4905)$$

$$\Delta H = 2.3078 \text{ m}$$

$$B = \frac{8 * (D_S^4 - D_D^4)}{\pi^2 * g * D_S^4 * D_D^4}$$

$$B = \frac{8 * (0.0508^4 - 0.0381^4)}{\pi^2 * 9.8 * 0.0508^4 * 0.0381^4}$$

$$B = 26834.57467 \frac{s^2}{m^5}$$

*Reemplazando todo en la ecuación 1*

$$H_m = \Delta H + B * Q^2$$

$$H_m = 2.3078 + 26834.57467 * 0.0011338^2$$

$$H_m = 2.3424 \text{ m}$$

*Donde:*

$H_D$  = presión producida en la descarga, medida por el transductor de presión manométrica

$H_S$  = presión producida en la succión, medida por el transductor de presión vacuométrica

$V_D$  = velocidad en la descarga

$V_s$  = velocidad en la succión

$H_m$  = altura generada o cabeza manométrica de la bomba

$B$  = constante que relaciona los diámetros de succión y descarga

➤ **POTENCIA ÚTIL O HIDRÁULICA (  $P_u$  ) :**

$$P_u = \frac{\gamma * Q * H_m}{75} \text{ (CV)}$$

$$P_u = \frac{1000 * 0.0011338 * 2.3424}{75}$$

$$P_u = 0.0354 \text{ CV}$$

donde:  $P_u$  = potencia útil ( CV )

$Q$  = caudal (  $m^3/s$  )

$\gamma$  = peso específico (  $kg/m^3$  )

$H_m$  = cabeza manométrica ( mca )

➤ **POTENCIA DE ACCIONAMIENTO (  $P_a$  ) :**

$$P_a = F * d * N_M$$

donde:  $F$  = fuerza (kg)

$N$  = RPM

$d$  = brazo del motor

$$P_a = 0.001396 * F * d * N_M \text{ (CV)}$$

$$P_a = 0.001396 * 0.1213 * 0.25 * 994.3913$$

$$P_a = 0.0421 \text{ CV}$$

➤ **EFICIENCIA TOTAL (  $\eta_t$  ) :**

$$\eta_t = \frac{P_u}{P_a} * 100 \%$$

$$\eta_t = \frac{0.0354}{0.0421} * 100$$

$$\eta_t = 84.1373 \%$$

Luego de realizado el cálculo tipo de un conjunto de datos; a continuación se presentan los reportes de datos, donde se detallan todos los resultados obtenidos.

**7.2.2 Reportes de datos realizando variaciones de apertura de válvula de descarga:**

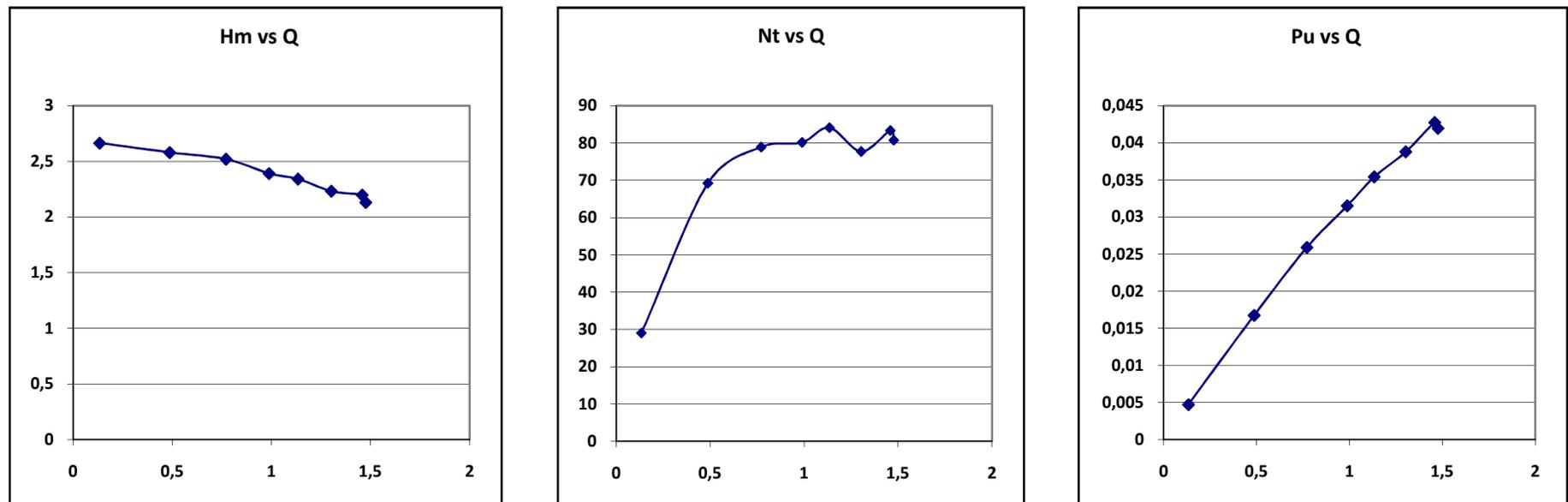
N = revoluciones de la bomba

VSTA = válvula de succión totalmente abierta

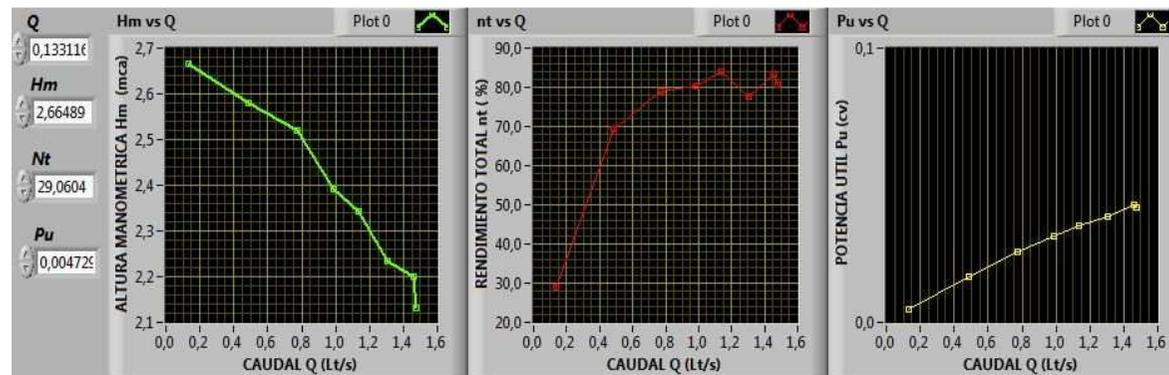
**N = 1000 rpm – VSTA**

**TABLA 7.3 TABLA PARA LECTURA Y CÁLCULOS DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA BOMBA CENTRÍFUGA A 1000 RPM Y VSTA.**

TABLA PARA LECTURA Y CÁLCULOS										
Apertura Válvulas		PRESIONES Y CAUDAL				POTENCIAS				
Succión	Descarga	Hs	Hd	Hm	Q	N	W	Pu	Pa	ηt
		mca	mca	mca	Lt/ s	rpm	Kg	CV	CV	%
Totalmente Abierta	2 Vueltas de cierre	-0,4918	1,5813	2,1315	1,4761	999,428	0,1489	0,042	0,0519	80,782
Totalmente Abierta	3 Vueltas de cierre	-0,4938	1,6481	2,1988	1,4577	996,7935	0,1474	0,0427	0,0513	83,3737
Totalmente Abierta	4 Vueltas de cierre	-0,4913	1,6965	2,2333	1,3027	1000,1006	0,143	0,0388	0,0499	77,7396
Totalmente Abierta	5 Vueltas de cierre	-0,4905	1,8173	2,3424	1,1338	994,3913	0,1213	0,0354	0,0421	84,1373
Totalmente Abierta	5,5 Vueltas de cierre	-0,4887	1,8778	2,3928	0,988	984,0329	0,1145	0,0315	0,0393	80,1909
Totalmente Abierta	6 Vueltas de cierre	-0,4876	2,0164	2,5199	0,7709	992,2439	0,0948	0,0259	0,0328	78,9318
Totalmente Abierta	6,5 Vueltas de cierre	-0,4869	2,0873	2,5805	0,4868	1002,883	0,0691	0,0168	0,0242	69,23
Totalmente Abierta	7 Vueltas de cierre	-0,4898	2,1746	2,6649	0,1331	996,2046	0,0468	0,0047	0,0163	29,0604



*Figura 7.5* Curvas características de la bomba centrífuga a 1000 rpm y VSTA.

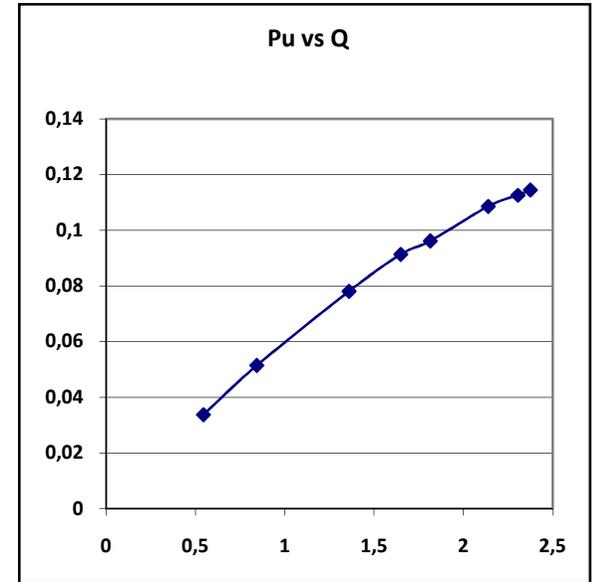
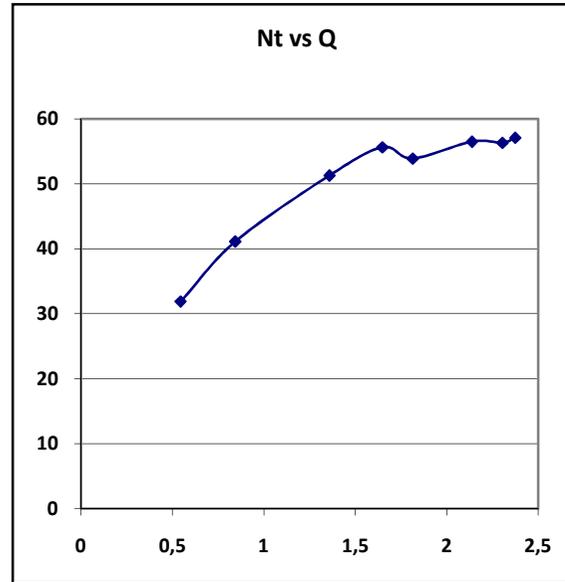
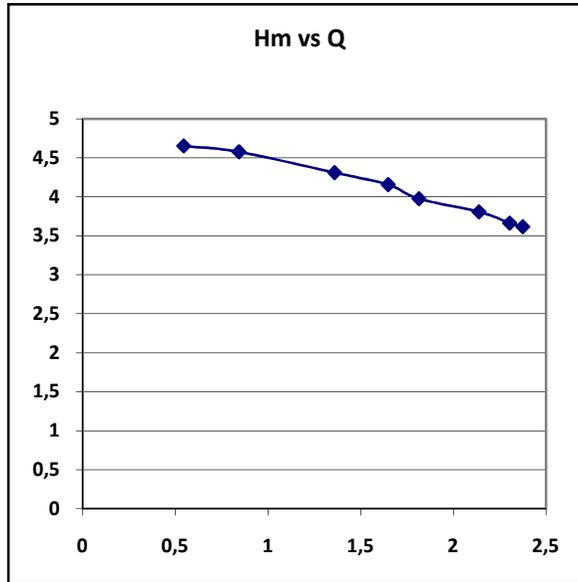


*Figura 7.6* Curvas características de la bomba centrífuga a 1000 rpm y VSTA, imagen programa LabVIEW.

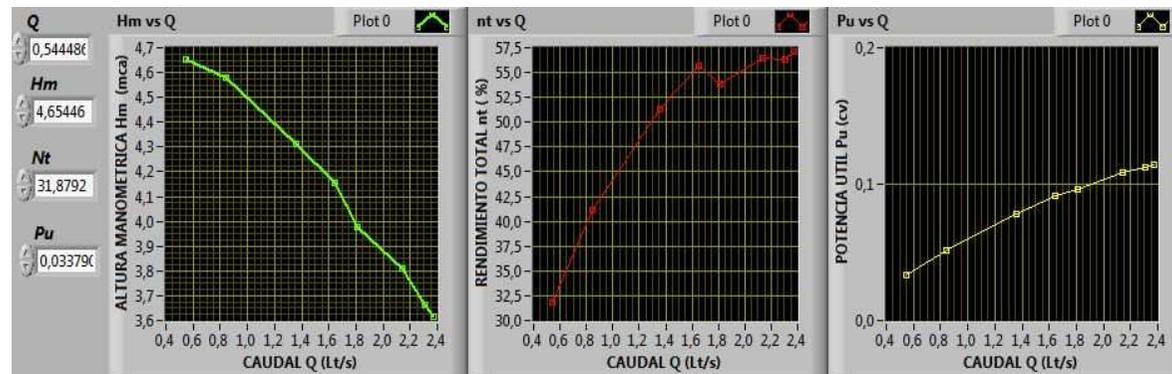
**N = 1400 rpm - VSTA**

**TABLA 7.4** TABLA PARA LECTURA Y CÁLCULOS DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA BOMBA CENTRÍFUGA A 1400 RPM Y VSTA.

<b>TABLA PARA LECTURA Y CÁLCULOS</b>										
<b>Apertura Válvulas</b>		<b>PRESIONES Y CAUDAL</b>				<b>POTENCIAS</b>				
<b>Succión</b>	<b>Descarga</b>	<b>Hs</b>	<b>Hd</b>	<b>Hm</b>	<b>Q</b>	<b>N</b>	<b>W</b>	<b>Pu</b>	<b>Pa</b>	<b>ηt</b>
		<b>mca</b>	<b>mca</b>	<b>mca</b>	<b>Lt/ s</b>	<b>rpm</b>	<b>Kg</b>	<b>CV</b>	<b>CV</b>	<b>%</b>
Totalmente Abierta	2 Vueltas de cierre	-0,5064	2,9591	3,6168	2,3753	1400,6036	0,4102	0,1145	0,2005	57,1211
Totalmente Abierta	3 Vueltas de cierre	-0,5024	3,0196	3,6646	2,3049	1406,3347	0,4073	0,1126	0,1999	56,3383
Totalmente Abierta	4 Vueltas de cierre	-0,5211	3,1652	3,809	2,1385	1400,8186	0,3931	0,1086	0,1922	56,5148
Totalmente Abierta	5 Vueltas de cierre	-0,5031	3,385	3,9765	1,8146	1400,0629	0,3653	0,0962	0,1785	53,8982
Totalmente Abierta	5,5 Vueltas de cierre	-0,5014	3,5824	4,1568	1,6487	1398,7354	0,3364	0,0914	0,1642	55,6385
Totalmente Abierta	6 Vueltas de cierre	-0,4957	3,7669	4,3122	1,3592	1405,7501	0,3105	0,0781	0,1523	51,3019
Totalmente Abierta	6,5 Vueltas de cierre	-0,5012	4,0575	4,5778	0,8437	1403,7921	0,2556	0,0515	0,1252	41,1284
Totalmente Abierta	7 Vueltas de cierre	-0,5091	4,1374	4,6545	0,5445	1405,6315	0,2161	0,0338	0,106	31,8792



*Figura 7.7 Curvas características de la bomba centrífuga a 1400 rpm y VSTA.*



*Figura 7.8 Curvas características de la bomba centrífuga a 1400 rpm y vsta, imagen programa LabVIEW.*

### 7.3 Bomba axial

Se han obtenido los datos para este banco de pruebas con la válvula de descarga desde totalmente abierta variándola hasta el 85% de cierre y la válvula de succión completamente abierta, variando la apertura de los álabes del rotor desde 1°, 8°, 15°, 22°, 29°; luego se seguirá el mismo procedimiento con la válvula de succión al 50% de apertura.

#### 7.3.1 Cálculo tipo:

Se realizó el cálculo tipo para la demostración las ecuaciones que utiliza el programa para la adquisición de datos. Se seleccionó el punto de máxima eficiencia cuando se varía la apertura de la válvula de descarga a 15° de apertura de los álabes del distribuidor y válvula de succión abierta al 50%.

- *Apertura de válvula de succión*       $V_S = \text{cincuenta por ciento abierta}$
- *Apertura de válvula de descarga*       $V_D = \text{cincuenta por ciento abierta}$

#### 7.3.1.1 Datos técnicos del equipo:

*Diámetros de succión*       $D_S = 11'' = 0.2794 \text{ m}$

*Diámetros de descarga*       $D_d = 14'' = 0.3556 \text{ m}$

*Brazo del motor*       $d = 0.365 \text{ m}$

#### 7.3.1.2 Variables medidas por los instrumentos utilizados en automatización:

*Presión de Descarga*       $P_d = 4.9361 \text{ mca}$

*Presión de Succión*       $P_s = - 0.3189 \text{ mca}$

*Altura Diferencial*       $h_v = 0.8682 \text{ mca}$

*Velocidad del motor de la bomba*       $N_M = 1184.6 \text{ RPM (1200rpm)}$

*Fuerza ejercida por el brazo del motor*       $F = 36.552 \text{ kg}$

### 7.3.1.3 Variables calculadas por el programa de automatización:

➤ **CÁLCULO DEL CAUDAL ( Q ):**

$$Q = Cq * Ao * \sqrt{2 * g * h_v} \text{ [ m}^3 \text{ / s ]}$$

Donde:  $h_v$  = altura diferencial [ mca ]

$Ao$  = área del orificio [ m<sup>2</sup>]

$Cq$  = coeficiente de gasto

$Ad$  = área de la tubería de descarga [ m<sup>2</sup>]

$m$  = relación de áreas

Para realizar el cálculo del caudal es necesario encontrar el Coeficiente de Gasto  $Cq$ , el cual depende de la relación de áreas  $m$  y el número de Reynolds  $Re$ .

Donde  $m = \frac{Ao}{Ad}$

$$m = \frac{Do^2}{De^2} = \frac{(0.260096)^2}{(0.3333)^2} = 0,6090 \quad (\text{relación entre áreas})$$

Para el cálculo del número de Reynolds encontramos la rugosidad relativa del Hierro Galvanizado con el diámetro interior de la Tubería  $De$  con las tablas que se observan en el *Anexo 8* y *9*.

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,15}{333.3} = 0.00045 \quad (\text{Rugosidad relativa})$$

Una vez encontrada la rugosidad relativa en el diagrama de Moody en el *Anexo 8* con el diámetro interior de la tubería hallamos el número de Reynolds, para un factor de rozamiento.

$$F=0.0165.$$

$$Re = 2.2 \times 10^6 \text{ (Reynolds)}$$

Y con la ayuda del *Anexo 9* encontramos

$$Cq = 0,746$$

$$Q = 0.746 * \frac{\pi}{4} * (0.260096)^2 * \sqrt{2 * 9.8 * 0.8682}$$

$$Q = 0.1638 \text{ m}^3/\text{s}$$

➤ **CABEZA MANOMÉTRICA ( $H_m$ ):**

$$\frac{P_S}{\gamma} + \frac{V_S^2}{2g} + Z_S + H_m = \frac{P_D}{\gamma} + \frac{V_D^2}{2g} + Z_D \quad (1)$$

$$H_m = \Delta P + \frac{V_D^2 - V_S^2}{2 * g} + \Delta Z$$

Donde:  $\Delta P$  = diferencia de presiones entre la succión y descarga [mca]

$V_D$  = velocidad a la descarga [m/s]

$V_S$  = velocidad a la succión [m/s]

$\Delta Z$  = diferencia de alturas entre la succión y descarga [ m ]

$$H_m = 4.9361 - (-0.3189) + \frac{(1.8726)^2 - (3.2244)^2}{2 * 9.8} + 0.70$$

$$H_m = 5.6035 \text{ mca}$$

➤ **POTENCIA ÚTIL O HIDRÁULICA ( $P_u$ ) :**

$$P_u = \frac{\gamma * Q * H_m}{75} \text{ donde:}$$

$P_u$  = potencia útil ( CV )

$Q_R$  = caudal real (  $\text{m}^3 / \text{s}$  )

$\gamma$  = peso específico (  $\text{kg} / \text{m}^3$  )

$H_m$  = cabeza manométrica ( mca )

$$Pu = \frac{1000 * 0,16338 * 5,6035}{75}$$

$$Pu = 12.207 \text{ CV}$$

➤ **POTENCIA DE ACCIONAMIENTO ( Pa ):**

$$Pa = F * d * N$$

donde:

Pa = Potencia de accionamiento

F = fuerza medida por la celda de carga (kg)

$$Pa = 0.001396 F * d * N$$

N = rpm

d = brazo del motor

$$Pa = 0.001396 * 36.552 * 0.365 * 1184.6$$

$$Pa = 22.063 \text{ CV}$$

➤ **EFICIENCIA TOTAL ( $\eta_t$ ):**

$$\eta_t = \frac{Pu}{Pa} * 100$$

$$\eta_t = \frac{12.207}{22.063} * 100$$

$$\eta_t = 55.328\%$$

Luego de realizado el cálculo tipo de un conjunto de datos; a continuación se presentan los reportes de datos, donde se detallan todos los resultados obtenidos.

### 7.3.2 Reportes de datos realizando variaciones de apertura de válvula de descarga y válvula de succión totalmente abierta:

VSTA = Válvula de succión totalmente abierta

Los reportes de datos se detallan a continuación:

#### Apertura de los álabes del rotor de 15° - VSTA

**TABLA 7.5** TABLA PARA LECTURA Y CÁLCULOS DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA BOMBA AXIAL, APERTURA DE LOS ÁLABES DEL ROTOR DE 15° Y VSTA.

Apertura de los álabes del rotor	APERTURA		PRESIONES		REV.	PRES. DIF.	CAUDAL			POTENCIAS				$\eta_t$
	Succión	Descarga	Ps	Pd	Nm	$h_v$	Q	Vs	Vd	W	Pa	Hm	Pu	
			mca	mca	rpm	mca	Lt/s	m/s	m/s	kg	CV	mca	CV	%
15	T.A.	-50%	0,2371	4,9238	1185,26	0,9171	167,92	3,3139	1,9246	35,0587	21,1733	5,0154	11,2291	53,0341
	T.A.	-55%	0,2652	5,2202	1183,77	0,8519	161,841	3,194	1,8549	35,837	21,6161	5,31	11,4584	53,0086
	T.A.	-60%	0,2902	5,494	1182,68	0,7813	154,994	3,0588	1,7765	36,5467	22,0238	5,5875	11,547	52,4296
	T.A.	-65%	0,3202	5,7766	1181,97	0,6929	145,962	2,8806	1,6729	37,2499	22,4341	5,8759	11,4354	50,9731
	T.A.	-70%	0,3652	6,1215	1180,16	0,5661	131,929	2,6036	1,5121	38,0759	22,8965	6,2272	10,9539	47,8409
	T.A.	-75%	0,4345	6,5721	1181,53	0,3869	109,07	2,1525	1,2501	39,1494	23,5695	6,681	9,7159	41,2225
	T.A.	-80%	0,4896	6,7852	1182,76	0,2259	83,3495	1,6449	0,9553	38,7479	23,352	6,9041	7,6727	32,8568
	T.A.	-85%	0,5276	6,6065	1182,5	0,1176	60,137	1,1868	0,6893	37,877	22,8221	6,7313	5,3974	23,6497
	T.A.	-90%	0,3651	7,1486	1176,96	0,0689	46,0162	0,9081	0,5274	40,2303	24,1264	7,4556	4,5744	18,9601
T.A.	-95%	0,2558	7,7432	1174,1	0,0393	34,7703	0,6862	0,3985	42,3988	25,3652	8,1715	3,7883	14,9351	

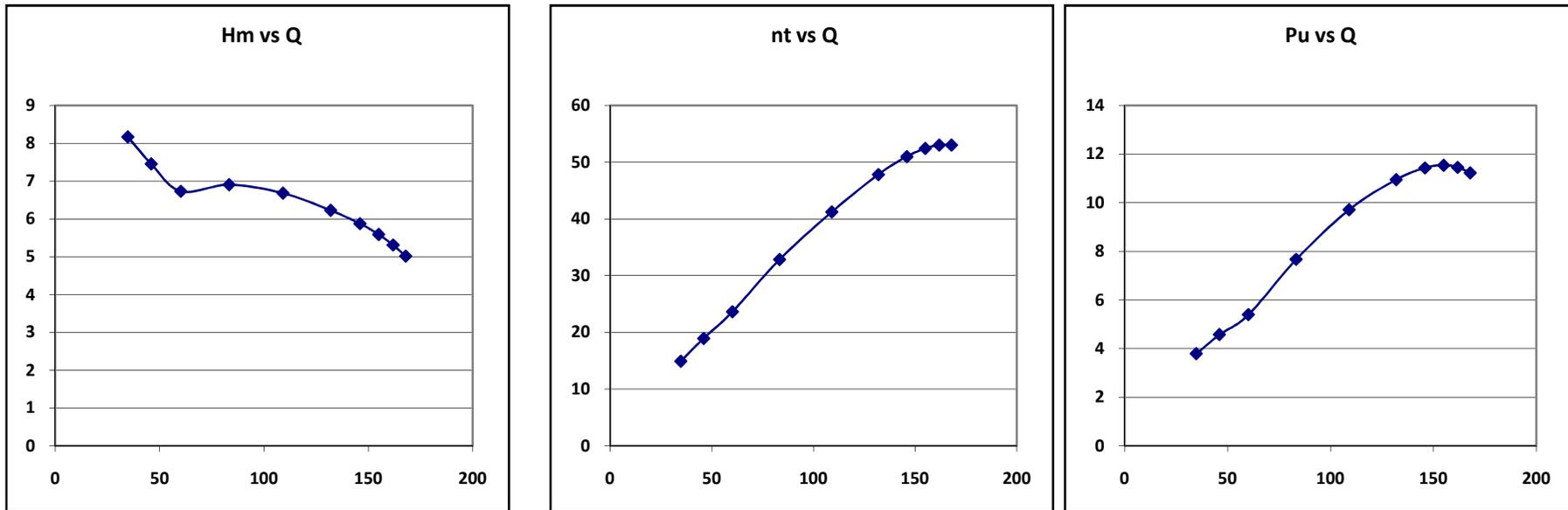


Figura 7.9 Curvas características de la bomba axial, apertura de los álabes del rotor de 15° y VSTA.

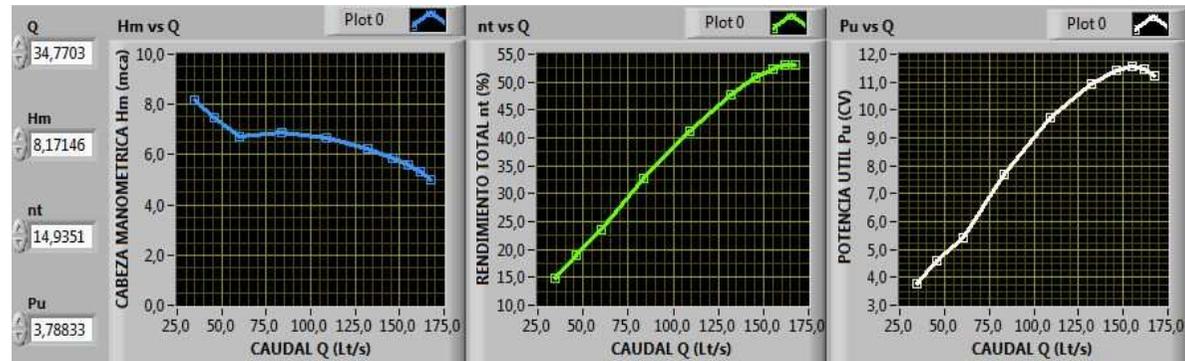


Figura 7.10 Curvas características de la bomba axial, apertura de los álabes del rotor de 15° y VSTA., imagen programa LabVIEW.

**7.3.3 Reportes de datos realizando variaciones de apertura de válvula de descarga y válvula de succión abierta al 50%:**

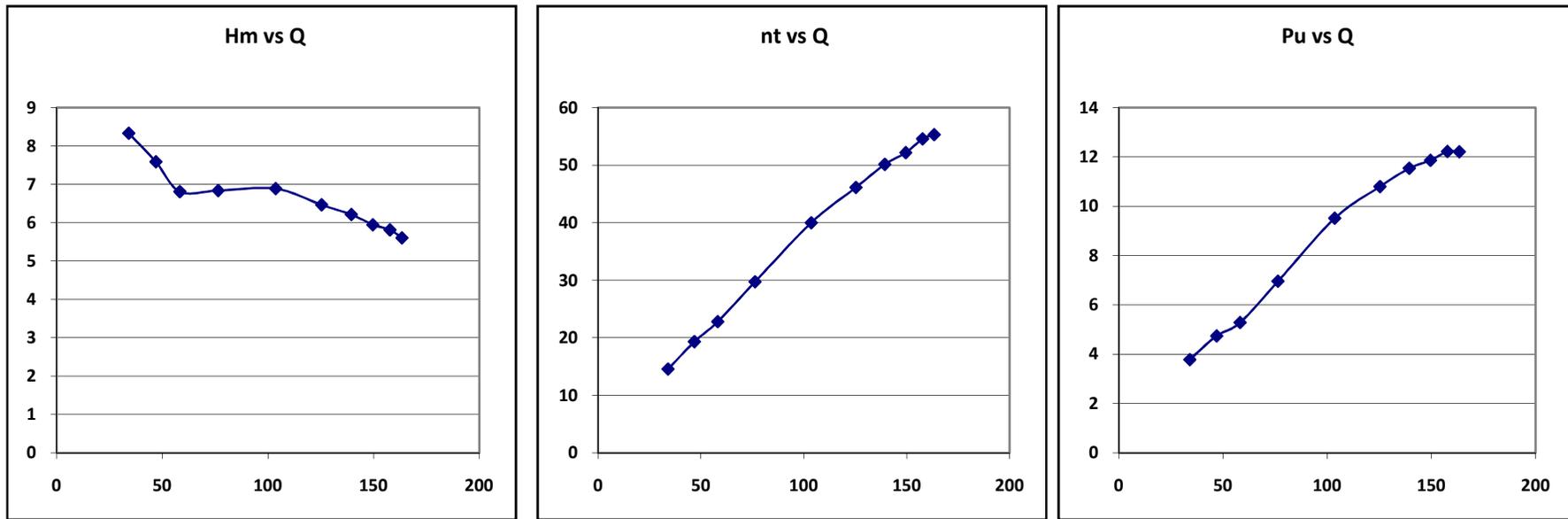
VSTA =válvula de succión totalmente abierta

Los reportes de datos se detallan a continuación:

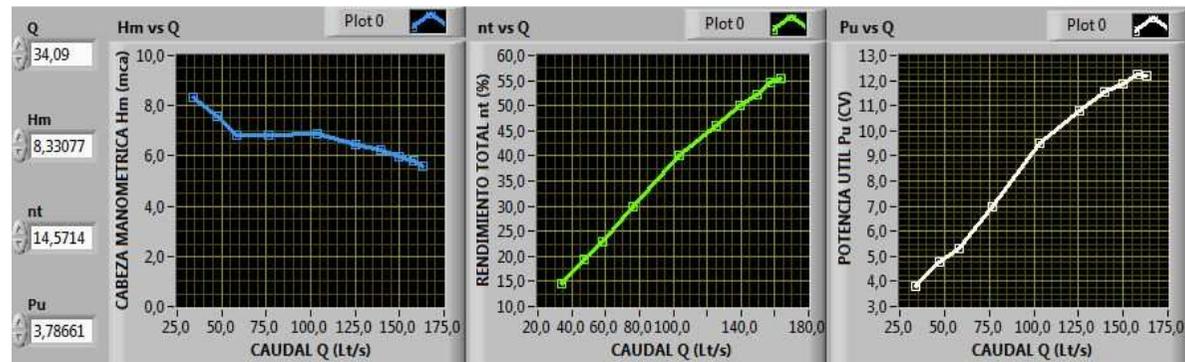
**Apertura de los álabes del rotor de 15° - VS50%**

**TABLA 7.6 TABLA PARA LECTURA Y CÁLCULOS DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA BOMBA AXIAL, APERTURA DE LOS ÁLABES DEL ROTOR DE 15° Y VS50%.**

Apertura de los álabes del rotor	APERTURA		PRESIONES		REV.	PRES. DIF.	CAUDAL			POTENCIAS				n <sub>t</sub>
	Succión	Descarga	Ps	Pd	Nm	h <sub>v</sub>	Q	Vs	Vd	W	Pa	Hm	Pu	
			mca	mca	rpm	mca	Lt/s	m/s	m/s	kg	CV	mca	CV	%
15	-50%	-50%	-0,3189	4,9361	1184,63	0,8682	163,385	3,2244	1,8726	36,5517	22,0632	5,6035	12,2071	55,3279
	-50%	-55%	-0,2453	5,1962	1182,07	0,8088	157,697	3,1122	1,8074	37,1757	22,3913	5,814	12,2247	54,5959
	-50%	-60%	-0,172	5,3714	1180,95	0,7276	149,572	2,9518	1,7143	37,7743	22,7303	5,9488	11,8637	52,193
	-50%	-65%	-0,0816	5,6858	1180,56	0,6321	139,412	2,7513	1,5979	38,2687	23,0202	6,2115	11,5461	50,1564
	-50%	-70%	0,0427	6,0131	1178,87	0,511	125,347	2,4737	1,4367	38,964	23,405	6,4635	10,8025	46,1545
	-50%	-75%	0,2237	6,5523	1179,91	0,3493	103,636	2,0453	1,1878	39,5652	23,7871	6,8871	9,5167	40,0078
	-50%	-80%	0,3824	6,5955	1178,41	0,1899	76,4205	1,5082	0,8759	38,9768	23,4035	6,8362	6,9657	29,7634
	-50%	-85%	0,4514	6,6068	1182,42	0,1103	58,2466	1,1495	0,6676	38,4807	23,1842	6,8108	5,2894	22,8147
	-50%	-90%	0,3105	7,2256	1178,62	0,0716	46,935	0,9263	0,5379	40,8937	24,5588	7,586	4,7473	19,3305
	-50%	-95%	0,2137	7,8597	1177,25	0,0378	34,09	0,6728	0,3907	43,3216	25,9867	8,3308	3,7866	14,5714



*Figura 7.11 Curvas características de la bomba axial, apertura de los álabes del rotor de 15° y VS50%.*



*Figura 7.12 curvas características de la bomba axial, apertura de los álabes del rotor de 15° y vs50%., imagen programa LabVIEW.*

## 7.4 Turbina Kaplan

En este banco de pruebas para obtener los datos, se debe cambiar el ángulo de los álabes del distribuidor variándolo cada 5° desde los 40° hasta llegar a 5°, para cada posición de los álabes del rotor, cambiándolo cada 0.2 desde 1 a 0.2 y para cada una de estas pruebas ir colocando un peso de 5Kg y aumentarlo a 10 y 15 Kg.

### 7.4.1 Cálculo tipo:

Se realizó el cálculo tipo para la demostración las ecuaciones que utiliza el programa para la adquisición de datos. Se seleccionó el punto de máxima eficiencia cuando se varía la apertura de la válvula de descarga, a una apertura de 29° de los álabes del distribuidor de la bomba Axial, 0.4 en la posición de los álabes del rotor y 15 Kg de carga mecánica.

#### 7.4.1.1 Datos técnicos del equipo:

<i>Número específico de revoluciones</i>	<i>135</i>
<i>Cabeza neta de diseño</i>	<i>1.5ft</i>
<i>Diámetro tubería de entrada.</i>	<i>0.344 m</i>
<i>Diámetro tubería a la salida</i>	<i>0.271 m</i>
<i>Velocidad de la turbina</i>	<i>1080 rpm</i>
<i>Número de aspas del rotor</i>	<i>4</i>
<i>Número de aspas del distribuidor</i>	<i>16</i>

#### 7.4.1.2 Variables medidas por los instrumentos utilizados en automatización:

<i>Lectura del sensor en la presión de entrada</i>	<i>He = 6.4483 mca</i>
<i>Lectura del sensor en la presión de salida</i>	<i>Hs = 0.5286 mca</i>
<i>Altura Diferencial</i>	<i>h<sub>v</sub> = 0.1098 mca</i>
<i>Velocidad</i>	<i>N = 1040.7 rpm</i>
<i>Fuerza medida en el Dinamómetro</i>	<i>F = 26.85 kg</i>

### 7.4.1.3 Variables calculadas por el programa de automatización:

➤ **ALTURA NETA O SALTO (Hn):**

$$\frac{Pe}{\gamma} + \frac{Ve^2}{2g} + Ze - H_n = \frac{Ps}{\gamma} + \frac{Vs^2}{2g} + Zs$$
$$Hn = \frac{Pe}{\gamma} - \frac{Ps}{\gamma} + \frac{Ve^2}{2g} - \frac{Vs^2}{2g} + Ze - Zs$$
$$Hn = He - Hs + \frac{Ve^2}{2g} - \frac{Vs^2}{2g} + Ze - Zs$$

Donde:

$$He = \frac{Pe}{\gamma} \quad \text{Lectura del sensor a la entrada} \quad (\text{mca})$$

$$Hs = \frac{Ps}{\gamma} \quad \text{Lectura del sensor a la salida} \quad (\text{mca})$$

$$Ve = \text{velocidad de entrada} \quad (\text{m/s})$$

$$Vs = \text{velocidad de salida} \quad (\text{m/s})$$

$$\gamma = \text{peso específico del agua} \quad (\text{Kg/m}^3)$$

$$Ae = \text{área de la tubería en la entrada} \quad (\text{m}^2)$$

$$As = \text{área de la tubería en la salida} \quad (\text{m}^2)$$

$$Ze - Zs = 0.83 \quad (\text{no despreciable}) \quad (\text{m})$$

$$Q = Ae * Ve = As * Vs \quad (\text{ecuación de continuidad})$$

Donde:

$$De = 0.333 \text{ m.}$$

$$Ds = 0.2794 \text{ m.}$$

➤ **CAUDAL ( Q):**

$$Q = Cq * Ao * \sqrt{2 * g * h_v} \quad [ \text{m}^3 / \text{s} ]$$

Donde:

$$h_v = \text{presión diferencial} \quad [ \text{mca} ]$$

$$Ao = \text{área del orificio en placa} \quad [ \text{m}^2 ]$$

$$Cq = \text{coeficiente de gasto}$$

$$g = \text{aceleración de la gravedad} \quad [ \text{m/s}^2 ]$$

El Cq encontrado en la bomba axial es el mismo que utiliza la turbina Kaplan para el cálculo del caudal por lo tanto:

$$Cq=0.746$$

$$Q = 0.746 * \frac{\pi}{4} * (0.260096)^2 * \sqrt{2 * 9.8 * 0.1098}$$

$$Q = 0.058028 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = Ae * Ve$$

$$Ve = \frac{0.058028}{\frac{\pi}{4} * (0.3556)^2}$$

$$Ve = 0.584 \text{ m/s}$$

$$Q = As * Vs$$

$$Ve = \frac{0.058028}{\frac{\pi}{4} * (0.2794)^2}$$

$$Ve = 0.946 \text{ m/s}$$

$$Hn = 6.4483 - 0.5286 + \frac{(0.584)^2}{2 * 9.8} - \frac{(0.946)^2}{2 * 9.8} + 0.83$$

$$Hn = 6.7054 \text{ mca}$$

➤ **POTENCIA ÚTIL (Pu):**

$$Pu = 0.001396 * N * \left( W - \frac{F}{9.8} \right) * d$$

$$Pu = 0.001396 * N * T \quad (CV)$$

Dónde:

$$W_1 = \left( W - \frac{F}{9.8} \right)$$

$$T = W_1 * d \text{ (kg-m)}$$

$$W_1 = \text{carga aplicada sobre el tambor} \quad (\text{Kg})$$

d = longitud del brazo (d = 0.25 m)

N = número de rpm. (rpm)

F = Lectura en el Dinamómetro registrada mediante una cámara firewire (N)

$$Pu = 0.001396 * 1040.7 * \left(15 - \frac{26.85}{9.8}\right) * 0.25$$

$$Pu = 4.4529 \quad CV$$

➤ **POTENCIA HIDRÁULICA (Pa):**

$$Pa = \frac{\gamma * Q * Hn}{75} \quad (cv)$$

Dónde:

$\gamma$  = peso específico (Kg./m<sup>3</sup>)

Q = caudal (m<sup>3</sup>/s)

Hn = altura neta (mca)

$$Pa = \frac{1000 * 0,058028 * 6,7054}{75} \quad (cv)$$

$$Pa = 5.188 \quad (cv)$$

➤ **RENDIMIENTO TOTAL ( $\eta_t$ ).**

$$\eta_t = \frac{Pu}{Pa} * 100 \quad (\%)$$

$$\eta_t = \frac{4.4529}{5.188} * 100 \quad (\%)$$

$$\eta_t = 85.832 \quad (\%)$$

Luego de realizado el cálculo tipo; a continuación se presentan los reportes de datos, donde se detallan todos los resultados obtenidos.

**7.4.2 Reportes de datos realizando variaciones en la apertura de los álabes del rotor:**

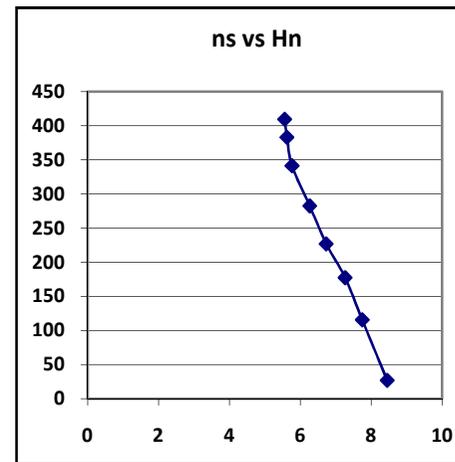
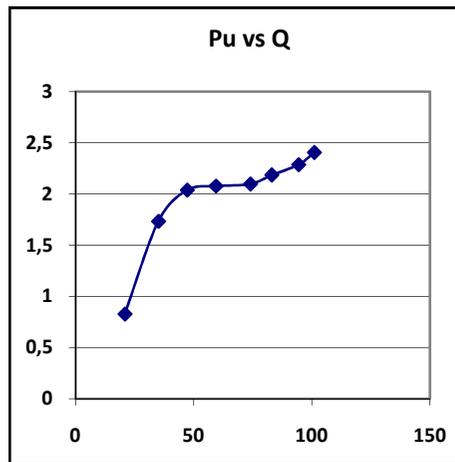
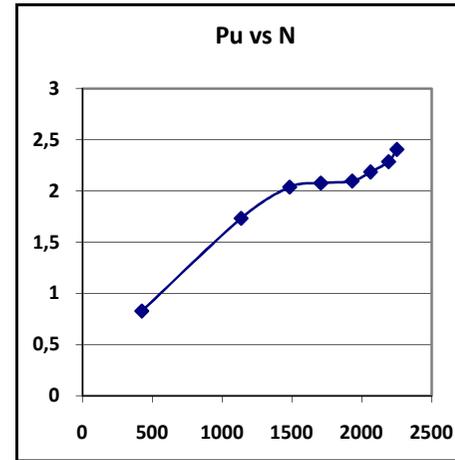
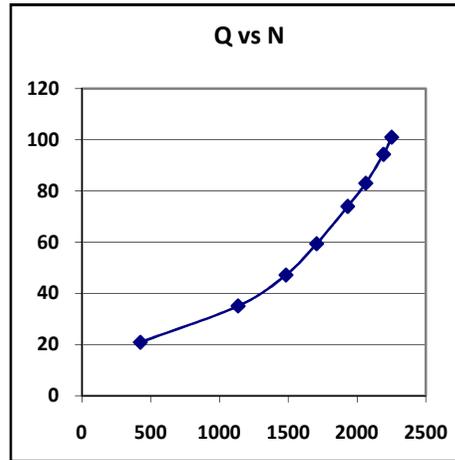
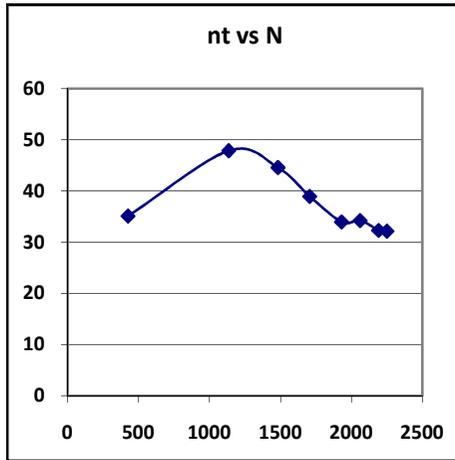
VSTA =válvula de succión totalmente abierta

Los reportes de datos se detallan a continuación:

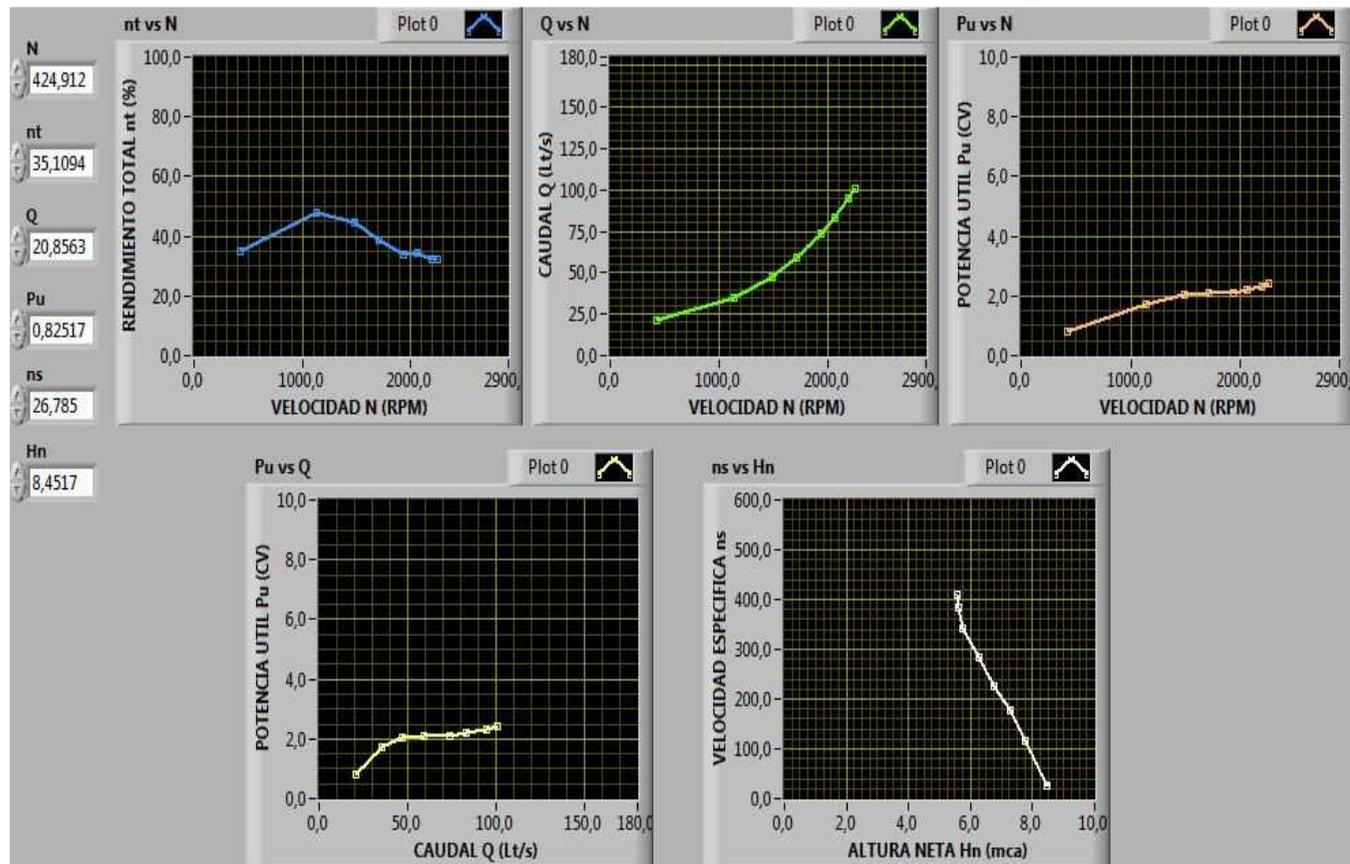
**Apertura de los álabes del rotor DE 0.4 y 5Kg de peso.**

**TABLA 7.7** TABLA PARA LECTURA Y CÁLCULOS DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA TURBINA KAPLAN, APERTURA DE LOS ÁLABES DEL ROTOR DE 0.4, 5 Kg DE PESO.

APERTURA			PESO - VELOCIDAD			ALTURAS		PRESIÓN DIF.	CAUDAL	SALTO NETO	POTENCIAS		REND. TOTAL	VELOC. ESPECIF.
ALABES BOMBA AXIAL	ÁLABES DISTRIB.	ALABES ROTOR	W	F	N	He	Hs	hv	Q	Hn	Pu	Pa	ηt	ηs
grados	grados	posición	Kg	N	rpm	mca	mca	mca	Lt/s	mca	CV	CV	%	
29	40	0,4	5	18,9821	2252,377	5,3139	0,451	0,3332	101,0759	5,5583	2,4078	7,4908	32,1434	409,5179
	35		5	19,6968	2193,064	5,3618	0,4483	0,2908	94,4261	5,6261	2,2886	7,0834	32,3091	382,8879
	30		5	19,2545	2063,317	5,4962	0,4685	0,2247	83,0146	5,767	2,1857	6,3832	34,241	341,3305
	25		5	18,4972	1932,764	5,9626	0,4536	0,1786	74,0106	6,2669	2,0995	6,1842	33,9496	282,4389
	20		5	14,8159	1706,998	6,4695	0,5198	0,1151	59,4168	6,7332	2,0781	5,3342	38,9571	226,8731
	15		5	10,4069	1483,033	7,0199	0,555	0,0726	47,1981	7,2656	2,0383	4,5723	44,5783	177,4963
	10		5	6,1483	1135,929	7,4961	0,563	0,0401	35,048	7,7469	1,7335	3,6202	47,8835	115,7173
	5		5	-5,5311	424,9124	8,1813	0,5539	0,0142	20,8563	8,4517	0,8252	2,3503	35,1094	26,785



*Figura 7.13* Curvas características de la turbina Kaplan, apertura de los álabes del rotor de 0.4, 5 Kg de peso.

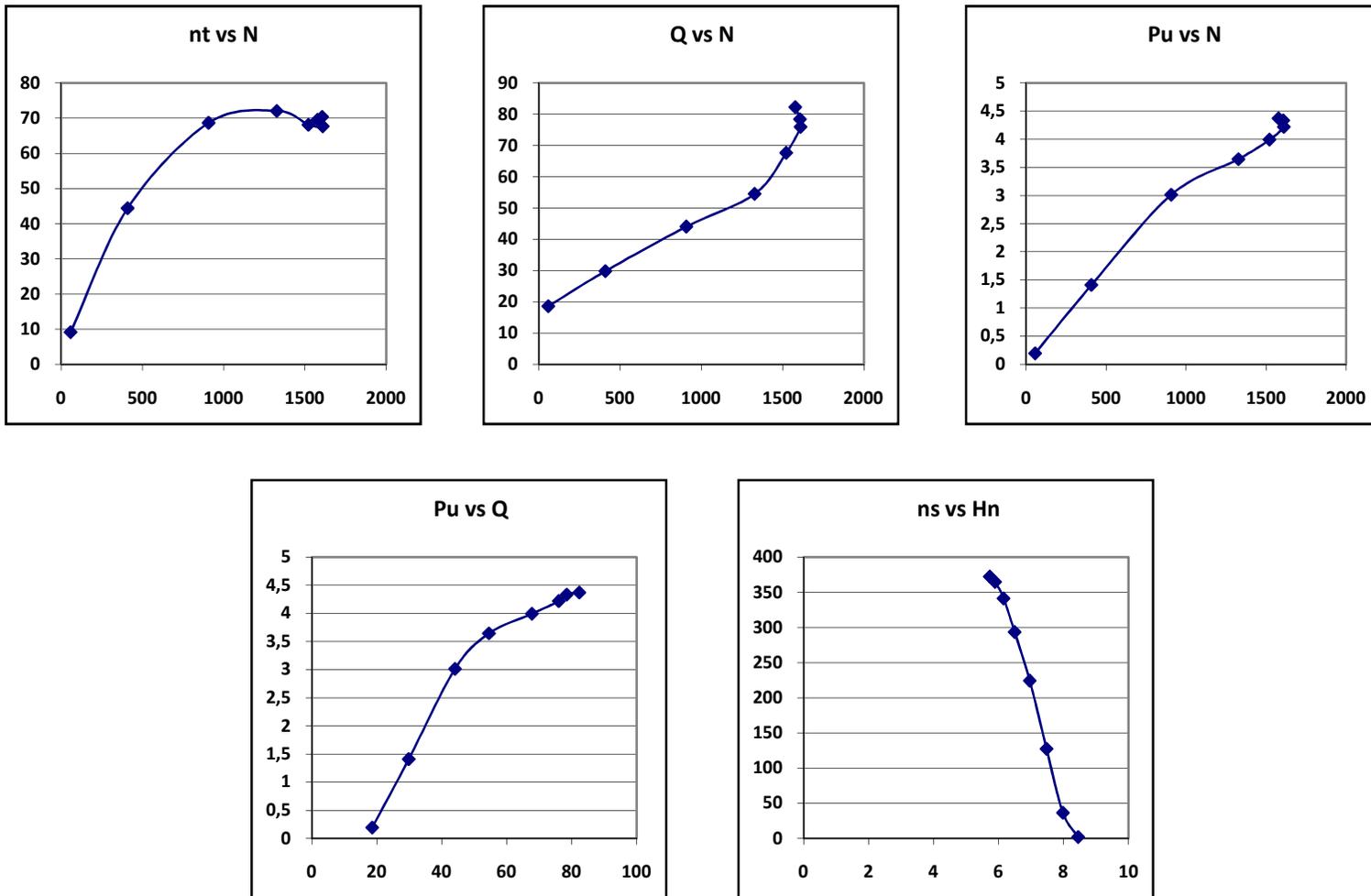


*Figura 7.14* Curvas características de la turbina Kaplan, apertura de los álabes del rotor de 0.4, 5 Kg de peso., imagen programa LabVIEW.

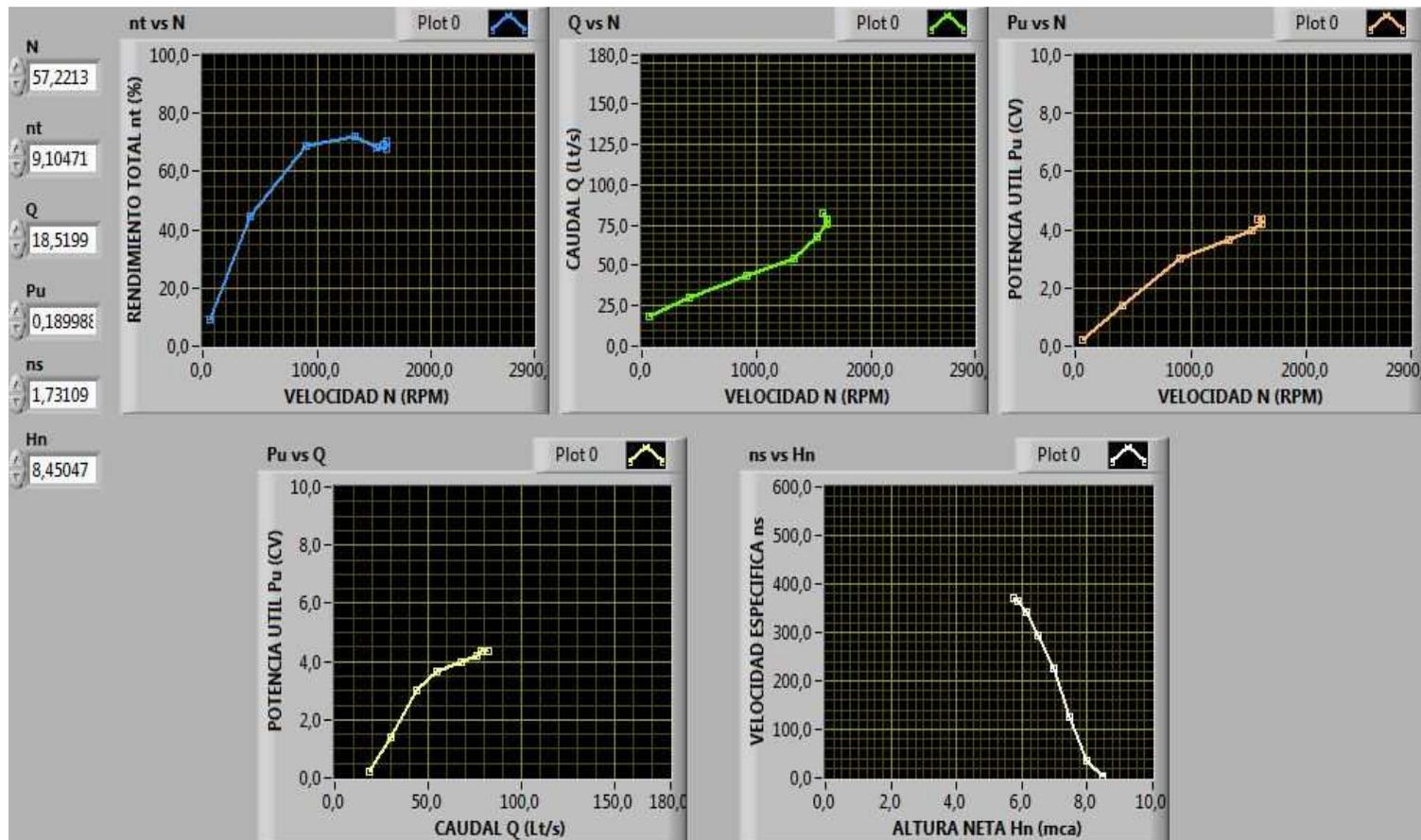
**Apertura de los álabes del rotor de 0.4 y 10 Kg de peso**

**TABLA 7.8** TABLA PARA LECTURA Y CÁLCULOS DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA TURBINA KAPLAN, APERTURA DE LOS ÁLABES DEL ROTOR DE 0.4, 10 KG DE PESO.

APERTURA			PESO - VELOCIDAD			ALTURAS		PRESION DIF.	CAUDAL	SALTO NETO	POTENCIAS		REND. TOTAL	VELOC. ESPECIF.
ALABES BOMBA AXIAL	ALABES DISTRIB.	ALABES ROTOR	W	F	N	He	Hs	hv	Q	Hn	Pu	Pa	$\eta_t$	$\eta_s$
grados	grados	posición	Kg	N	rpm	mca	mca	mca	Lt/s	mca	CV	CV	%	
29	40	0,4	10	20,2132	1578,253	5,4994	0,5124	0,2208	82,2874	5,7279	4,372	6,2844	69,569	372,413
	35		10	22,2599	1607,585	5,6563	0,5138	0,2006	78,43	5,8914	4,3361	6,1609	70,3815	364,7107
	30		10	24,5025	1611,268	5,898	0,4984	0,188	75,9329	6,1536	4,2174	6,2302	67,6923	341,4075
	25		10	24,3491	1522,018	6,2261	0,5021	0,1493	67,6616	6,4937	3,9921	5,8583	68,1431	293,3599
	20		10	20,9215	1327,827	6,6737	0,5056	0,0968	54,4892	6,959	3,6448	5,0559	72,0903	224,2816
	15		10	4,7588	907,39	7,196	0,5244	0,0632	44,0074	7,4762	3,013	4,3868	68,6844	127,408
	10		10	1,4974	409,0913	7,7083	0,5471	0,0289	29,754	7,9796	1,4059	3,1657	44,4111	36,1677
	5		10	4,7674	57,2213	8,1601	0,5351	0,0112	18,5199	8,4505	0,19	2,0867	9,1047	1,7311



*Figura 7.15 Curvas características de la turbina Kaplan, apertura de los álabes del rotor de 0.4, 10 Kg de peso.*

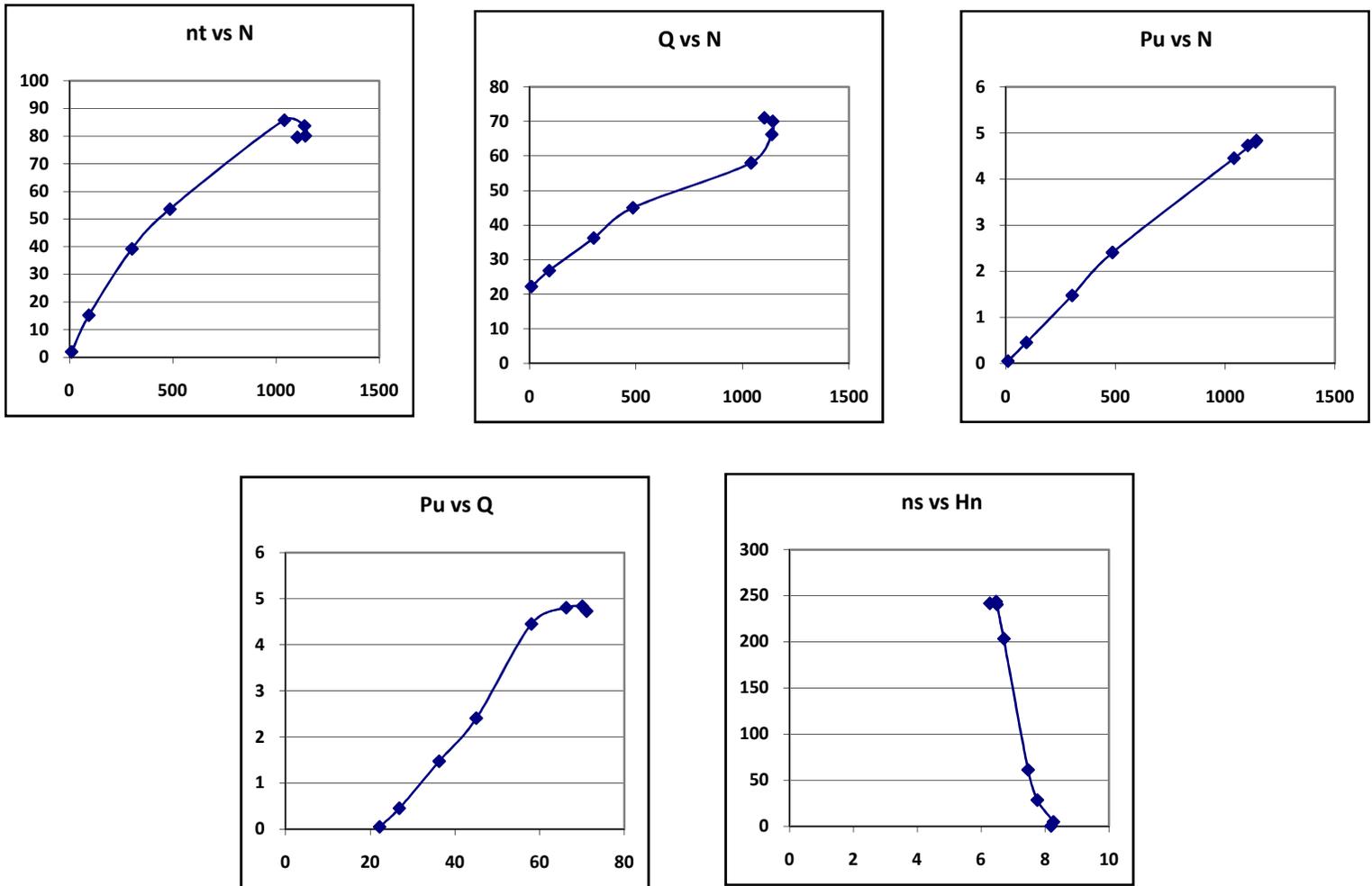


**Figura 7.16** Curvas características de la turbina Kaplan, apertura de los álabes del rotor de 0.4, 10 Kg de peso., imagen programa LabVIEW.

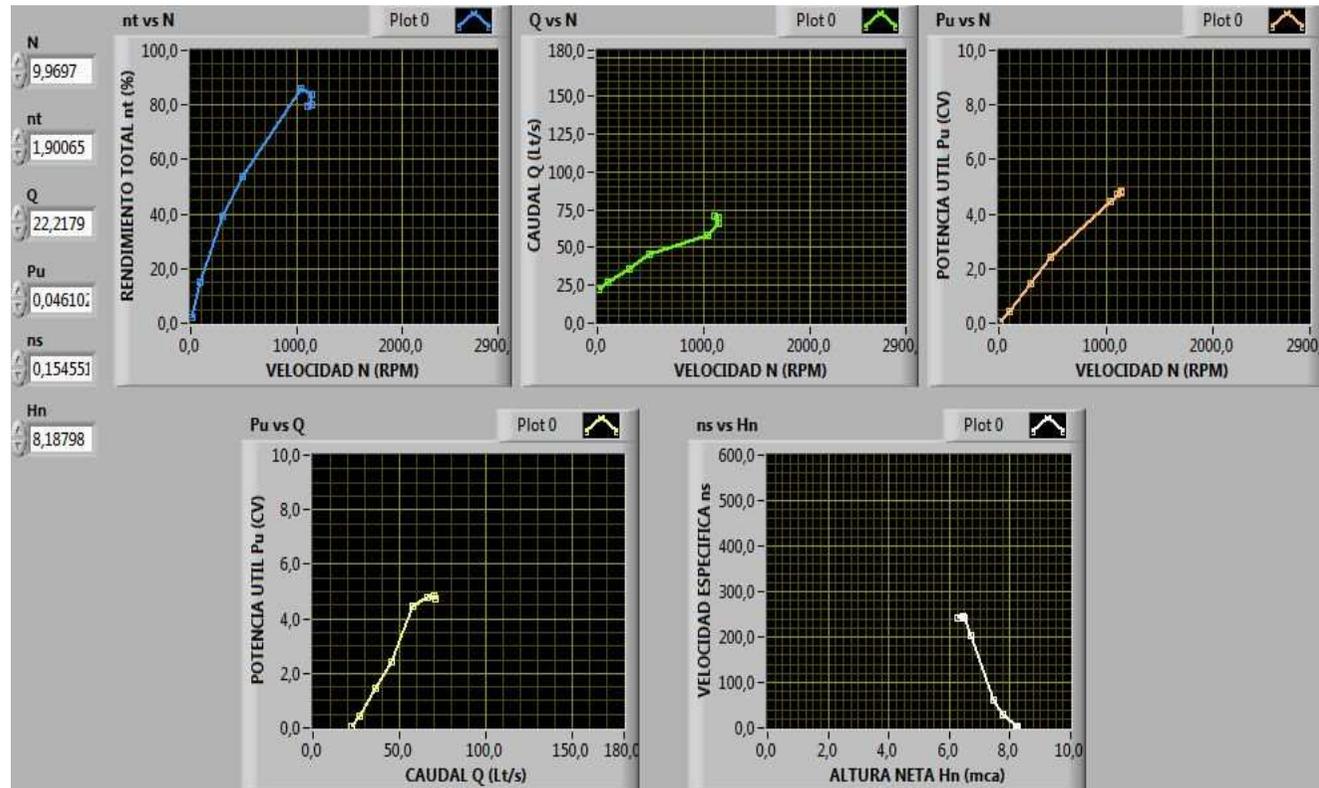
**Apertura de los álabes del rotor de 0.4 y 15 Kg de peso**

**TABLA 7.9** TABLA PARA LECTURA Y CÁLCULOS DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA TURBINA KAPLAN, APERTURA DE LOS ÁLABES DEL ROTOR DE 0.4, 15 KG DE PESO.

APERTURA			PESO - VELOCIDAD			ALTURAS		PRESION DIF.	CAUDAL	SALTO NETO	POTENCIAS		REND. TOTAL	VELOC. ESPECIF.
ALABES BOMBA AXIAL	ALABES DISTRIB.	ALABES ROTOR	W	F	N	He	Hs	hv	Q	Hn	Pu	Pa	$\eta_t$	$\eta_s$
grados	grados	posición	Kg	N	rpm	mca	mca	mca	Lt/s	mca	CV	CV	%	
29	40	0,4	15	26,6863	1103,196	6,0107	0,5091	0,1648	71,0821	6,265	4,7268	5,9378	79,6058	241,9815
	35		15	28,1667	1142,677	6,2049	0,507	0,16	70,038	6,4633	4,8357	6,0357	80,1188	243,8294
	30		15	28,4471	1138,198	6,2391	0,5181	0,1432	66,2657	6,4931	4,8054	5,737	83,7621	240,7213
	25		15	26,8498	1040,692	6,4483	0,5286	0,1098	58,0276	6,7054	4,4529	5,188	85,8319	203,5239
	20		15	8,2333	486,4117	7,1942	0,5295	0,0662	45,0394	7,4679	2,4037	4,4847	53,599	61,0867
	15		15	10,3274	302,3398	7,4685	0,529	0,0429	36,2832	7,7522	1,4716	3,7503	39,238	28,3532
	10		15	13,3503	94,0275	7,9482	0,508	0,0236	26,8751	8,2606	0,4475	2,9601	15,1189	4,4916
	5		15	17,1509	9,9697	7,8735	0,509	0,0161	22,2179	8,188	0,0461	2,4256	1,9007	0,1546



*Figura 7.17* Curvas características de la turbina Kaplan, apertura de los álabes del rotor de 0.4, 15 Kg de peso.



**Figura 7.18** Curvas características de la turbina Kaplan, apertura de los álabes del rotor de 0.4, 15 Kg de peso., imagen programa LabVIEW.

## **7.5 Turbina Pelton**

Para obtener los datos de este banco de pruebas, primero se mantendrá abierta la aguja se varía la carga hasta un valor de carga máxima y tomar los datos de Presión, velocidad, presión y fuerza; luego se varía la apertura de la aguja desde abierta completamente hasta la décima vuelta de cierre de la válvula, variándola de dos en dos.

### **7.5.1 Cálculo tipo:**

Se realizó el cálculo tipo para la demostración las ecuaciones que utiliza el programa para la adquisición de datos. Se seleccionó el punto de máxima eficiencia cuando se varía la apertura de la aguja a 6 vueltas de cierre, y la válvula de diafragma completamente abierta.

#### **7.5.1.1 Datos técnicos del equipo:**

Cabeza neta de diseño	30.5m
Cabeza de trabajo máximo.	76.2m
Diámetro máximo del chorro.	18.8mm
Diámetro del círculo de ataque del rodete	244mm
Velocidad óptima del eje	800 rpm
Diámetro de tubería de admisión	63.5mm

#### **7.5.1.2 Variables medidas por los instrumentos utilizados en automatización:**

<i>Lectura del sensor en la presión de entrada</i>	$H_n = 34.3984 \text{ mca}$
<i>Sensor de Flujo</i>	$Q = 0.00688 \text{ m}^3/\text{s}$
<i>Velocidad</i>	$N = 937.5046 \text{ RPM}$
Fuerza medida en el Dinamómetro	$F = 5.7113 \text{ kg}$

#### **7.5.1.3 Variables calculadas por el programa de automatización:**

➤ **ALTURA NETA (Hn)**

$$\frac{Pe}{\gamma} + \frac{Ve}{2g} = Hn \quad (mca)$$

Dónde:

Pe = presión de entrada (mca)

Ve = velocidad de entrada (m/s)

$\gamma$  = peso específico del agua (1000 Kg./m<sup>3</sup>)

$$Hn = 34.1572 + \frac{2.1472}{2 * 9.8}$$

$$Hn = 34.3984mca$$

➤ **VELOCIDAD DE ENTRADA. (Ve).**

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

$$Q = 0,00688m^3/s \quad (\text{valor medido con el sensor de flujo})$$

$$Ve = \frac{0.00688}{\frac{\pi}{4}(0.0635)^2}$$

$$Ve = 2.1472 \text{ m/s}$$

Dónde:

A = Área de la tubería en la entrada. (m<sup>2</sup>)

➤ **POTENCIA ÚTIL.**

$$Pu = 0.001396 \text{ W} * d * N \quad (cv)$$

$$Pu = 0.001396 * 5.7113 * 0.25 * 0.37.5046$$

$$Pu = 1.8687 \text{ (cv)}$$

Donde:

$$T = W * d$$

W = carga aplicada medida por el programa a través de la cámara de adquisición (Kg).

d = longitud del brazo (d = 0.25 m)

N = número de rpm. (rpm)

➤ **POTENCIA HIDRÁULICA ABSORBIDA (Pa)**

$$Pa = \frac{\gamma * Q * Hn}{75} \quad (cv)$$

$$Pa = \frac{1000 * 0.00688 * 34.3984}{75}$$

$$Pa = 3.1579 \quad (cv)$$

Donde:

$\gamma$  = peso específico (Kg./m<sup>3</sup>)

Q = caudal (m<sup>3</sup>/s)

Hn = altura neta (mca)

➤ **RENDIMIENTO TOTAL (Nt).**

$$Nt = \frac{Pu}{Pa} * 100 \quad (\%)$$

$$Nt = \frac{1.8687}{3.1579} * 100$$

$$Nt = 59.17 \quad \%$$

### 7.5.2 Reportes de datos realizando variaciones de apertura de la aguja

Luego de realizado el cálculo tipo; a continuación se presentan los reportes de datos, donde se detallan todos los resultados obtenidos.

**TABLA 7.10** TABLA PARA LECTURA Y CÁLCULOS DEL BANCO DE LA TURBINA PELTON.

TABLA DE LECTURA Y CÁLCULOS														
Válvulas		Presión Entrada	Velocidad	Caudal	Altura Neta	V. Especif. Chorro	Diámetro Chorro	Fuerza	Torque	Potencia		Velocidad Específica	Rendim.	
Diafrag.	Aguja		Pe/γ	N	Q	Hn	C1	do	W	T	Pu	Pa	ns	Nt
	Vueltas	%	mca	rpm	Lt/s	mca		mm	Kg	Kg-m	CV	CV		%
TA	0	100	28,0384	975,1432	8,2417	28,384	0,98	21,3067	4,0487	1,0122	1,3779	3,1191	17,4715	44,1755
TA	-2	86	28,9719	935,8825	7,7232	29,2754	0,98	20,4668	4,784	1,196	1,5625	3,0146	17,1795	51,8319
TA	-4	71	30,8698	954,6404	7,526	31,158	0,98	19,8915	5,0751	1,2688	1,6909	3,1266	16,8629	54,0795
TA	-6	57	34,1572	937,5046	6,8853	34,3984	0,98	18,5611	5,7113	1,4278	1,8687	3,1579	15,384	59,1747
TA	-8	42	39,1625	868,4343	6,3507	39,3677	0,98	17,2347	5,8297	1,4574	1,7669	3,3335	11,7062	53,0037
TA	-10	28	46,5106	607,7521	5,1398	46,645	0,98	14,8611	6,7601	1,69	1,4339	3,1966	5,97	44,8553

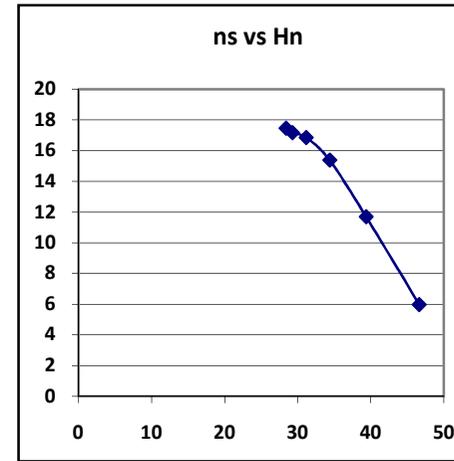
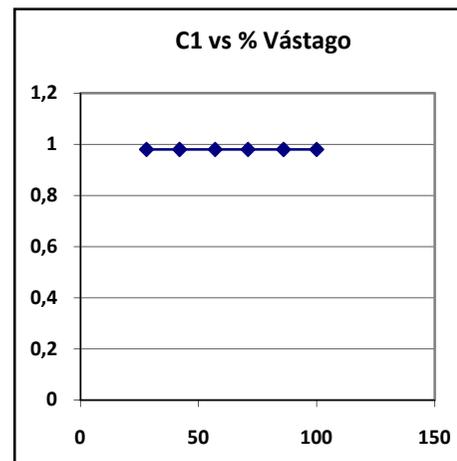
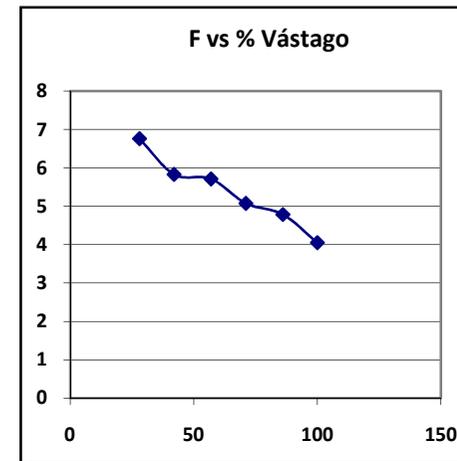
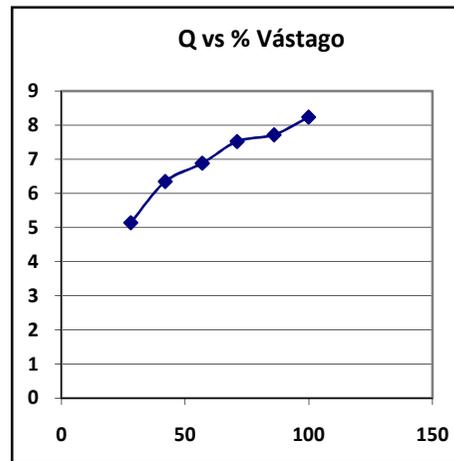
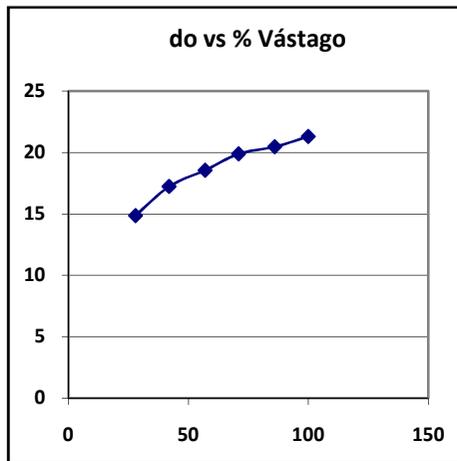


Figura 7.19 Curvas características de la turbina Pelton.

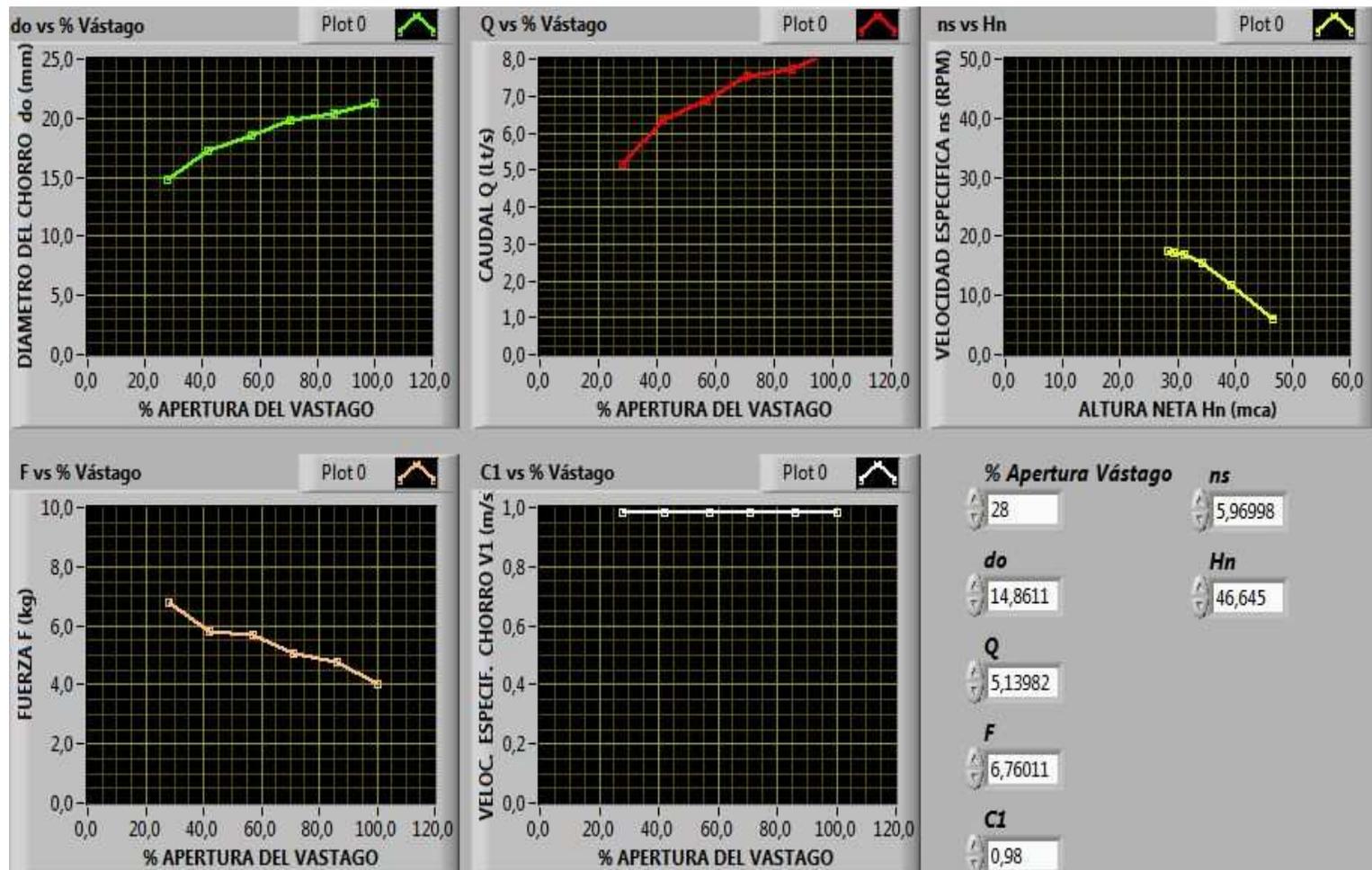


Figura 7.20 Curvas características de la turbina Pelton, imagen programa LabVIEW.

## **7.6 Turbina Francis**

Para obtener los datos de este banco de pruebas, a distintas aperturas de los álabes del distribuidor el eje de la turbina fue sometido a diversas cargas para de esta manera observar el comportamiento producido por ésta Turbina.

### **7.6.1 Cálculo tipo:**

Se realizó el cálculo tipo para la demostración las ecuaciones que utiliza el programa para la adquisición de datos. Se seleccionó el punto de máxima eficiencia a 5° de apertura de los álabes del distribuidor, y con una carga de frenado de aproximadamente 1kg.

#### **7.6.1.1 Datos técnicos del equipo:**

Tamaño nominal del rodete.	152.5 mm.
Cabeza neta de diseño	6 m.
Velocidad específica	36
Rendimiento máximo del eje.	2.9 BHP.
Diámetro máximo del chorro	18.8 mm.
Flujo del agua.	2700 LPM
Velocidad óptima del eje.	1000 rpm
Número de palas	8 palas.
Diámetro de la tubería de ingreso a la turbina.	152.5 mm. = 6 plg.

#### **7.6.1.2 Variables medidas por los instrumentos utilizados en automatización:**

<i>Lectura del sensor en la presión de entrada</i>	$H_n = 5.5593 \text{ mca}$
<i>Velocidad</i>	$N = 438.67 \text{ RPM}$
<i>Fuerza medida en el dinamómetro</i>	$F = 0.9663 \text{ kg}$

### 7.6.1.3 Variables calculadas por el programa de automatización:

#### ➤ ALTURA NETA O SALTO ( $H_n$ )

$$\frac{P_e}{\gamma} + \frac{V_e^2}{2g} + Z_e - H_n = \frac{P_s}{\gamma} + \frac{V_s^2}{2g} + Z_s$$

$$H_n = \frac{P_e}{\gamma} - \frac{P_s}{\gamma} + \frac{V_e^2}{2g} - \frac{V_s^2}{2g} + Z_e - Z_s$$

Donde:

$P_e$ = presión de entrada a la turbina	(mca)
$P_s = 0$ presión atmosférica.	(mca)
$H_e = \frac{P_e}{\gamma}$ Lectura en el manómetro	(mca)
$V_e$ = velocidad de entrada	(m/s)
$V_s = 0$ pequeña comparada con $V_e$	(m/s)
$\gamma$ = peso específico del agua	(1000 Kg./m <sup>3</sup> )

La ecuación nos queda:

$$H_n = \frac{P_e}{\gamma} + \frac{V_e^2}{2g} + 1. \quad (\text{mca})$$

$$H_n = 4.5547 + \frac{0.3}{2 * 9.8} + 1$$

$$H_n = 5.5593 \text{mca}$$

#### ➤ VELOCIDAD DE ENTRADA

$$V_e = \frac{Q}{A_e}$$

Donde:

$A_e$ = Área de la turbina.	(m <sup>2</sup> )
$D_e$ = Diámetro de la tubería	(6 plg)
$Q$ = Caudal	(m <sup>3</sup> /s)

$$Q = 0.3 * \frac{\pi}{4} * (0.1524)^2$$

$$Q = 0.0054725 \text{ m}^3/\text{s}$$

➤ **POTENCIA ÚTIL**

$$Pu = 0.001396 * N * W * d \quad (cv)$$

$$Pu = 0.001396 * 438.6717 * 0.9663 * 0.25$$

$$Pu = 0.1479 \text{ (cv)}$$

Dónde:

T = W\*d      torque

W = carga aplicada en el Dinamómetro medida por el programa a través de la cámara de adquisición (Kg).

d = longitud del brazo      (d = 0.25 m)

N = número de rpm. Del eje de la turbina.      (rpm)

F = Lectura en el Dinamómetro.      (N)

➤ **POTENCIA HIDRÁULICA ABSORBIDA (Pa)**

$$Pa = \frac{\gamma * Q * Hn}{75} \quad (cv)$$

$$Pa = \frac{1000 * 0.0054725 * 5.5593}{75}$$

$$Pa = 0.4056 \text{ (cv)}$$

Donde:

$\gamma$  = peso específico      (Kg./m<sup>3</sup>)

Q = caudal      (m<sup>3</sup>/s)

Hn = altura neta      (mca)

➤ **RENDIMIENTO TOTAL (Nt)**

$$Nt = \frac{Pu}{Pa} * 100 \quad (\%)$$

$$Nt = \frac{0.1479}{0.4056} * 100$$

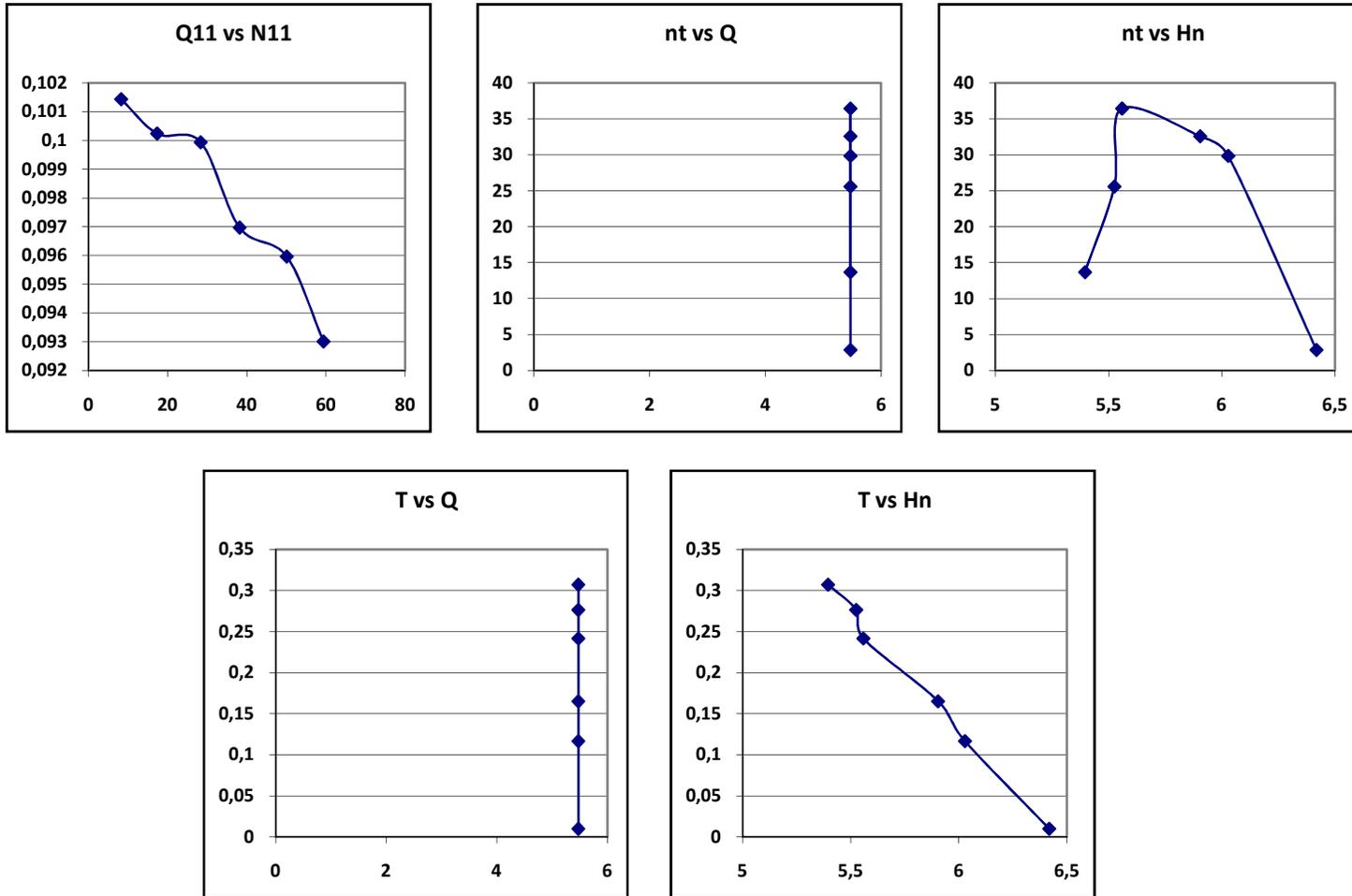
$$Nt = 36.47\%$$

### 7.6.2 Reportes de datos realizando variaciones de apertura de los álabes del distribuidor

Apertura de los álabes del distribuidor a 5° y válvula de ingreso totalmente abierta.

**TABLA 7.11** TABLA PARA LECTURA Y CÁLCULOS DEL BANCO DE LA TURBINA FRANCIS A 5° DE APERTURA DE LOS ÁLABES DEL DISTRIBUIDOR.

TABLA PARA LECTURA Y CÁLCULOS												
APERTURA		PRESION DE ENTRADA	PRESION DE SALIDA	VELOC. ENTRADA	CAUDAL	ALTURA NETA	REV. ROTOR	FUERZA	TORQUE	POTENCIAS		REND. TOTAL
VÁLVULA DE INGRESO	APERTURA ALABES DISTRIB.	Pe	Ps	Ve	Q	Hn	N	F	T	Pu	Pa	ηt
	grados	mca	mca	m/s	Lt/s	mca	rpm	Kg	Kg-m	CV	CV	%
TA	5	5,4142	0,5487	0,3	5,4725	6,4188	987,5636	0,0383	0,0096	0,0132	0,4684	2,8196
TA	5	5,0243	0,5841	0,3	5,4725	6,0289	807,1939	0,4662	0,1165	0,1313	0,4399	29,8539
TA	5	4,9004	0,641	0,3	5,4725	5,905	609,0723	0,6606	0,1651	0,1404	0,4309	32,5883
TA	<b>5</b>	<b>4,5547</b>	<b>0,7148</b>	<b>0,3</b>	<b>5,4725</b>	<b>5,5593</b>	<b>438,6717</b>	<b>0,9663</b>	<b>0,2416</b>	<b>0,1479</b>	<b>0,4056</b>	<b>36,4712</b>
TA	5	4,5213	0,7077	0,3	5,4725	5,5259	267,4632	1,1058	0,2764	0,1032	0,4032	25,5994
TA	5	4,3912	0,6925	0,3	5,4725	5,3958	125,4464	1,2288	0,3072	0,0538	0,3937	13,6646



*Figura 7.21* Curvas características de la turbina Francis a 5° de apertura de los álabes del distribuidor.

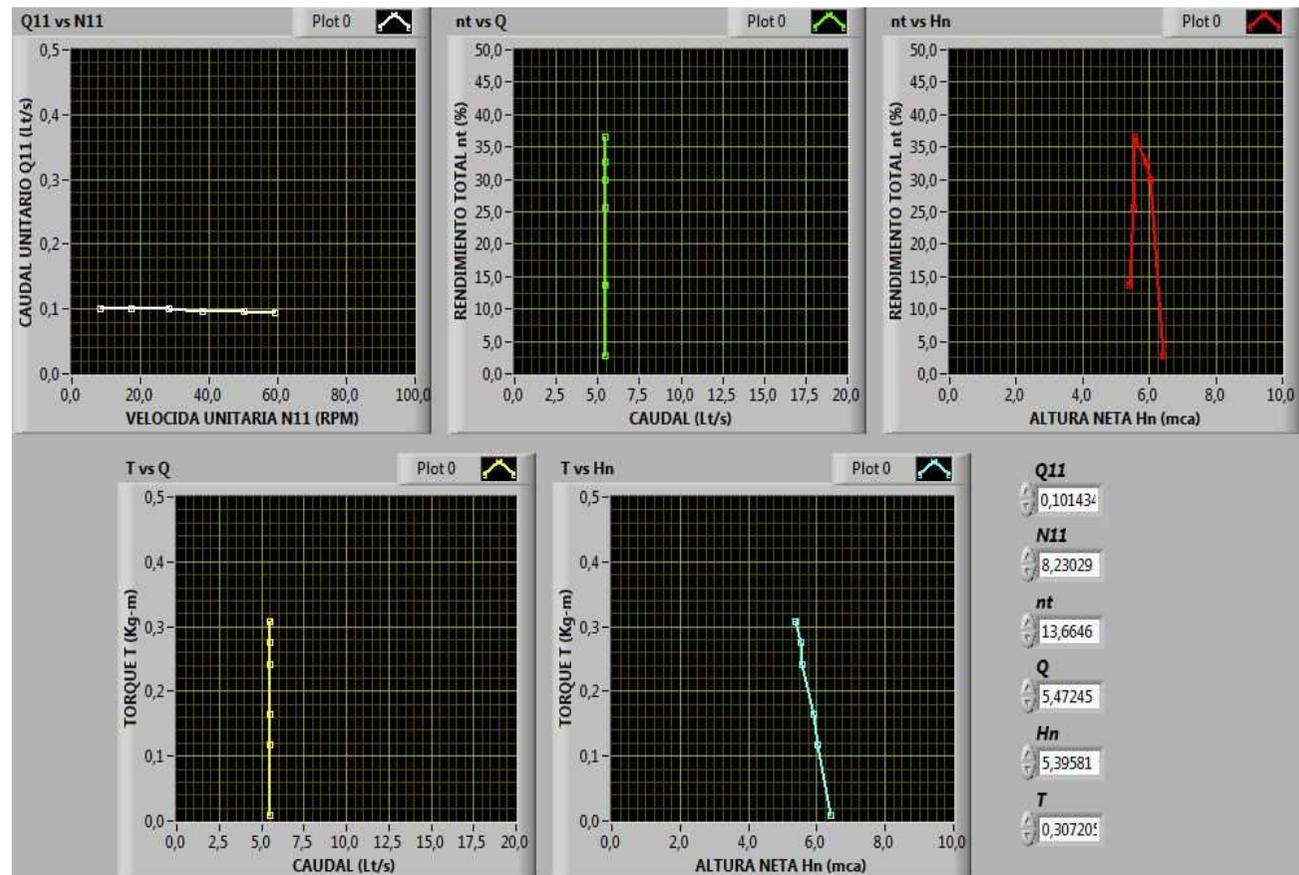


Figura 7.22 Curvas características de la turbina Francis a 5° de apertura de los álabes del distribuidor, imagen programa LabVIEW.

## CAPÍTULO VIII

### 8. ANÁLISIS DE RESULTADOS EN LOS BANCOS AUTOMATIZADOS

Antes de exponer el análisis de resultados se debe comprender como se obtuvo las diversas condiciones de funcionamiento en los bancos de prueba:

En el caso de las bombas hidráulicas se realizó variaciones de apertura de válvula para simular distintas pérdidas de carga (*carga hidráulica*) manteniendo constante la velocidad rotacional; por ejemplo, éstas aumentarán al ir cerrando la válvula de descarga, entendiéndose que la bomba debe elevar el fluido a mayores alturas o transportarlo a mayores presiones; y para lograr esto la bomba disminuirá el caudal que entrega.

En el caso de turbinas hidráulicas, se realizó variaciones de carga en el disco de fricción del dinamómetro acoplado al eje de la turbina (carga mecánica), de ésta manera se simula la carga del generador eléctrico, es decir las diversas demandas de energía a las que está expuesto; por ejemplo, éstas aumentarán al ir frenando el eje del rotor, entendiéndose que la turbina debe compensar éste frenado ya sea variando la apertura de un distribuidor que se encarga de regular el caudal o el ángulo de incidencia que tiene el fluido sobre los álabes del rotor, como en las turbinas Kaplan que poseen ambas regulaciones.

De esta manera se obtienen datos que deberán ser analizados para encontrar parámetros de interés como, cabeza manométrica  $H_m$  (en el caso de bombas), altura neta  $H_n$  (en el caso de turbinas), potencia útil  $P_u$ , velocidad  $N$ , etc. Todos estos funcionando a máxima eficiencia  $\eta$ . Este último parámetro es de mucha importancia en la selección de estos equipos, pues indica la mayor transferencia de energía que el fluido puede lograr recibir de una bomba o entregar a una turbina.

VSTA: Válvula de succión totalmente abierta

VDTA: Válvula de descarga totalmente abierta

8.1 Análisis de resultados bomba recíprocante

Curvas características  $H_M$  vs  $Q_R$  – VSTA:

TABLA 8.1 RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS  $H_M$  VS  $Q_R$  – VSTA.

Apertura Válvulas		REVOLUCIONES DEL MOTOR							
		400 rpm		500 rpm		600 rpm		700 rpm	
Succión	Descarga	$H_m$	$Q_R$	$H_m$	$Q_R$	$H_m$	$Q_R$	$H_m$	$Q_R$
		mca	Lt / s	mca	Lt / s	mca	Lt / s	mca	Lt / s
Totalmente Abierta	6 Vueltas de cierre	2,8184	0,0597	3,7654	0,0746	4,4109	0,0872	5,2038	0,1137
Totalmente Abierta	6,18Vueltas de cierre	7,4497	0,0530	7,8720	0,0757	13,8989	0,0894	11,4794	0,1198
Totalmente Abierta	6,24Vueltas de cierre	10,8785	0,0554	13,3386	0,0722	16,8906	0,0917	18,9745	0,1173
Totalmente Abierta	6,3 Vueltas de cierre	55,1797	0,0524	34,8502	0,0652	25,2634	0,0919	26,5923	0,1228

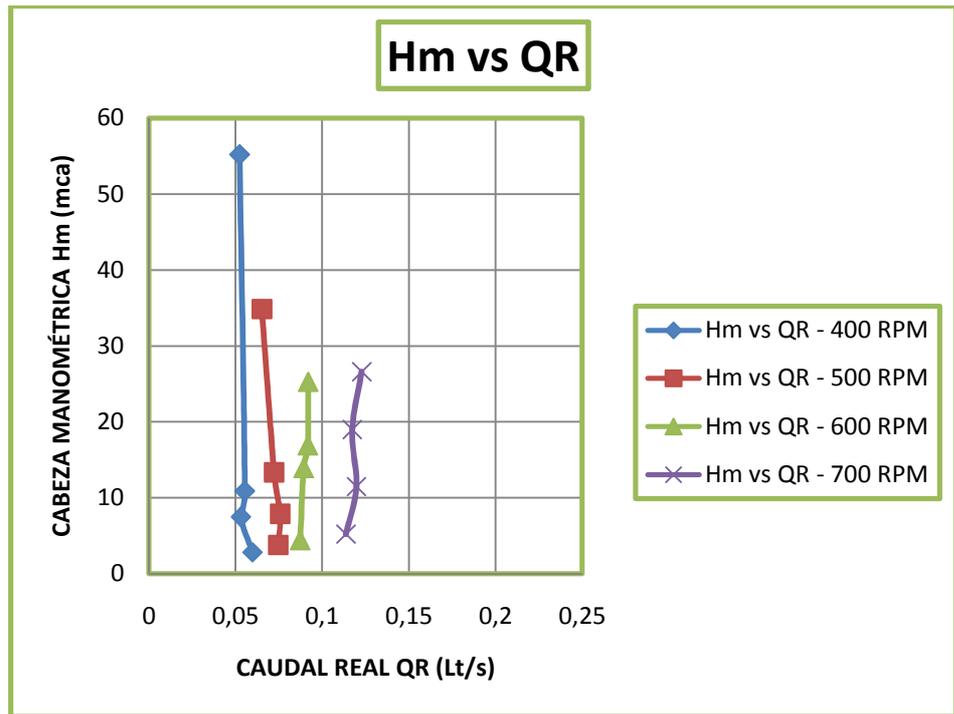


Figura 8.1 Curvas Características  $H_m$  vs  $Q_R$  – VSTA

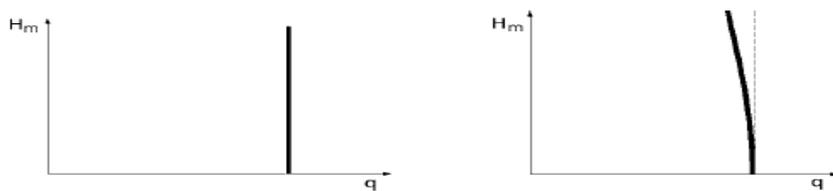
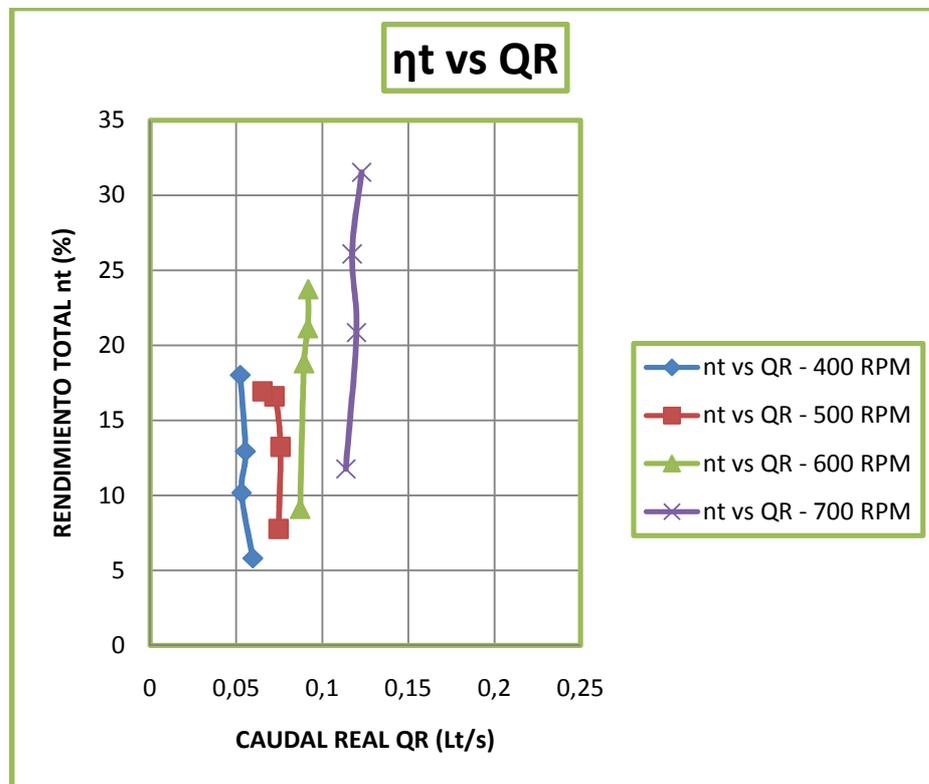


Figura 8.2 Curvas características  $H_m$  vs  $Q$  teórica y real - (Fernández Díez, Pedro. Bombas centrífugas y volumétricas. Pág. BV.X.-120).

**Curvas características  $\eta_t$  vs  $Q_R$  – VSTA:**

**TABLA 8.2 RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS  $\eta_t$  vs  $Q_R$ .**

Apertura Válvulas		REVOLUCIONES DEL MOTOR							
		400 rpm		500 rpm		600 rpm		700 rpm	
Succión	Descarga	$\eta_t$	$Q_R$	$\eta_t$	$Q_R$	$\eta_t$	$Q_R$	$\eta_t$	$Q_R$
		%	Lt / s	%	Lt / s	%	Lt / s	%	Lt / s
Totalmente Abierta	6 Vueltas de cierre	5,82	0,0597	7,77	0,0746	9,12	0,0872	11,78	0,1137
Totalmente Abierta	6,18Vueltas de cierre	10,17	0,0530	13,24	0,0757	18,80	0,0894	20,85	0,1198
Totalmente Abierta	6,24Vueltas de cierre	12,95	0,0554	16,61	0,0722	21,15	0,0917	26,10	0,1173
Totalmente Abierta	6,3 Vueltas de cierre	18,02	0,0524	16,94	0,0652	23,74	0,0919	31,52	0,1228

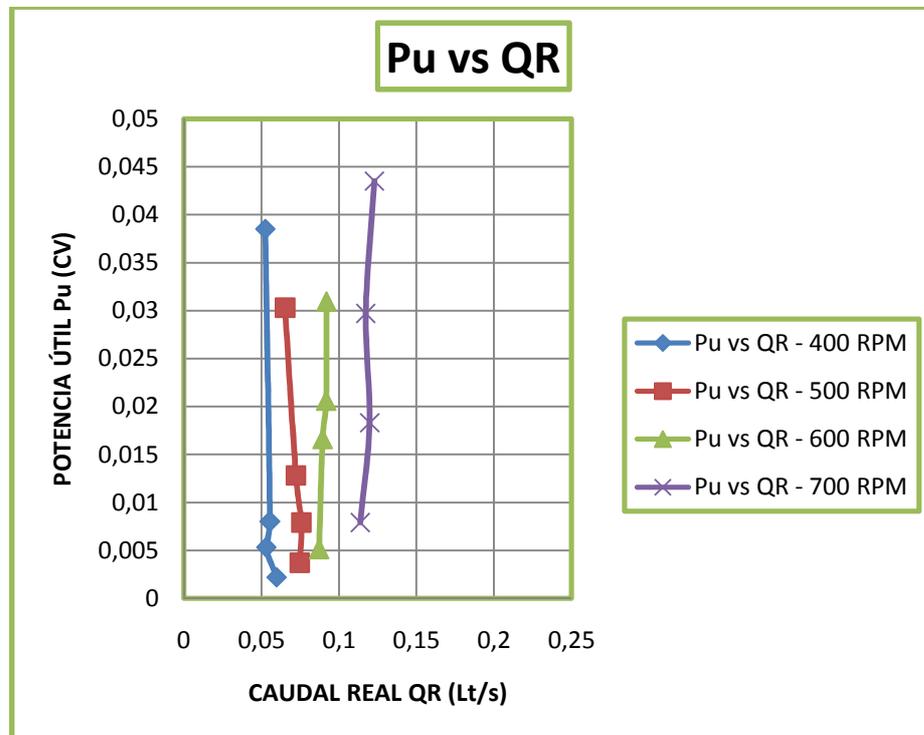


**Figura 8.3** Curvas características  $\eta_t$  vs  $Q_R$  – VSTA

### Curvas características Pu vs QR – VSTA:

**Tabla 8.3 RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS Pu vs QR – VSTA.**

Apertura Válvulas		REVOLUCIONES DEL MOTOR							
		400 rpm		500 rpm		600 rpm		700 rpm	
Succión	Descarga	Pu	QR	Pu	QR	Pu	QR	Pu	QR
		CV	Lt / s	CV	Lt / s	CV	Lt / s	CV	Lt / s
Totalmente Abierta	6 Vueltas de cierre	0,0022	0,0597	0,0037	0,0746	0,0051	0,0872	0,0079	0,1137
Totalmente Abierta	6,18Vueltas de cierre	0,0053	0,0530	0,0079	0,0757	0,0166	0,0894	0,0183	0,1198
Totalmente Abierta	6,24Vueltas de cierre	0,0080	0,0554	0,0128	0,0722	0,0206	0,0917	0,0297	0,1173
Totalmente Abierta	6,3 Vueltas de cierre	0,0385	0,0524	0,0303	0,0652	0,0309	0,0919	0,0435	0,1228

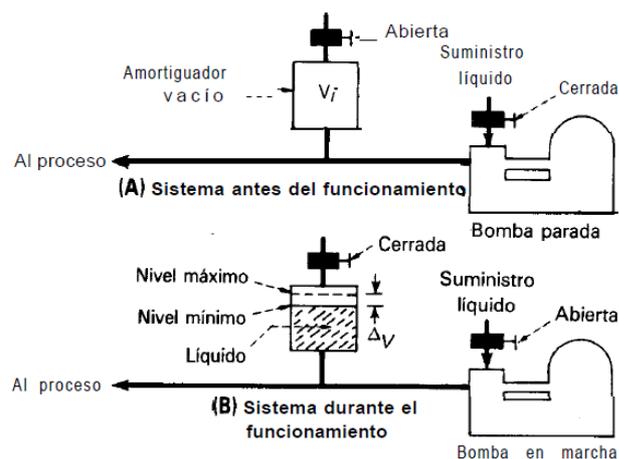


**Figura 8.4** Curvas características Pu vs QR – VSTA

- La variación de la cabeza manométrica  $H_m$  en función de la variación del caudal real  $Q_R$ , se produce debido al incremento de presión en la tubería de descarga, causado por la restricción del paso de fluido en la válvula de descarga al ir la cerrando.
- Comparando las figuras 8.1 y 8.2, se comprueba que la forma de la curva característica  $H_m$  vs  $Q_R$  es aproximadamente una recta paralela al eje de las ordenadas. Esta configuración se

obtiene haciendo que el equipo funcione a altas presiones, donde el suministro de la bomba no depende de la carga creada.

- La mayor variación de cabeza manométrica  $H_m$  se obtuvo a 400 rpm del motor debido a que el pistón tiene más tiempo de realizar su trabajo de compresión.
- En general, se presenta una baja eficiencia volumétrica debido a que las válvulas de aspiración y descarga de la cámara de trabajo no se encuentran correctamente sincronizadas, provocando la recirculación del fluido. Es decir al no abrirse y cerrarse en el tiempo indicado el fluido vuelve ya sea a la cámara de trabajo o al reservorio, sin salir por la tubería de descarga.
- Una de las desventajas que poseen este tipo de bombas es que no suministran un caudal continuo sino pulsátil, para compensar en algo este fenómeno se provee al equipo de un amortiguador de pulsaciones, que no es más que una cámara de aire instalada en la descarga que amortigua el flujo mediante compresión y dilatación alternadas del aire atrapado. Pero, aunque la tubería de descarga sea corta, el caudal sin amortiguación es mayor que el caudal amortiguado. Esto, a su vez, requiere una mayor presión que la necesaria si el caudal estuviera amortiguado.



**Figura 8.5** Sistema elemental con amortiguador de pulsaciones  
- (Kenneth J. Bombas Selección, Uso y Mantenimiento. Pág. 211)

- Estas bombas se caracterizan por generar altas presiones pero con caudales reducidos, por lo cual se encontró que generando una altura manométrica de  $H_m = 26,5923$  mca, entregando un caudal real de  $Q_R = 0,1228$  Lt/s y funcionando a una velocidad del motor de  $N_M = 700$

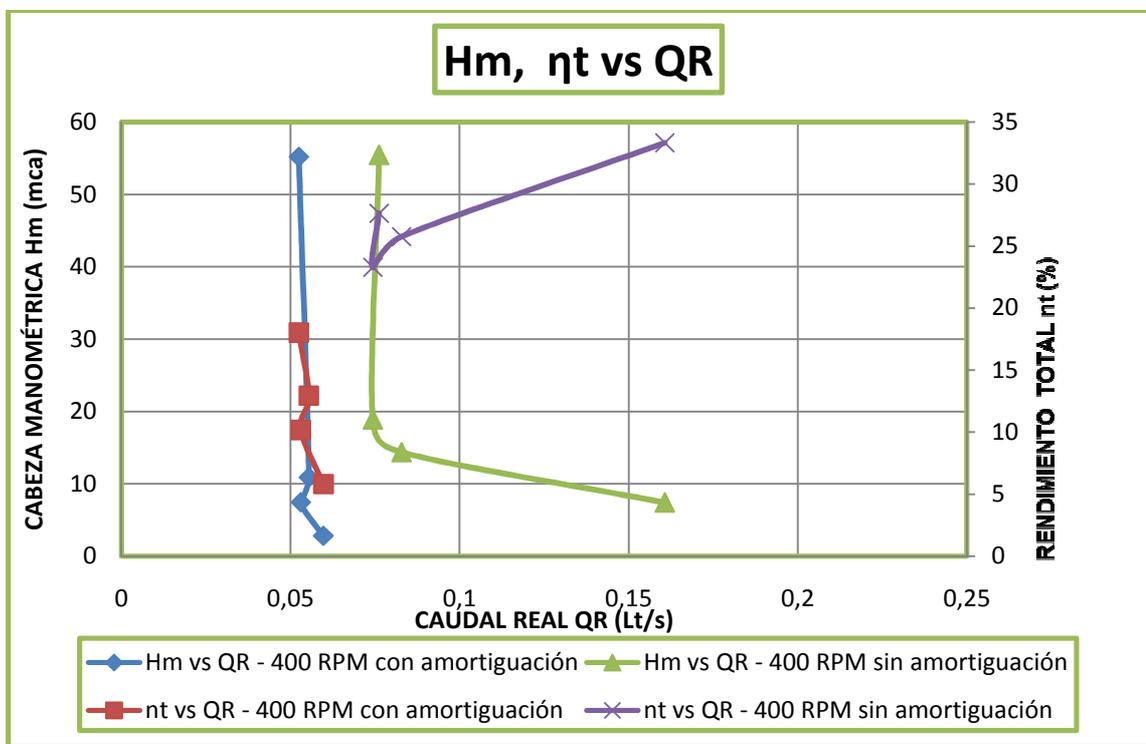
rpm correspondiendo a una velocidad de la bomba de  $N_B = 136,18$  rpm; produce un rendimiento total máximo de  $\eta_t = 31,52\%$ , donde también la potencia útil obtenida  $P_u = 0,0435$  CV es máxima. La baja eficiencia obtenida es debido a que:

- No se sometió al fluido a la suficiente presión de descarga, por salvaguardar los instrumentos de medición, ya que la operación del equipo se vuelve muy delicada, así, con un ligero estrangulamiento de la válvula en la descarga encontrándose cerca de estar cerrada podría elevar demasiado la presión del fluido que superaría el rango de medición de los instrumentos, dañándolos.
- Se operó el equipo a una velocidad baja ( $N_B = 136,18$  rpm) comparada con el rango de funcionamiento que se encuentra entre 300 a 500 rpm del cigüeñal. Pero fue la más alta de las velocidades seleccionadas a las que se sometió la bomba (700 rpm del motor) entregando de esta manera mayor cantidad de caudal que repercute en el incremento de eficiencia. En la práctica se observó que después de este valor, el fluido comenzará a fugar por el lado de la cámara de trabajo que está en contacto con el eje del pistón.
- Al hacer uso de la cámara de aire, una vez conocido su funcionamiento se concluye que parte de la energía transmitida por la bomba se está gastando en comprimir el aire de ésta cámara. Esto produce una disminución del caudal y la presión con que se entrega el fluido.

A continuación se presenta un ejemplo de los resultados obtenidos con y sin amortiguación a 400 rpm del motor:

**TABLA 8.4** RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS  $H_m$ ,  $\eta_t$  vs  $Q_R$  – VSTA – 400RPM CON AMORTIGUACIÓN Y SIN AMORTIGUACIÓN DEL FLUJO.

Apertura Válvulas		REVOLUCIONES DEL MOTOR					
		400 rpm con amortiguación			400 rpm sin amortiguación		
Succión	Descarga	$H_m$	$\eta_t$	$Q_R$	$H_m$	$\eta_t$	$Q_R$
		mca	%	Lt / s	mca	%	Lt / s
Totalmente Abierta	6 Vueltas de cierre	2,8184	5,82	0,0597	7,3883	33,32	0,1607
Totalmente Abierta	6,18Vueltas de cierre	7,4497	10,17	0,0530	14,3683	25,76	0,0828
Totalmente Abierta	6,24Vueltas de cierre	10,8785	12,95	0,0554	18,8551	23,29	0,0743
Totalmente Abierta	6,3 Vueltas de cierre	55,1797	18,02	0,0524	55,4236	27,64	0,0762



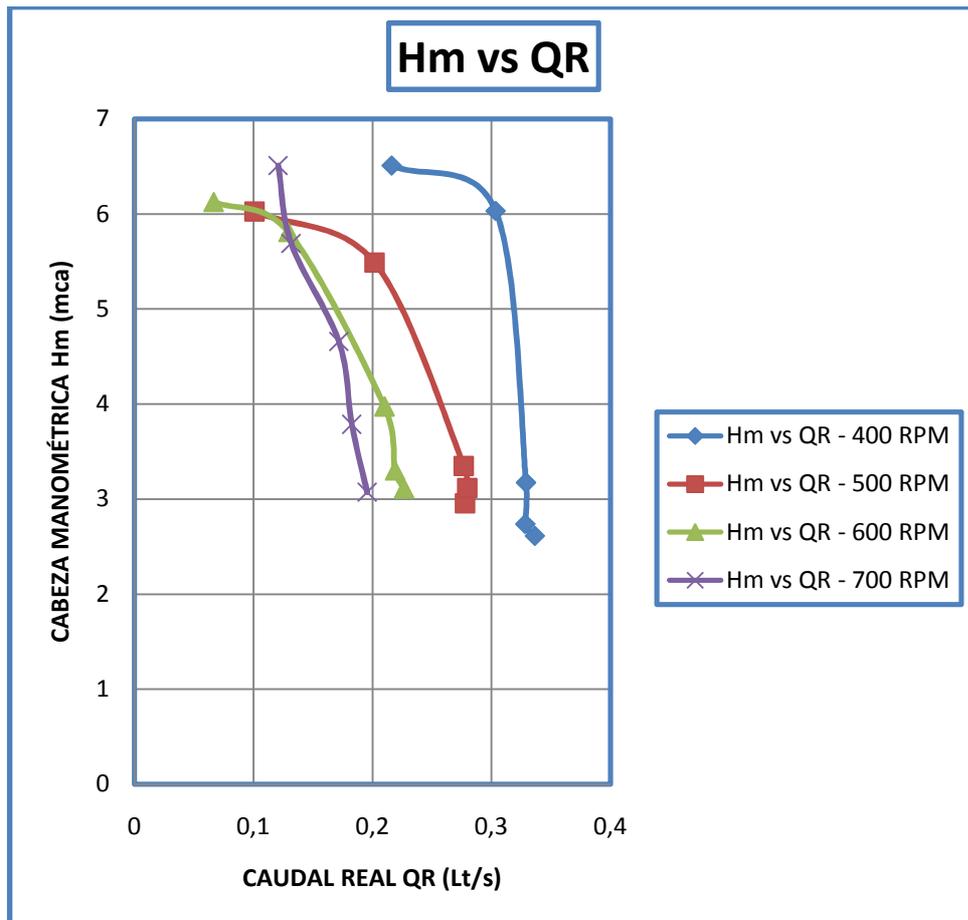
**Figura 8.6** Curvas características  $H_m$ ,  $\eta_t$  vs  $Q_R$  – VSTA – 400rpm con amortiguación y sin amortiguación del flujo.

La gráfica evidencia que la obtención de datos se realiza con mayor control cuando el caudal se encuentra amortiguado, para de esta manera demostrar la característica principal de estas bombas, que es, suministrar un caudal constante independiente de la variación de carga.

**Curvas características  $H_M$  vs  $Q_R$  – VDTA:**

**TABLA 8.5 RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS  $H_m$  vs  $Q_R$  – VDTA**

Apertura Válvulas		REVOLUCIONES DEL MOTOR							
		400 rpm		500 rpm		600 rpm		700 rpm	
Succión	Descarga	Hm	Q <sub>R</sub>	Hm	Q <sub>R</sub>	Hm	Q <sub>R</sub>	Hm	Q <sub>R</sub>
		mca	Lt / s	mca	Lt / s	mca	Lt / s	mca	Lt / s
5 Vueltas de cierre	Totalmente abierta	2,61	0,34	2,96	0,28	3,11	0,23	3,07	0,20
5,25 Vueltas de cierre	Totalmente abierta	2,74	0,33	3,12	0,28	3,30	0,22	3,79	0,18
5,50 Vueltas de cierre	Totalmente abierta	3,17	0,33	3,35	0,28	3,97	0,21	4,66	0,17
6 Vueltas de cierre	Totalmente abierta	6,03	0,30	5,49	0,20	5,81	0,13	5,69	0,13
6,1 Vueltas de cierre	Totalmente abierta	6,51	0,22	6,03	0,10	6,13	0,07	6,51	0,12

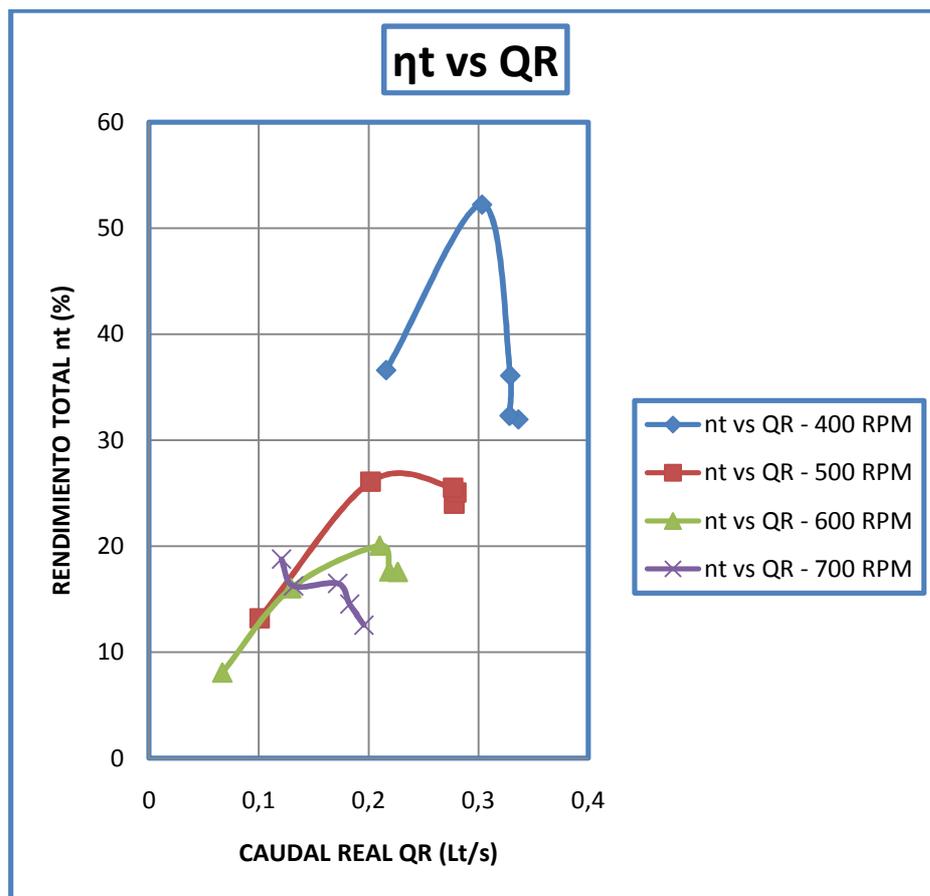


**Figura 8.7** Curvas características  $H_m$  vs  $Q_R$  – VDTA

**Curvas características  $\eta_t$  vs  $Q_R$  – VDTA:**

**TABLA 8.6 RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS  $\eta_t$  vs  $Q_R$  – VDTA**

Apertura Válvulas		REVOLUCIONES DEL MOTOR							
		400 rpm		500 rpm		600 rpm		700 rpm	
Succión	Descarga	$\eta_T$	$Q_R$	$\eta_T$	$Q_R$	$\eta_T$	$Q_R$	$\eta_T$	$Q_R$
		%	Lt / s	%	Lt / s	%	Lt / s	%	Lt / s
5 Vueltas de cierre	Totalmente Abierta	31,97	0,34	24,03	0,28	17,57	0,23	12,55	0,20
5,25 Vueltas de cierre	Totalmente Abierta	32,32	0,33	25,08	0,28	17,62	0,22	14,53	0,18
5,50 Vueltas de cierre	Totalmente Abierta	36,10	0,33	25,52	0,28	20,06	0,21	16,50	0,17
6 Vueltas de cierre	Totalmente Abierta	52,23	0,30	26,09	0,20	16,04	0,13	16,25	0,13
6,1 Vueltas de cierre	Totalmente Abierta	36,61	0,22	13,21	0,10	8,08	0,07	18,78	0,12

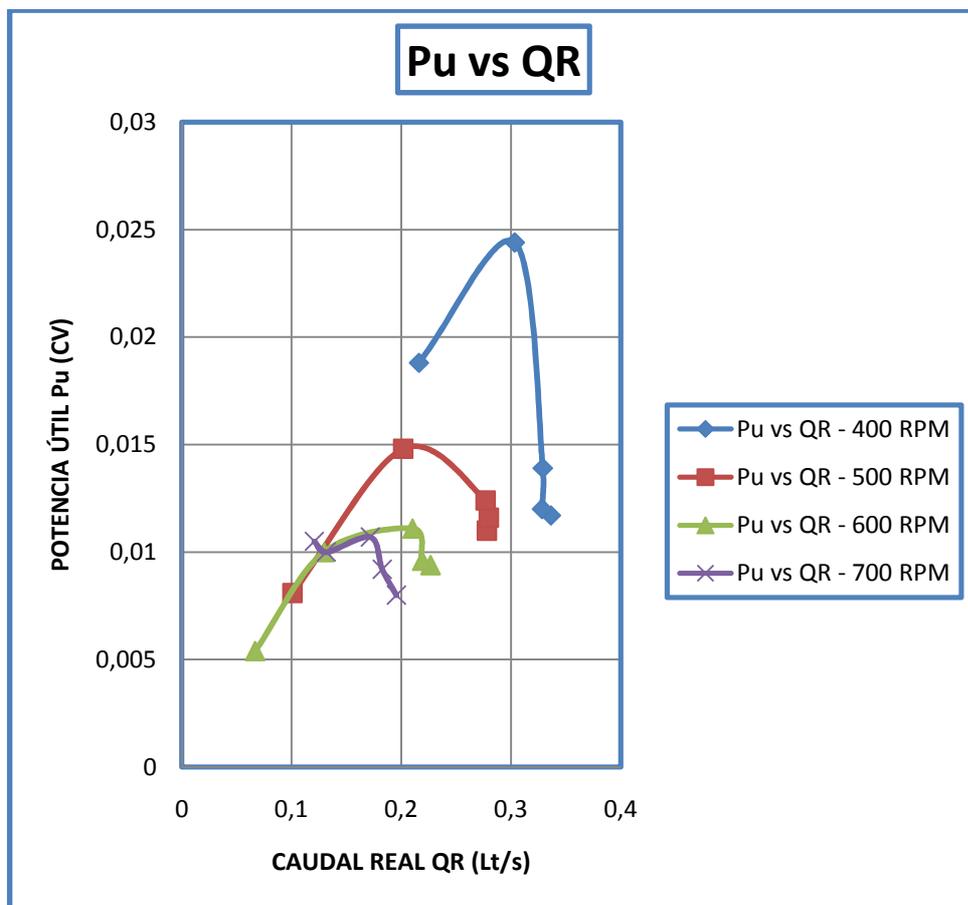


**Figura 8.8** Curvas características  $\eta_t$  vs  $Q_R$  – VDTA

**Curvas características Pu vs QR – VSTA:**

**TABLA 8.7 RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS Pu vs QR – VDTA**

Apertura Válvulas		REVOLUCIONES DEL MOTOR							
		400 RPM		500 RPM		600 RPM		700 RPM	
Succión	Descarga	Pu	QR	Pu	QR	Pu	QR	Pu	QR
		CV	Lt / s	CV	Lt / s	CV	Lt / s	CV	Lt / s
5 Vueltas de cierre	Totalmente Abierta	0,0117	0,34	0,0110	0,28	0,0094	0,23	0,0080	0,20
5,25 Vueltas de cierre	Totalmente Abierta	0,0120	0,33	0,0116	0,28	0,0096	0,22	0,0092	0,18
5,50 Vueltas de cierre	Totalmente Abierta	0,0139	0,33	0,0124	0,28	0,0111	0,21	0,0107	0,17
6 Vueltas de cierre	Totalmente Abierta	0,0244	0,30	0,0148	0,20	0,0100	0,13	0,0100	0,13
6,1 Vueltas de cierre	Totalmente Abierta	0,0188	0,22	0,0081	0,10	0,0054	0,07	0,0105	0,12

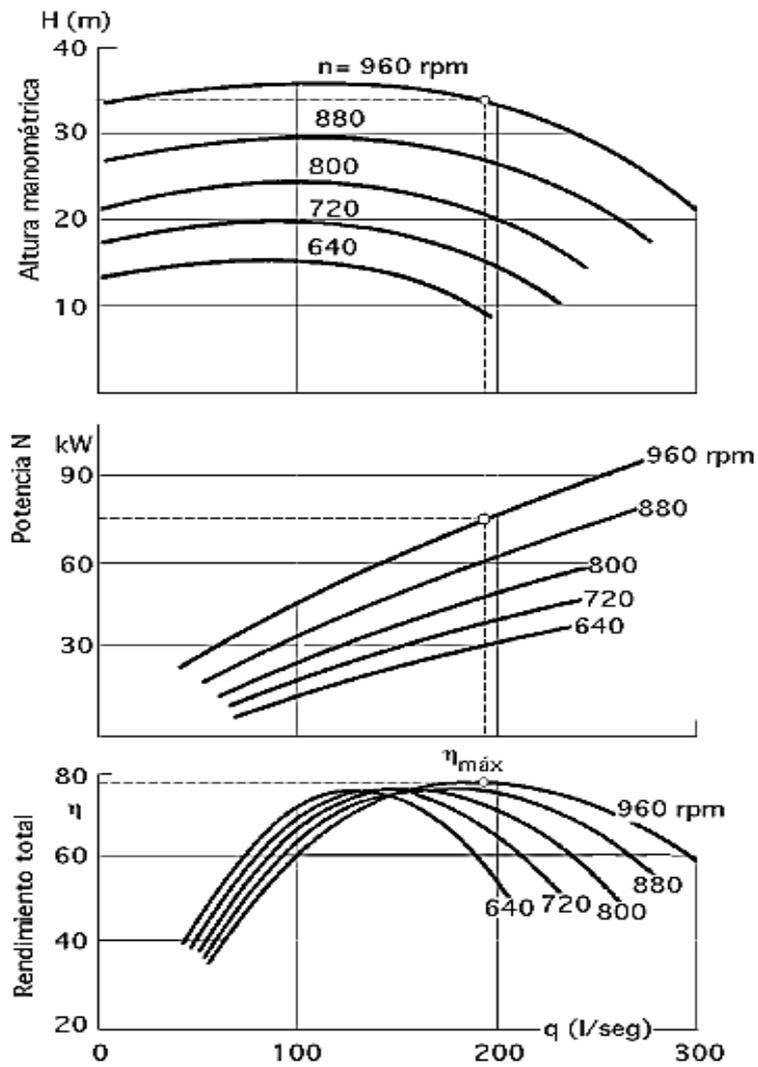


**Figura 8.9** Curvas características Pu vs QR – VDTA

- Al mantener la válvula de descarga totalmente abierta, la variación de la cabeza manométrica  $H_m$  en función de la variación del caudal real  $Q_R$ , se realiza debido a las pérdidas en la succión causadas por el estrangulamiento del fluido.
- La forma de la curva característica  $H_m$  vs  $Q_R$  realizando variaciones de carga en la succión, también se asemeja a una recta paralela al eje de las ordenadas. El caudal de la bomba no depende de la carga creada; pero, la última estrangulación de fluido es excesiva lo cual reduce se reduce el caudal.
- Los mayores valores de cabeza manométrica  $H_m$  se obtuvieron a 400 rpm del motor debido a que el pistón tiene más tiempo para llenar la cámara de trabajo y realizar la compresión; por lo tanto también las mayores eficiencias volumétricas se dieron a esta velocidad.
- Con una cabeza manométrica de  $H_m = 6,03$  mca, entregando un caudal real de  $Q_R = 0,3$  Lt/s y funcionando a una velocidad del motor de  $N_M = 400$  rpm correspondiendo a una velocidad de la bomba de  $N_B = 77,82$  rpm; produce un rendimiento total máximo de  $\eta_t = 52,23$  % donde también la potencia útil obtenida  $P_u = 0,0244$  CV es máxima. La eficiencia obtenida es debido a que:
  - El caudal entregado por la bomba fue mayor que el entregado con la válvula de succión totalmente abierta, a pesar de que no se generaron altas presiones debido a que la válvula de descarga se encontraba totalmente abierta.
  - No se utilizó la cámara de aire que amortigua el caudal, ya que tiene conexión solo con el fluido de descarga.

## 8.2 Análisis de resultados bomba centrífuga

A continuación se presentan curvas características típicas de una bomba centrífuga, con la finalidad de comparar si los datos obtenidos poseen la misma tendencia.

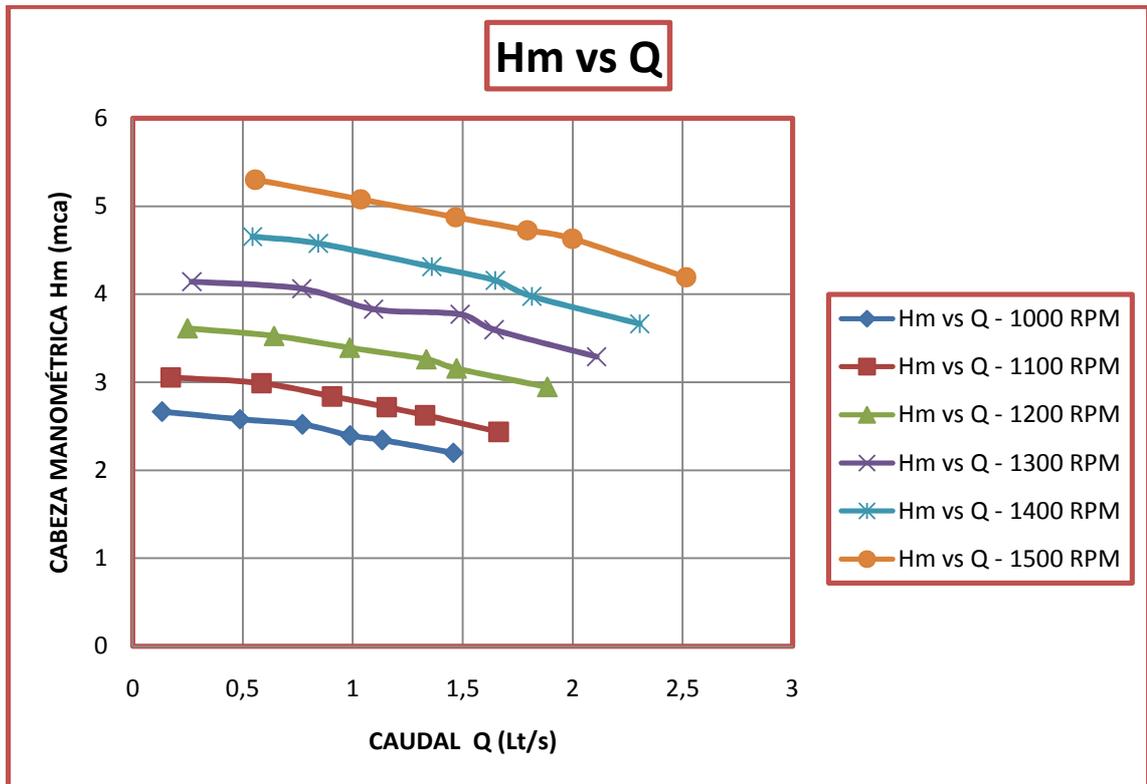


**Figura 8.10** Curvas características típicas  $H_m$ ,  $P_u$  y  $\eta_t$  vs  $Q$ - (Fernández Diez, Pedro. Bombas centrífugas y volumétricas. Pág. BC.V.-62)

**Curvas características  $H_M$  vs  $Q$  – VSTA:**

**TABLA 8.8 RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS  $H_m$  vs  $Q$ .**

Apertura Válvulas		REVOLUCIONES DE LA BOMBA											
Succión	Descarga	1000 rpm		1100 rpm		1200 rpm		1300 rpm		1400 rpm		1500 rpm	
		Hm	Q	Hm	Q	Hm	Q	Hm	Q	Hm	Q	Hm	Q
		mca	Lt / s	mca	Lt / s	mca	Lt / s	mca	Lt / s	mca	Lt / s	mca	Lt / s
Totalmente Abierta	3 Vueltas de cierre	2,1988	1,4577	2,4365	1,6635	2,9443	1,8854	3,291	2,1092	3,6646	2,3049	4,1937	2,5161
Totalmente Abierta	5 Vueltas de cierre	2,3424	1,1338	2,6247	1,3288	3,1545	1,4728	3,5968	1,6427	3,9765	1,8146	4,6301	1,9985
Totalmente Abierta	5,5 Vueltas de cierre	2,3928	0,988	2,7172	1,1548	3,2614	1,3343	3,7737	1,488	4,1568	1,6487	4,7261	1,7934
Totalmente Abierta	6 Vueltas de cierre	2,5199	0,7709	2,8385	0,9058	3,3895	0,987	3,8301	1,0949	4,3122	1,3592	4,8749	1,4676
Totalmente Abierta	6,5 Vueltas de cierre	2,5805	0,4868	2,9893	0,585	3,5251	0,642	4,0635	0,7679	4,5778	0,8437	5,0786	1,0365
Totalmente Abierta	7 Vueltas de cierre	2,6649	0,1331	3,0537	0,1726	3,6133	0,2495	4,1431	0,2686	4,6545	0,5445	5,3015	0,5569

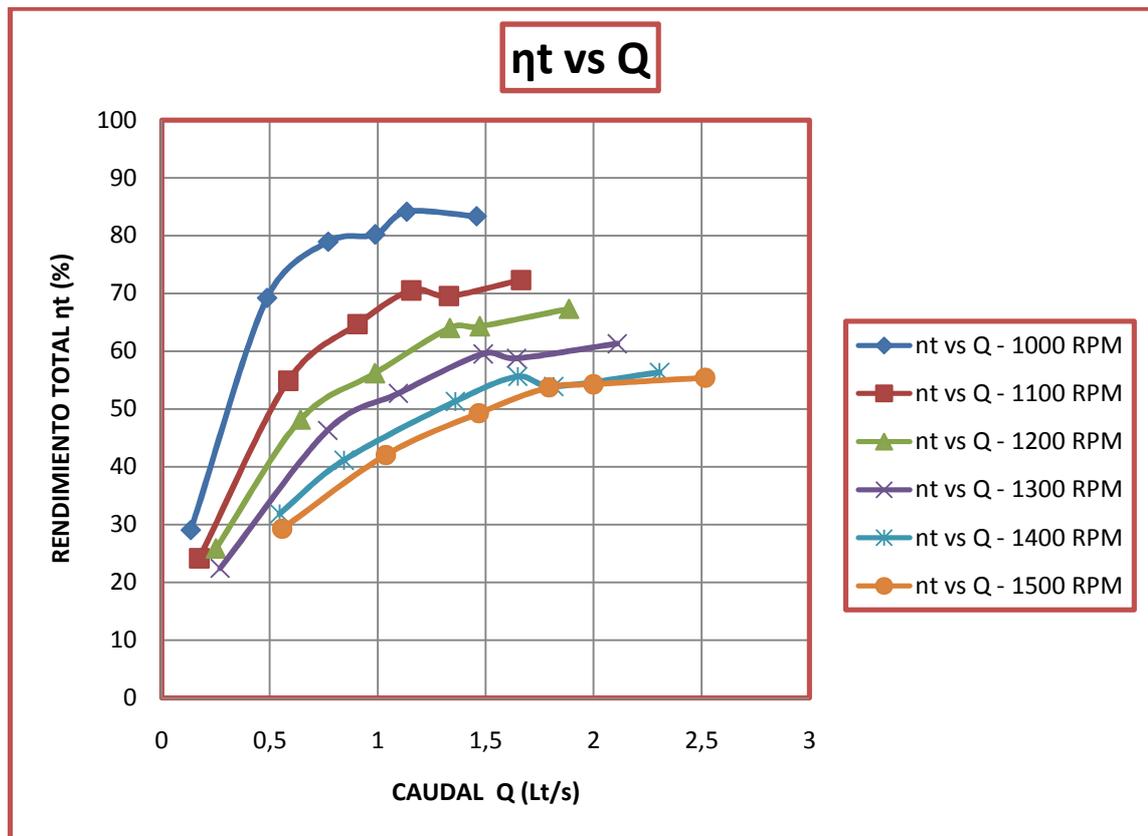


*Figura 8.11 Curvas características  $H_m$  vs  $Q$  – VSTA.*

**Curvas características  $\eta_t$  vs  $Q$  – VSTA:**

**TABLA 8.9 RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS  $\eta_t$  vs  $Q$ .**

Apertura Válvulas		REVOLUCIONES DE LA BOMBA											
Succión	Descarga	1000 RPM		1100 RPM		1200 RPM		1300 RPM		1400 RPM		1500 RPM	
		$\eta_t$	Q	$\eta_t$	Q	$\eta_t$	Q	$\eta_t$	Q	$\eta_t$	Q	$\eta_t$	Q
		%	Lt/s	%	Lt/s	%	Lt/s	%	Lt/s	%	Lt/s	%	Lt/s
Totalmente Abierta	3 Vueltas de cierre	83,374	1,4577	72,308	1,6635	67,33	1,8854	61,298	2,1092	56,338	2,3049	55,429	2,5161
Totalmente Abierta	5 Vueltas de cierre	84,137	1,1338	69,555	1,3288	64,276	1,4728	58,779	1,6427	53,898	1,8146	54,288	1,9985
Totalmente Abierta	5,5 Vueltas de cierre	80,191	0,988	70,524	1,1548	64,036	1,3343	59,537	1,488	55,639	1,6487	53,742	1,7934
Totalmente Abierta	6 Vueltas de cierre	78,932	0,7709	64,705	0,9058	56,167	0,987	52,702	1,0949	51,302	1,3592	49,297	1,4676
Totalmente Abierta	6,5 Vueltas de cierre	69,23	0,4868	54,887	0,585	48,187	0,642	46,298	0,7679	41,128	0,8437	42,05	1,0365
Totalmente Abierta	7 Vueltas de cierre	29,06	0,1331	24,169	0,1726	25,824	0,2495	22,426	0,2686	31,879	0,5445	29,287	0,5569

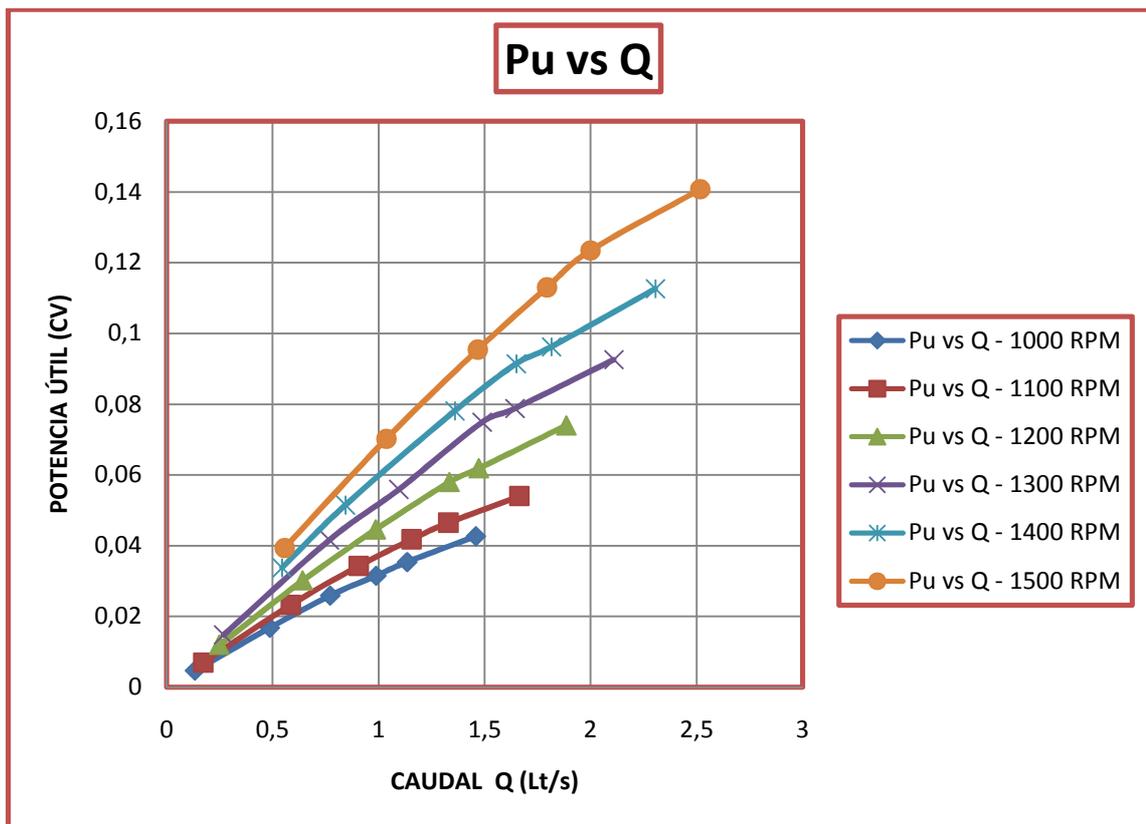


*Figura 8.12 Curvas características  $\eta_t$  vs  $Q$*

### Curvas características Pu vs Q – VSTA:

**TABLA 8.10 RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS Pu vs Q.**

Apertura Válvulas		REVOLUCIONES DE LA BOMBA											
Succión	Descarga	1000 rpm		1100 rpm		1200 rpm		1300 rpm		1400 rpm		1500 rpm	
		Pu	QR	Pu	QR	Pu	QR	Pu	QR	Pu	QR	Pu	QR
		CV	Lt/s	CV	Lt/s	CV	Lt/s	CV	Lt/s	CV	Lt/s	CV	Lt/s
Totalmente Abierta	3 Vueltas de cierre	0,0427	1,4577	0,054	1,6635	0,074	1,8854	0,0926	2,1092	0,1126	2,3049	0,1407	2,5161
Totalmente Abierta	5 Vueltas de cierre	0,0354	1,1338	0,0465	1,3288	0,0619	1,4728	0,0788	1,6427	0,0962	1,8146	0,1234	1,9985
Totalmente Abierta	5,5 Vueltas de cierre	0,0315	0,988	0,0418	1,1548	0,058	1,3343	0,0749	1,488	0,0914	1,6487	0,113	1,7934
Totalmente Abierta	6 Vueltas de cierre	0,0259	0,7709	0,0343	0,9058	0,0446	0,987	0,0559	1,0949	0,0781	1,3592	0,0954	1,4676
Totalmente Abierta	6,5 Vueltas de cierre	0,0168	0,4868	0,0233	0,585	0,0302	0,642	0,0416	0,7679	0,0515	0,8437	0,0702	1,0365
Totalmente Abierta	7 Vueltas de cierre	0,0047	0,1331	0,007	0,1726	0,012	0,2495	0,0148	0,2686	0,0338	0,5445	0,0394	0,5569



*Figura 8.13 Curvas características Pu vs Q.*

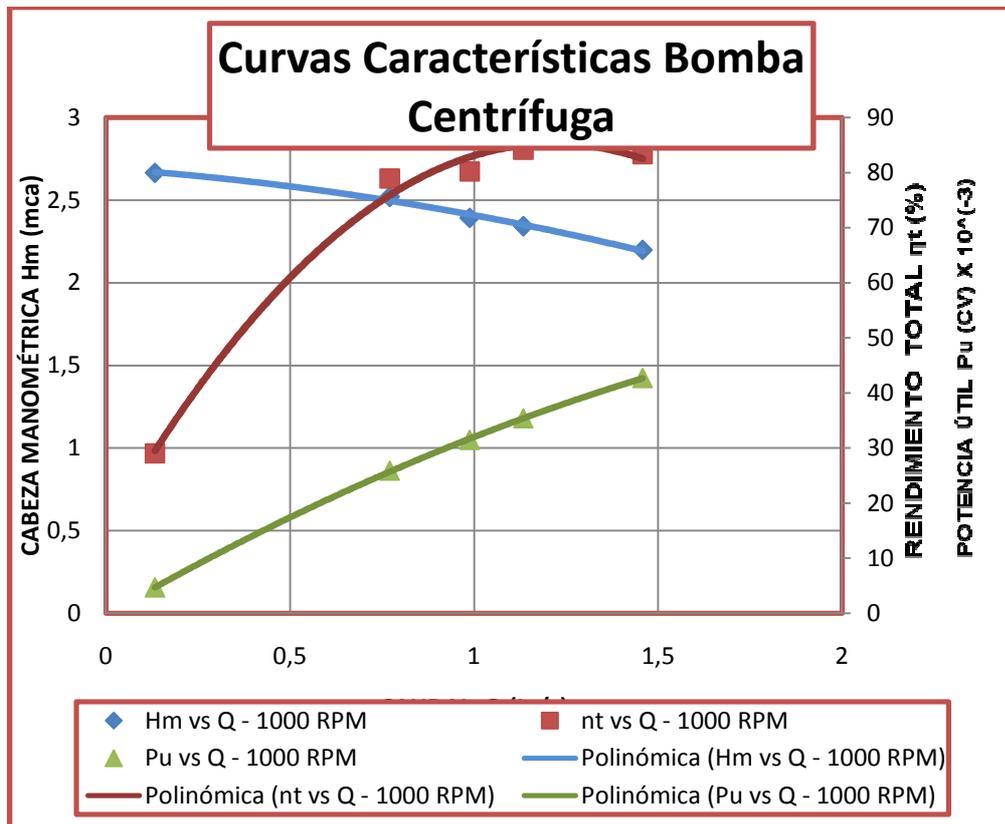
- La cabeza manométrica  $H_m$  varía en función del caudal  $Q$ , debido a la restricción del paso de fluido que se realiza en la válvula de descarga.

- Al realizar la comparación entre las curvas características obtenidas ( $H_m$ ,  $\eta_t$  y  $P_u$  vs  $Q$ ) con las curvas de la figura 7.7, se comprueba que ambas poseen la misma tendencia parabólica.
- Para una misma apertura de válvula en la descarga, en este caso con 7 vueltas de cierre la mayor cabeza manométrica obtenida fue  $H_m = 5,3015$  mca con un caudal  $Q = 0,5569$  Lt/s, operando a 1500 rpm; pues al aumentar la velocidad del rotor, aumenta el caudal y por ende también la presión que posee el fluido. Esto implica que la carcasa de la bomba cuya función es la de transformar parte de la energía cinética en energía de presión; al aumentar la velocidad tendrá disponible mayor energía cinética para realizar dicha transformación consecuentemente el fluido entregado podrá elevarse a mayores alturas.
- Las bombas centrífugas por lo general presentan un paso de agua reducido en relación con el diámetro de rotor, con objeto de obligar al fluido a hacer un recorrido radial largo y aumentar la acción centrífuga, lo que justifica su nombre. Entonces su lógica aplicación se encuentra en cargas relativamente altas y medianas; por lo cual se encontró que generando una altura manométrica de  $H_m = 2,3424$  mca, entregando un caudal de  $Q = 1,1338$  Lt/s y funcionando a una velocidad  $N = 1000$  rpm; produce un rendimiento total máximo de  $\eta_t = 84,1373\%$ . De acuerdo a los resultados obtenidos en el reporte este valor de eficiencia indica que:
  - Existió una buena transferencia de energía al fluido desde el rotor de la bomba. Esto se debió a que el motor de la bomba no tuvo que suministrar un valor alto de potencia de accionamiento  $P_a = 0,0421$  CV, la misma que se acerca mucho al valor de potencia útil  $P_u = 0,0354$  CV.
  - La potencia útil transferida al fluido al operar la bomba a la velocidad de  $N = 1000$  rpm resultó ser la más baja para una misma apertura, ya que a esta velocidad no se genera la suficiente cabeza manométrica  $H_m$  y caudal  $Q$ , para que la bomba se esfuerce en proporcionar más potencia de accionamiento.

A continuación se presenta un ejemplo que evidencia lo expuesto anteriormente acerca de los resultados obtenidos a máxima eficiencia de la bomba centrífuga.

**TABLA 8.11 RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS Hm, Pu y  $\eta_t$  vs Q- (MÁXIMA EFICIENCIA).**

Apertura Válvulas		REVOLUCIONES DE LA BOMBA				
Succión	Descarga	1000 rpm				
		Hm	$\eta_t$	Pu	$Pu \times 10^{(-3)}$	Q
		mca	%	CV	CV	Lt / s
Totalmente Abierta	3 Vueltas de cierre	2,1988	83,3737	0,0427	42,7	1,4577
Totalmente Abierta	5 Vueltas de cierre	2,3424	84,1373	0,0354	35,4	1,1338
Totalmente Abierta	5,5 Vueltas de cierre	2,3928	80,1909	0,0315	31,5	0,988
Totalmente Abierta	6 Vueltas de cierre	2,5199	78,9318	0,0259	25,9	0,7709
Totalmente Abierta	7 Vueltas de cierre	2,6649	29,0604	0,0047	4,7	0,1331



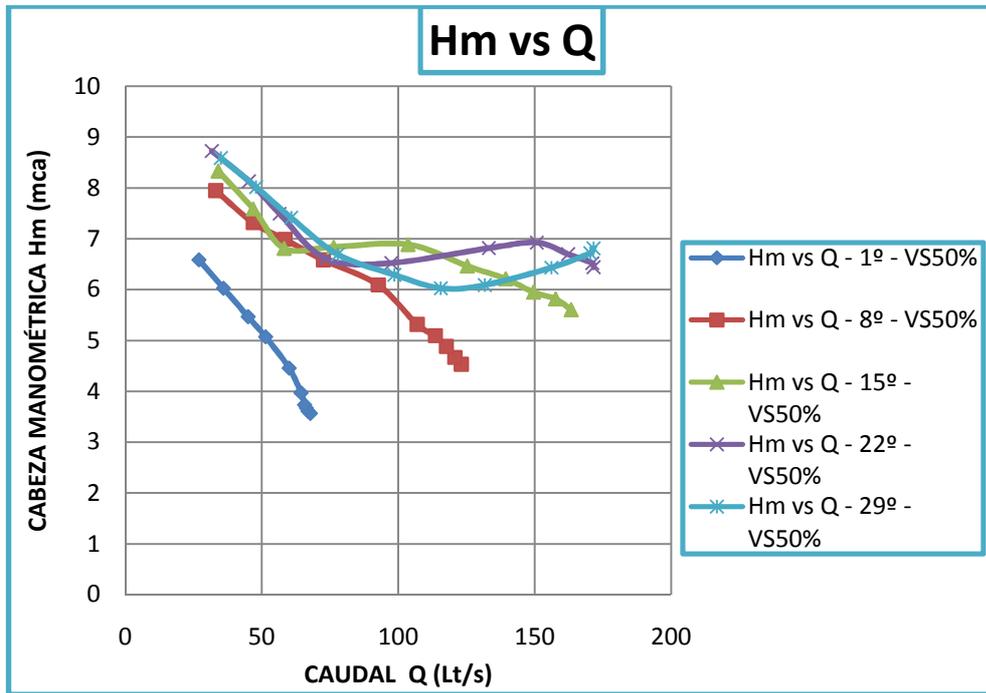
**Figura 8.14** Curvas características Hm, Pu y  $\eta_t$  vs Q- (máxima eficiencia)

**8.3 Análisis de resultados bomba axial**

**Curvas características  $H_M$  vs  $Q$  – VS50%:**

**TABLA 8.12 RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS  $H_m$  vs  $Q$  – VS50%.**

APERTURA		APERTURA DE ÁLABES DEL ROTOR ( ° )									
Succión	Descarga	1		8		15		22		29	
		Hm	Q	Hm	Q	Hm	Q	Hm	Q	Hm	Q
		mca	Lt/s	mca	Lt/s	mca	Lt/s	mca	Lt/s	mca	Lt/s
-50%	-50%	3,5641	67,81	4,5276	123,14	5,6035	163,38	6,4384	171,65	6,8087	171,58
-50%	-55%	3,6092	66,999	4,6643	120,75	5,814	157,7	6,5188	171,15	6,7157	170,34
-50%	-60%	3,6708	66,321	4,88	117,65	5,9488	149,57	6,6949	162,31	6,4301	156,11
-50%	-65%	3,7325	65,701	5,0904	113,63	6,2115	139,41	6,9245	150,83	6,0884	131,73
-50%	-70%	3,9703	64,351	5,3153	106,93	6,4635	125,35	6,8157	133,26	6,0257	115,64
-50%	-75%	4,4576	60,036	6,0895	92,719	6,8871	103,64	6,5221	97,528	6,2891	98,581
-50%	-80%	5,0707	51,405	6,583	72,598	6,8362	76,421	6,6057	73,513	6,6911	77,838
-50%	-85%	5,4664	45,003	6,9875	58,556	6,8108	58,247	7,4908	56,59	7,4125	60,848
-50%	-90%	6,025	36,018	7,3145	46,903	7,586	46,935	8,1296	45,362	8,0148	47,99
-50%	-95%	6,5845	27,004	7,947	33,136	8,3308	34,09	8,7263	31,755	8,5851	35,076



*Figura 8.15 Curvas características  $H_m$  vs  $Q$  – VS50%.*

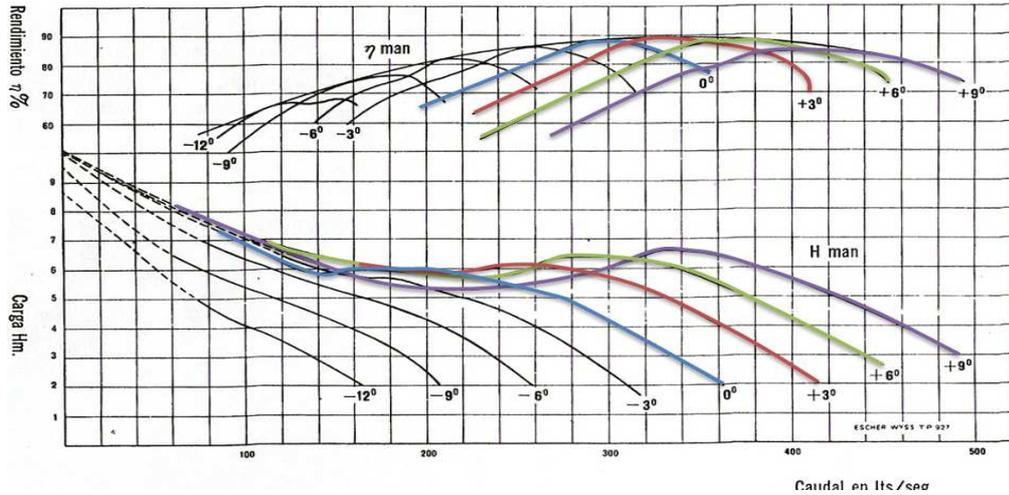


Figura 8.16 Curvas características  $H_m$  vs  $Q$ - (Encinas, Manuel Polo. Turbomáquinas hidráulicas. Pág. 100)

**Curvas características  $\eta_t$  vs  $Q$  – VS50%:**

**TABLA 8.13 RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS  $\eta_t$  vs  $Q$  – VS50%.**

APERTURA		APERTURA DE ÁLABES DEL ROTOR ( ° )									
Succión	Descarga	1		8		15		22		29	
		nt	Q	nt	Q	nt	Q	nt	Q	nt	Q
		%	Lt/s	%	Lt/s	%	Lt/s	%	Lt/s	%	Lt/s
-50%	-50%	20,55	67,81	41,168	123,14	55,328	163,38	54,498	171,65	49,341	171,58
-50%	-55%	20,544	66,999	41,158	120,75	54,596	157,7	54,276	171,15	49,001	170,34
-50%	-60%	20,698	66,321	41,383	117,65	52,193	149,57	52,732	162,31	45,388	156,11
-50%	-65%	20,78	65,701	41,225	113,63	50,156	139,41	50,708	150,83	38,26	131,73
-50%	-70%	21,405	64,351	39,752	106,93	46,155	125,35	44,697	133,26	33,605	115,64
-50%	-75%	22,17	60,036	38,039	92,719	40,008	103,64	32,995	97,528	29,728	98,581
-50%	-80%	21,245	51,405	31,507	72,598	29,763	76,421	25,003	73,513	24,115	77,838
-50%	-85%	19,744	45,003	26,732	58,556	22,815	58,247	20,235	56,59	19,411	60,848
-50%	-90%	17,178	36,018	22,302	46,903	19,331	46,935	16,804	45,362	15,861	47,99
-50%	-95%	13,786	27,004	16,671	33,136	14,571	34,09	12,111	31,755	11,961	35,076

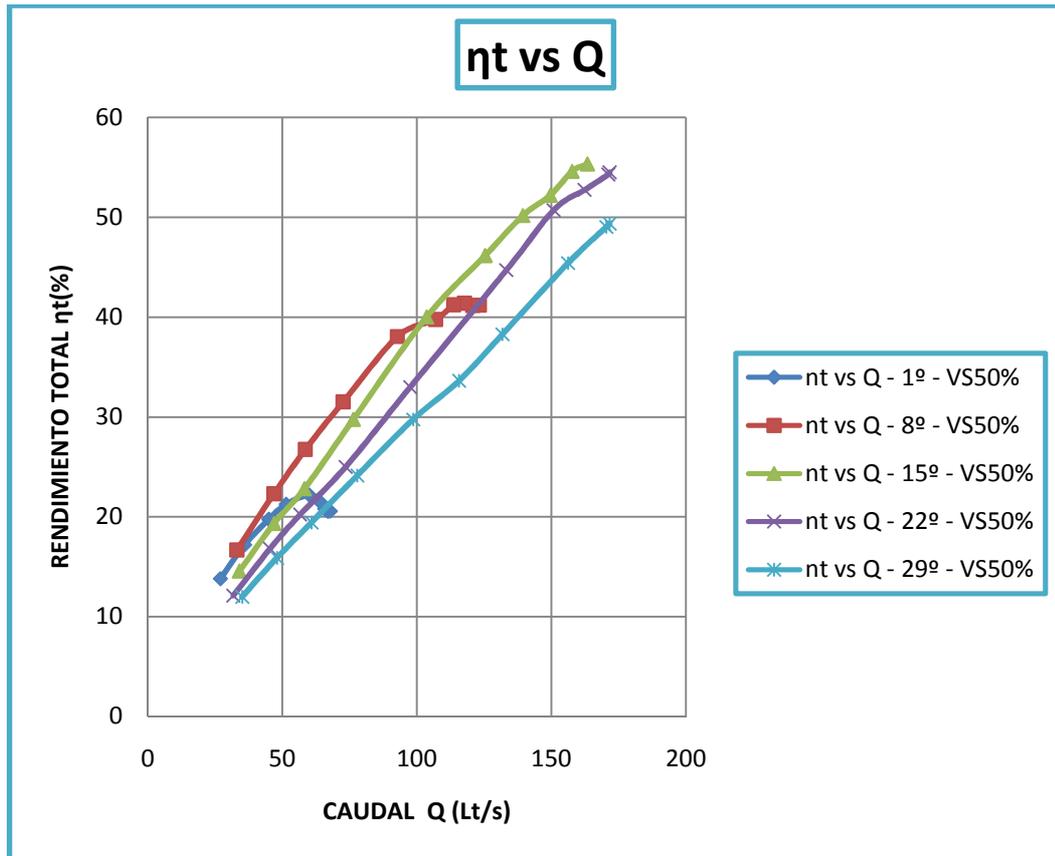
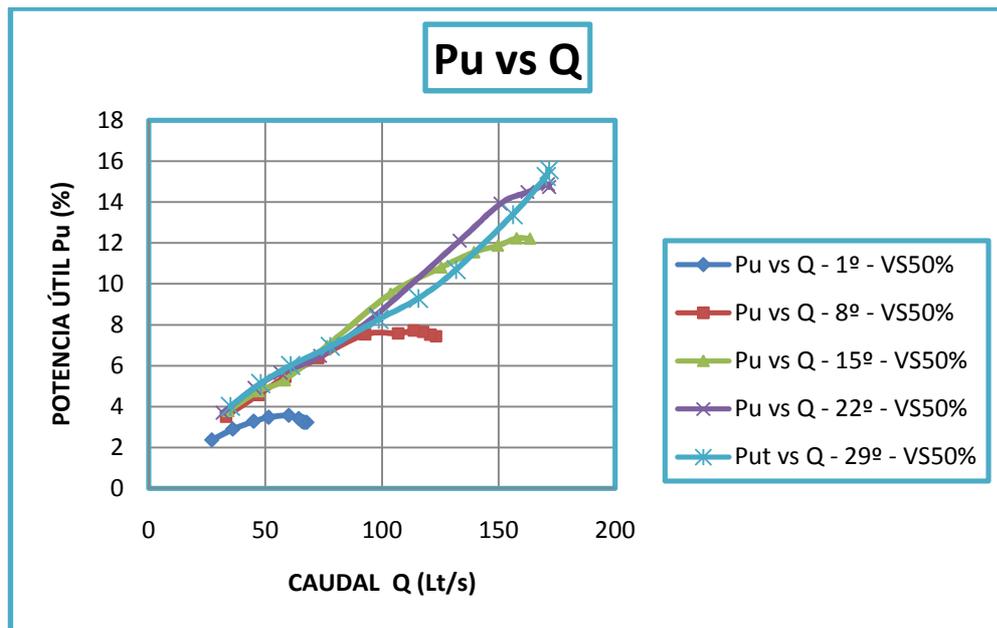


Figura 8.17 Curvas características  $\eta_t$  vs  $Q$  – VS50%

**Curvas características  $P_u$  vs  $Q$  – VS50%**

**TABLA 8.14 RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS  $P_u$  vs  $Q$  – VS50%.**

APERTURA		APERTURA DE ÁLABES DEL ROTOR ( ° )									
Succión	Descarga	1		8		15		22		29	
		Pu	Q	Pu	Q	Pu	Q	Pu	Q	Pu	Q
		CV	Lt/s	CV	Lt/s	CV	Lt/s	CV	Lt/s	CV	Lt/s
-50%	-50%	3,222	67,810	7,434	123,144	12,207	163,385	14,735	171,647	15,577	171,585
-50%	-55%	3,224	66,999	7,510	120,753	12,225	157,697	14,876	171,148	15,252	170,336
-50%	-60%	3,246	66,321	7,655	117,651	11,864	149,572	14,489	162,312	13,384	156,109
-50%	-65%	3,270	65,701	7,712	113,628	11,546	139,412	13,925	150,828	10,693	131,727
-50%	-70%	3,407	64,351	7,578	106,933	10,803	125,347	12,110	133,256	9,291	115,641
-50%	-75%	3,568	60,036	7,528	92,719	9,517	103,636	8,481	97,528	8,267	98,581
-50%	-80%	3,475	51,405	6,372	72,598	6,966	76,421	6,475	73,513	6,944	77,838
-50%	-85%	3,280	45,003	5,455	58,556	5,289	58,247	5,652	56,590	6,014	60,848
-50%	-90%	2,893	36,018	4,574	46,903	4,747	46,935	4,917	45,362	5,128	47,990
-50%	-95%	2,371	27,004	3,511	33,136	3,787	34,090	3,695	31,755	4,015	35,076



**Figura 8.18** Curvas características  $P_u$  vs  $Q$  – VS50%

- La variación de la cabeza manométrica  $H_m$  en función de la variación del caudal  $Q$  se produce debido al incremento de presión en la tubería de descarga, causado por la restricción del paso de fluido en la válvula de descarga al ir la cerrando. El caudal entregado es proporcional a la apertura de los álabes del rotor.
- Comparando las figuras 8.15 y 8.16, se comprueba la tendencia geométrica que deben tener las curvas características  $H_m$  vs  $Q$  de una bomba axial. En algunas de ellas aparece una disminución de la cabeza manométrica, llamada zona de inestabilidad, en la cual la incidencia del líquido es tal que no produce empuje útil sobre el álabe, como consecuencia disminuye o no aumenta la presión de descarga. Una vez superada esta zona, la cabeza manométrica vuelve a incrementarse según se obstruye el fluido con la válvula de descarga.
- La mayor cabeza manométrica  $H_m = 8,7263$  mca con un caudal  $Q = 31,755$  Lt/s se obtuvo con una apertura de los álabes del rotor de  $22^\circ$ , debido a que el fenómeno de inestabilidad se acentúa menos que en la apertura de  $29^\circ$ . Además, al operar con la válvula de succión al 50% (VS50%) las pérdidas en la succión aumentan, haciendo esforzar más a la bomba.
- Estas bombas se caracterizan por mover grandes caudales pero a alturas reducidas, por lo cual se encontró que generando una altura manométrica de  $H_m = 5,6035$  mca, entregando un

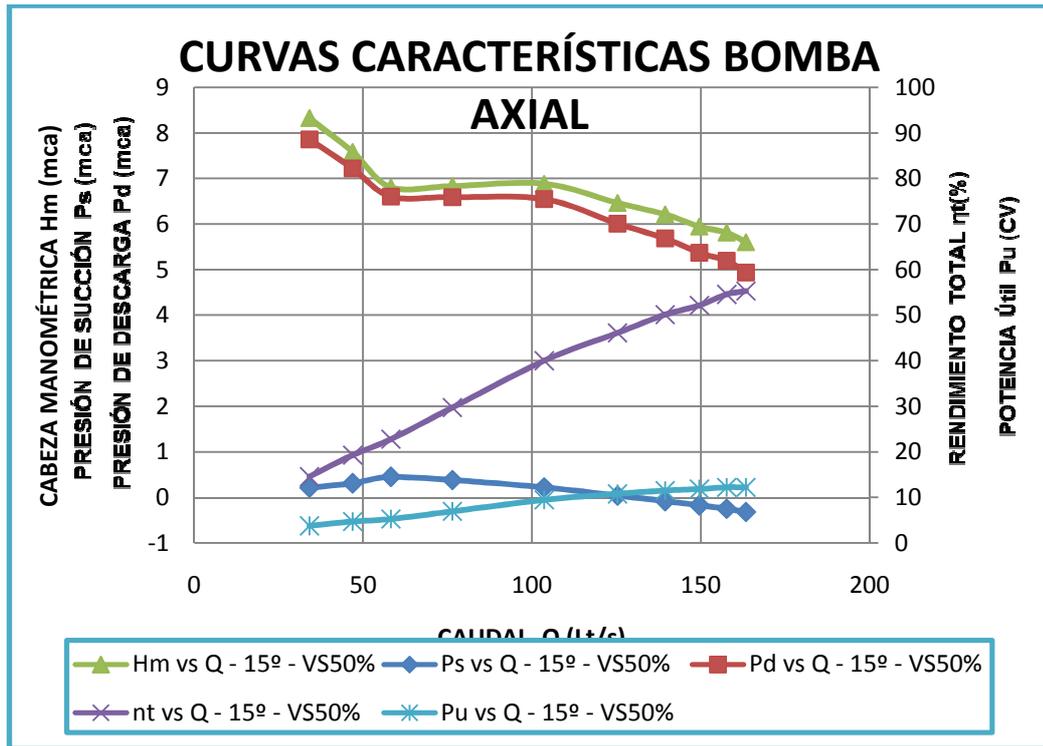
caudal real de  $Q= 163,38$  Lt/s, una potencia útil  $P_u = 12,2071$  CV, a una apertura de los álabes del rotor de  $15^\circ$ ; produce un rendimiento total máximo de  $\eta_t = 55,3279$  %. La eficiencia obtenida es debido a que:

- Se operó el equipo con la válvula de succión al 50% (VS50%), obligando a que la bomba genere mayor cabeza manométrica y por ende mayor eficiencia que si el equipo se hubiere operado con la válvula de succión totalmente abierta (VSTA).
- A la apertura de  $15^\circ$  en los álabes del rotor, es cuando el fenómeno de inestabilidad aparece, pero el caudal es muy próximo al entregado, que si la apertura de álabes fuera  $22$  o  $29^\circ$ .

A continuación se presentan los resultados obtenidos a máxima eficiencia:

**TABLA 8.15 RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS  $H_m$ ,  $\eta_t$  y  $P_u$  vs  $Q$  A MÁXIMA EFICIENCIA. TAMBIÉN SE PRESENTA LA VARIACIÓN DE  $P_s$  y  $P_d$ .**

APERTURA		APERTURA DE ÁLABES DEL ROTOR ( ° )					
Succión	Descarga	15					
		$H_m$	$\eta_t$	$P_u$	$P_s$	$P_d$	$Q$
		mca	%	CV	mca	mca	Lt/s
-50%	-50%	5,6035	55,328	12,207	-0,3189	4,9361	163,38
-50%	-55%	5,814	54,596	12,225	-0,2453	5,1962	157,7
-50%	-60%	5,9488	52,193	11,864	-0,172	5,3714	149,57
-50%	-65%	6,2115	50,156	11,546	-0,0816	5,6858	139,41
-50%	-70%	6,4635	46,155	10,803	0,0427	6,0131	125,35
-50%	-75%	6,8871	40,008	9,5167	0,2237	6,5523	103,64
-50%	-80%	6,8362	29,763	6,9657	0,3824	6,5955	76,421
-50%	-85%	6,8108	22,815	5,2894	0,4514	6,6068	58,247
-50%	-90%	7,586	19,331	4,7473	0,3105	7,2256	46,935
-50%	-95%	8,3308	14,571	3,7866	0,2137	7,8597	34,09



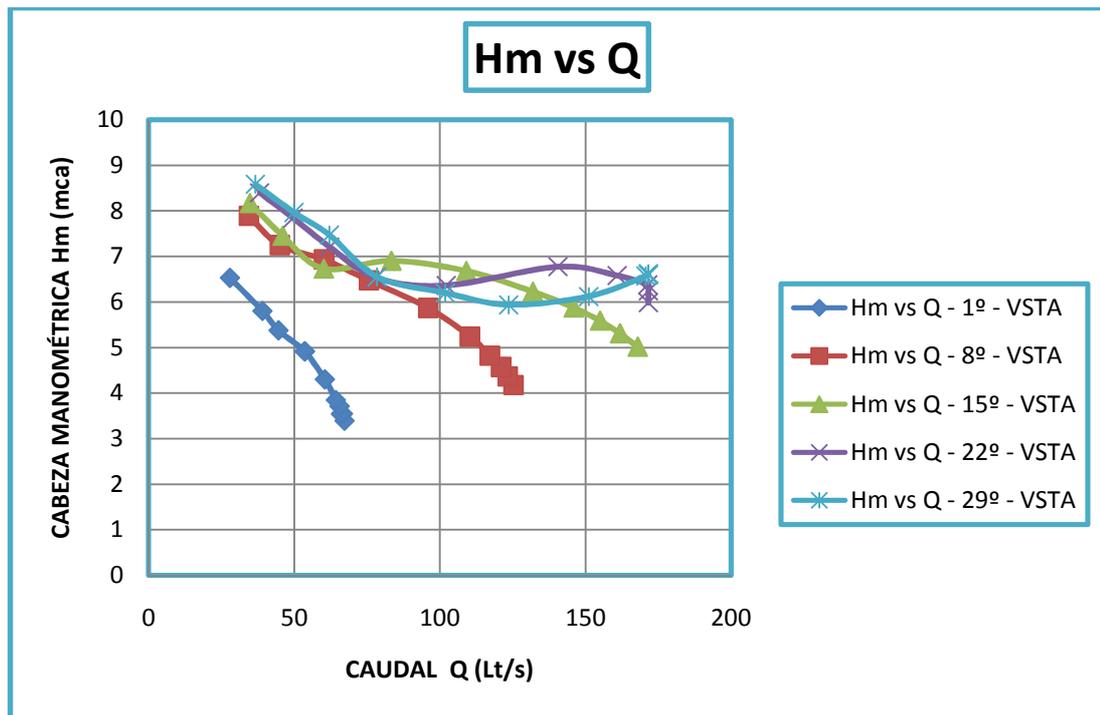
**Figura 8.19** Curvas características  $H_m$ ,  $\eta_t$  y  $P_u$  vs  $Q$  a máxima eficiencia. También se presenta la variación de  $P_s$  y  $P_d$ .

La figura indica la variación de los parámetros de funcionamiento a máxima eficiencia. Se puede notar con mayor claridad que en la zona de inestabilidad, para esta apertura de los álabes del rotor la presión de descarga casi no aumenta, mientras que la presión de succión si lo hace.

**Curvas características  $H_M$  vs  $Q$  – VSTA:**

**TABLA 8.16 RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS  $H_m$  vs  $Q$  – VSTA.**

APERTURA		APERTURA DE ÁLABES DEL ROTOR ( ° )									
Succión	Descarga	1		8		15		22		29	
		Hm	Q	Hm	Q	Hm	Q	Hm	Q	Hm	Q
		mca	Lt/s	mca	Lt/s	mca	Lt/s	mca	Lt/s	mca	Lt/s
T.A.	-50%	3,3947	67,315	4,1805	125,29	5,0154	167,92	5,9858	171,63	6,5946	171,63
T.A.	-55%	3,5446	66,776	4,3685	123,3	5,31	161,84	6,2444	171,64	6,6211	171,63
T.A.	-60%	3,5431	66,126	4,5734	121,07	5,5875	154,99	6,3768	171,44	6,569	170,77
T.A.	-65%	3,714	65,603	4,8237	117,19	5,8759	145,96	6,5793	160,95	6,12	151,16
T.A.	-70%	3,8469	64,357	5,2394	110,35	6,2272	131,93	6,7757	140,58	5,9377	123,66
T.A.	-75%	4,301	60,585	5,8675	96,002	6,681	109,07	6,3642	102,25	6,1959	101,92
T.A.	-80%	4,9137	53,676	6,4721	75,683	6,9041	83,35	6,535	78,059	6,5496	78,431
T.A.	-85%	5,3739	44,66	6,9314	60,262	6,7313	60,137	7,2057	62,193	7,4702	62,097
T.A.	-90%	5,7982	39,163	7,2472	45,061	7,4556	46,016	7,8419	49,632	7,9631	49,962
T.A.	-95%	6,5254	28,013	7,8853	34,464	8,1715	34,77	8,3938	38,183	8,5823	36,69

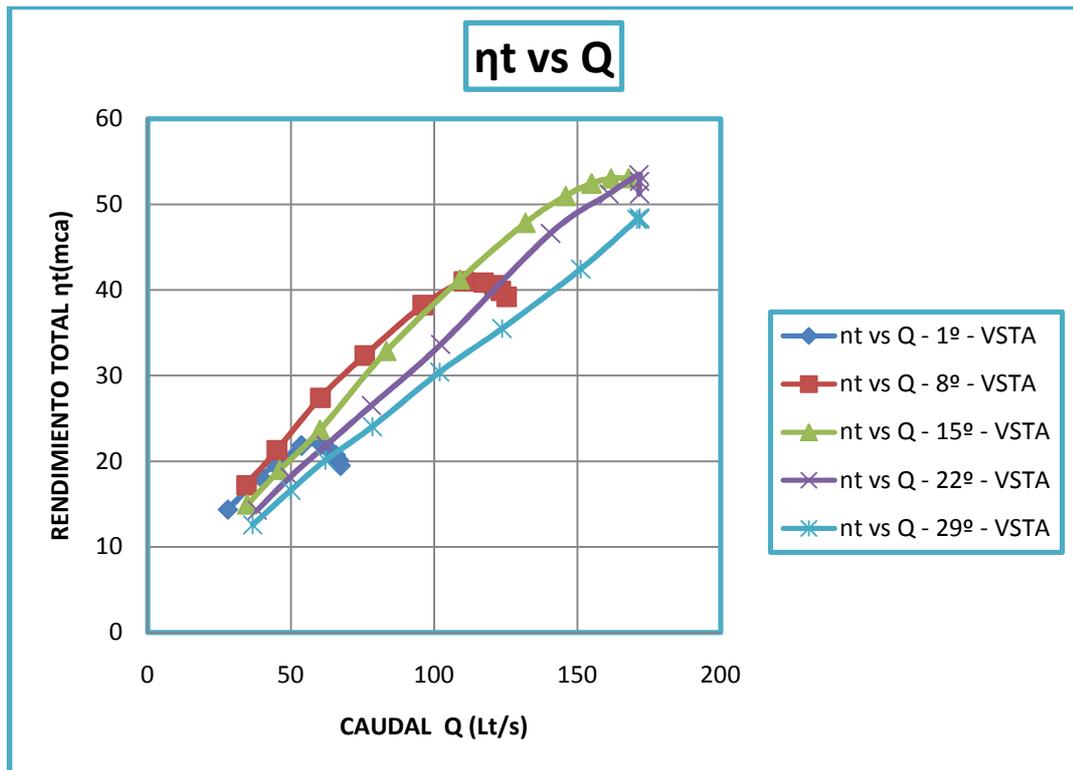


**Figura 8.20 Curvas características  $H_m$  vs  $Q$  – VSTA.**

**Curvas características  $\eta_t$  vs Q – VSTA:**

**TABLA 8.17 RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS  $\eta_t$  vs Q – VSTA.**

APERTURA		APERTURA DE ÁLABES DEL ROTOR ( ° )									
Succión	Descarga	1		8		15		22		29	
		nt	Q	nt	Q	nt	Q	nt	Q	nt	Q
		%	Lt/s	%	Lt/s	%	Lt/s	%	Lt/s	%	Lt/s
T.A.	-50%	19,466	67,315	39,194	125,29	53,034	167,92	51,243	171,63	48,252	171,63
T.A.	-55%	20,125	66,776	39,878	123,3	53,009	161,84	52,696	171,64	48,426	171,63
T.A.	-60%	19,933	66,126	40,56	121,07	52,43	154,99	53,464	171,44	48,247	170,77
T.A.	-65%	20,711	65,603	40,845	117,19	50,973	145,96	51,214	160,95	42,441	151,16
T.A.	-70%	20,981	64,357	40,999	110,35	47,841	131,93	46,615	140,58	35,485	123,66
T.A.	-75%	21,936	60,585	38,223	96,002	41,223	109,07	33,622	102,25	30,419	101,92
T.A.	-80%	21,814	53,676	32,337	75,683	32,857	83,35	26,491	78,059	24,03	78,431
T.A.	-85%	19,518	44,66	27,41	60,262	23,65	60,137	21,843	62,193	20,109	62,097
T.A.	-90%	18,219	39,163	21,287	45,061	18,96	46,016	18,126	49,632	16,604	49,962
T.A.	-95%	14,341	28,013	17,201	34,464	14,935	34,77	14,264	38,183	12,572	36,69

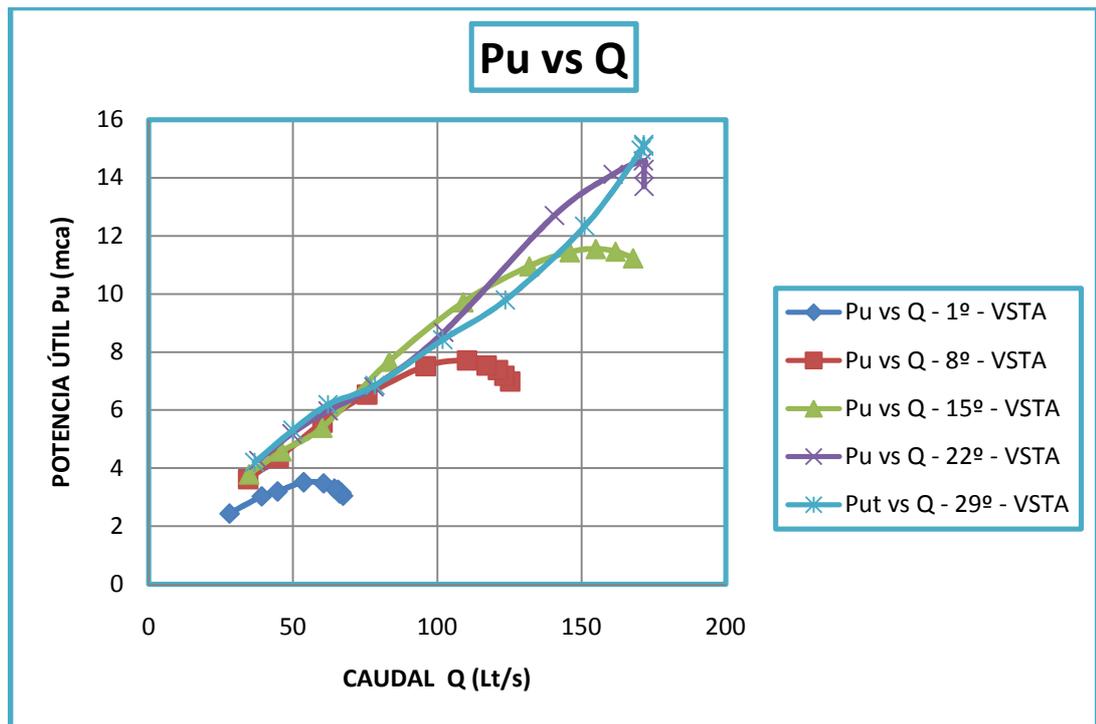


**Figura 8.21 Curvas Características  $\eta_t$  vs Q – VSTA**

**Curvas características Pu vs Q – VSTA:**

**TABLA 8.18 RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS Pu vs Q – VSTA.**

APERTURA		APERTURA DE ÁLABES DEL ROTOR ( ° )									
Succión	Descarga	1		8		15		22		29	
		Pu	Q	Pu	Q	Pu	Q	Pu	Q	Pu	Q
		CV	Lt/s	CV	Lt/s	CV	Lt/s	CV	Lt/s	CV	Lt/s
T.A.	-50%	3,0469	67,315	6,9835	125,29	11,229	167,92	13,698	171,63	15,091	171,63
T.A.	-55%	3,1559	66,776	7,1815	123,3	11,458	161,84	14,29	171,64	15,152	171,63
T.A.	-60%	3,1239	66,126	7,3824	121,07	11,547	154,99	14,577	171,44	14,958	170,77
T.A.	-65%	3,2486	65,603	7,5372	117,19	11,435	145,96	14,119	160,95	12,334	151,16
T.A.	-70%	3,301	64,357	7,7085	110,35	10,954	131,93	12,7	140,58	9,7904	123,66
T.A.	-75%	3,4743	60,585	7,5106	96,002	9,7159	109,07	8,6762	102,25	8,4197	101,92
T.A.	-80%	3,5166	53,676	6,531	75,683	7,6727	83,35	6,8015	78,059	6,8492	78,431
T.A.	-85%	3,1999	44,66	5,5694	60,262	5,3974	60,137	5,9753	62,193	6,185	62,097
T.A.	-90%	3,0276	39,163	4,3542	45,061	4,5744	46,016	5,1894	49,632	5,3047	49,962
T.A.	-95%	2,4373	28,013	3,6234	34,464	3,7883	34,77	4,2734	38,183	4,1984	36,69

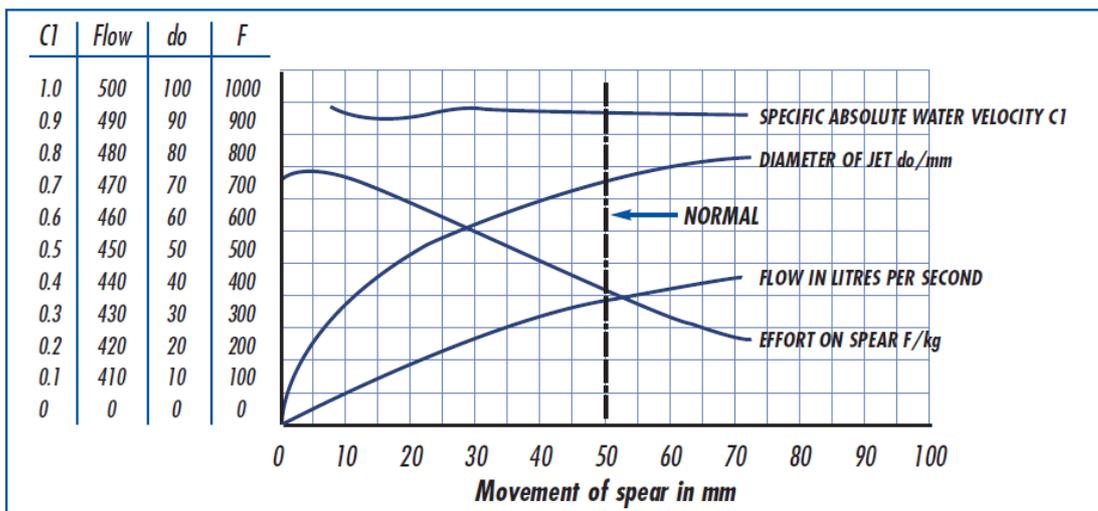


**Figura 8.22 Curvas características Pu vs Q – VSTA**

- Al estar la válvula de succión totalmente abierta (VSTA), es menor la variación de la cabeza manométrica Hm en función de la variación del caudal Q.

- Las curvas características obtenidas poseen la misma tendencia geométrica que las obtenidas con la válvula de succión al 50%.
- Generando una altura manométrica de  $H_m = 6,3768$  mca, entregando un caudal real de  $Q = 171,443$  Lt/s, una potencia útil  $P_u = 14,5768$  CV, a una apertura de los álabes del rotor de  $22^\circ$ ; produce un rendimiento total máximo de  $\eta_t = 53,4641\%$ . La eficiencia obtenida es debido a que:
  - Se operó el equipo a una apertura de los álabes del rotor de  $22^\circ$  con la válvula de succión totalmente abierta (VSTA), obligando a que la bomba genere mayor cabeza manométrica, mayor potencia útil; pero no hubo el correcto aprovechamiento de la energía transmitida por el rotor, que si el equipo se hubiere operado con la válvula de succión al 50% (VS50%).
  - Solo en la tercera estrangulación con la válvula de descarga se obtiene este valor de máxima eficiencia. Para las demás estrangulaciones de fluido se nota claramente que a  $15^\circ$  de apertura de los álabes del rotor, la bomba es más eficiente.

#### 8.4 Análisis de resultados turbina Pelton

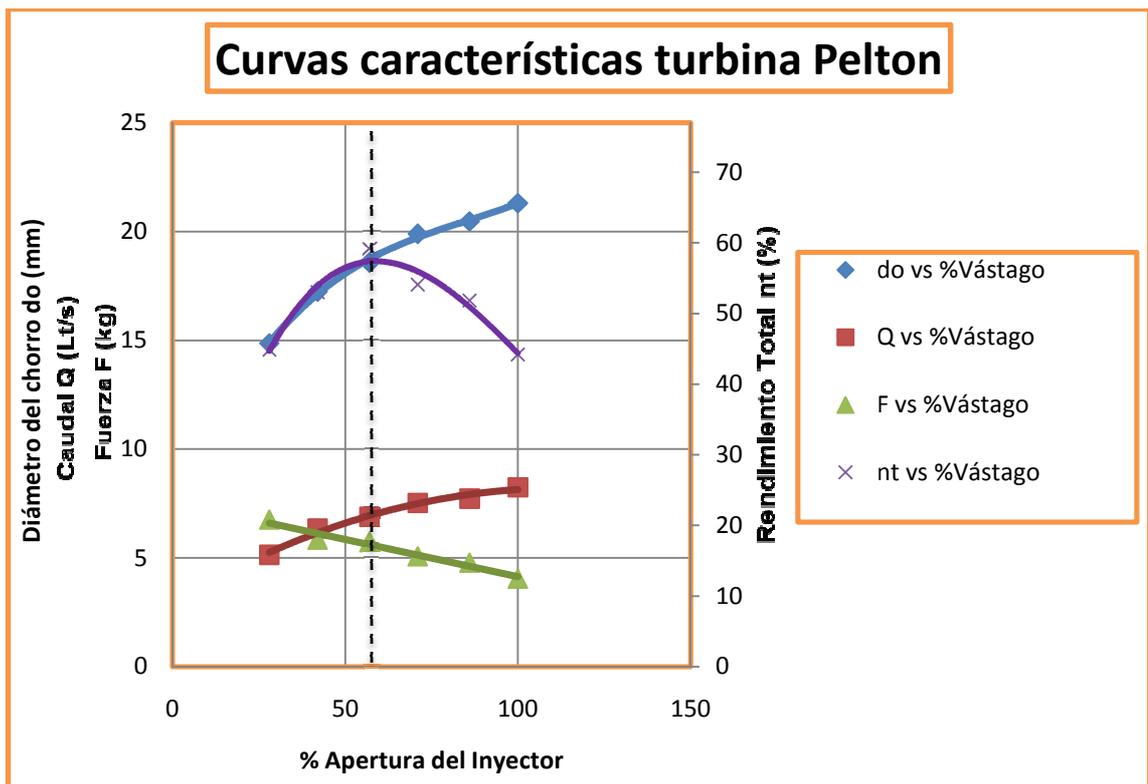


**Figura 8.23** Curvas características turbina Pelton (Catálogo Armfield R15/16. Pág. 2)

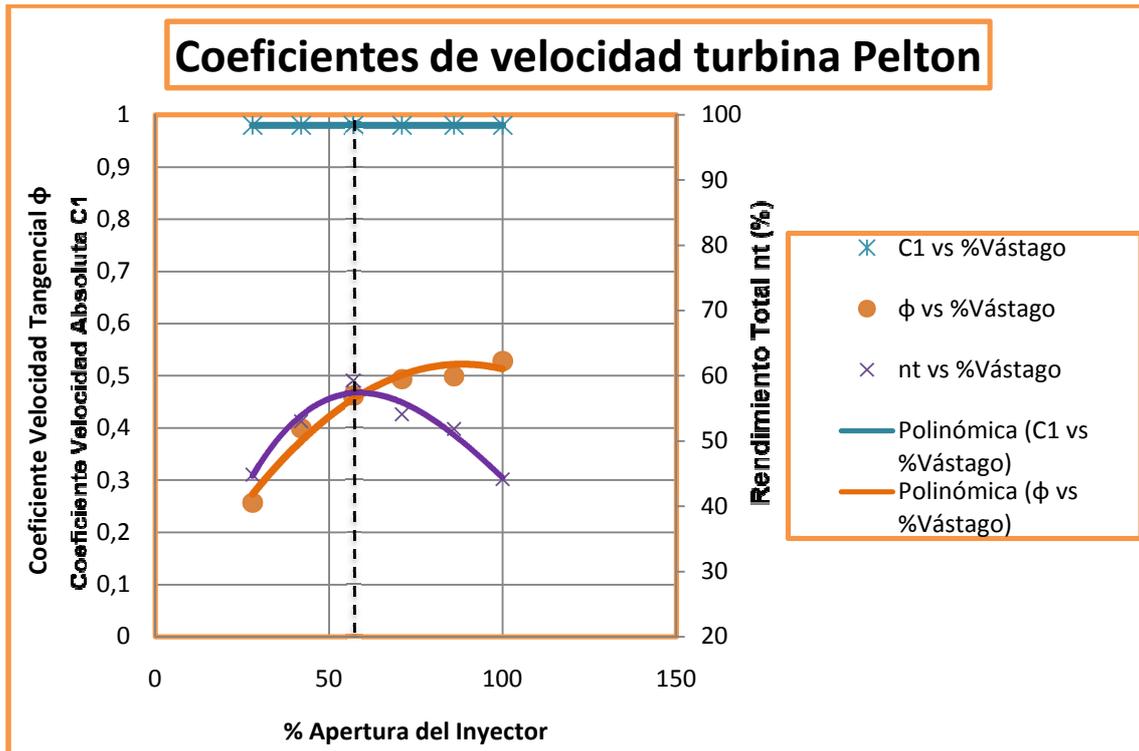
### Curvas características turbina Pelton:

**TABLA 8.19 RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS TURBINA PELTON.**

Válvulas		Diámetro Chorro	Caudal	Fuerza	Altura Neta	Coef. Veloc. Absoluta	Coef. Veloc. Tangencial	Rendimiento total	
Diafrag.	Aguja		do	Q	F	Hn	C1	$\phi$	$\eta_t$
	Vueltas	%	mm	Lt/s	Kg	mca			%
TA	0	100	21,3067	8,2417	4,0487	28,384	0,98	0,5282	44,1755
TA	-2	86	20,4668	7,7232	4,784	29,2754	0,98	0,4992	51,8319
TA	-4	71	19,8915	7,526	5,0751	31,158	0,98	0,4935	54,0795
<b>TA</b>	<b>-6</b>	<b>57</b>	<b>18,5611</b>	<b>6,8853</b>	<b>5,7113</b>	<b>34,3984</b>	<b>0,98</b>	<b>0,4613</b>	<b>59,1747</b>
TA	-8	42	17,2347	6,3507	5,8297	39,3677	0,98	0,3994	53,0037
TA	-10	28	14,8611	5,1398	6,7601	46,645	0,98	0,2568	44,8553



*Figura 8.24 Curvas características turbina Pelton.*

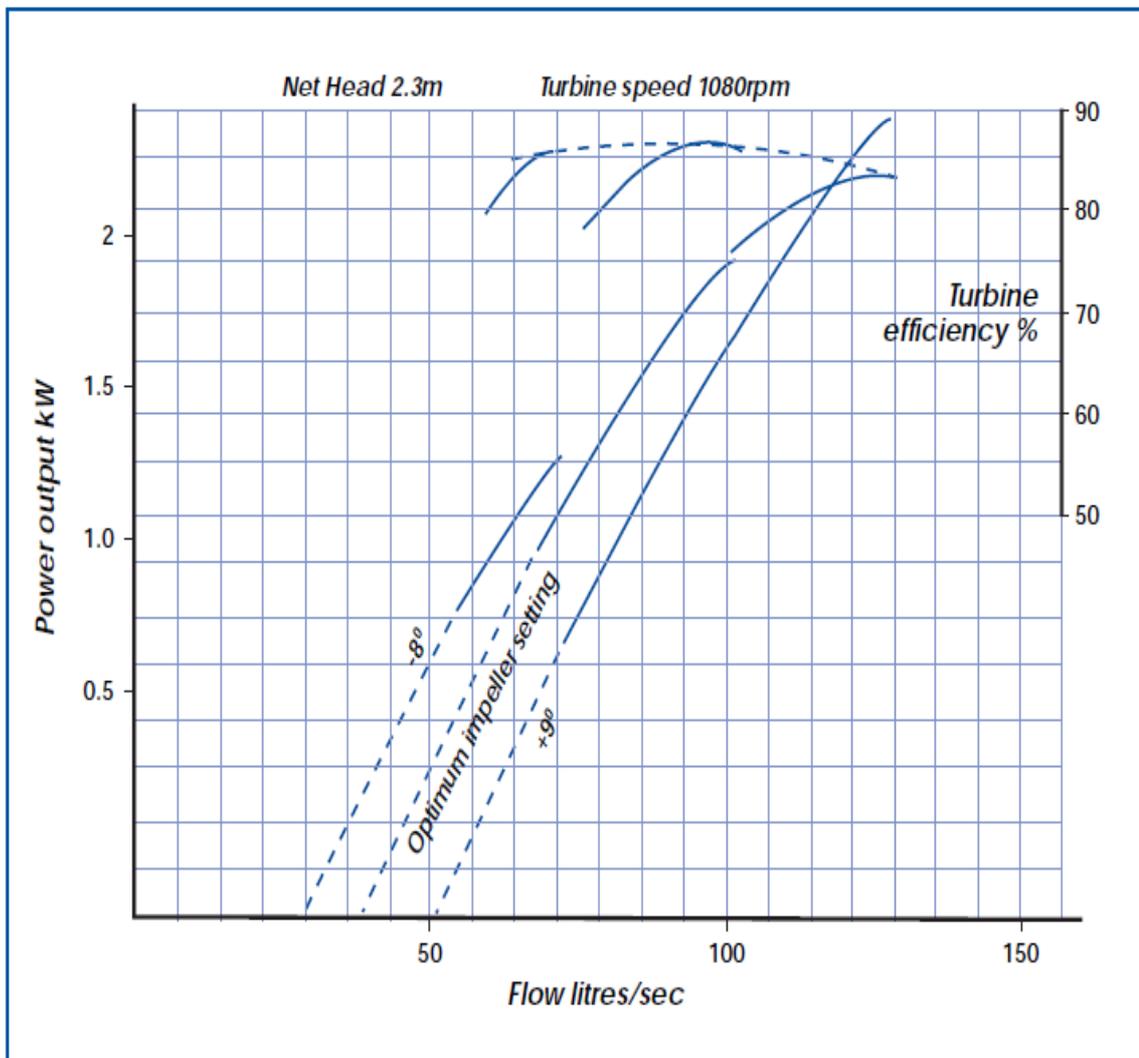


**Figura 8.25** Coeficientes de velocidad turbina Pelton.

- Comparando las curvas características obtenidas experimentalmente (figura 7.23) con las curvas típicas de una turbina Pelton (figura 7.24), se observa la gran similitud geométrica que poseen, lo cual comprueba el comportamiento de esta turbomáquina hidráulica.
- El diámetro del chorro que está relacionado directamente con el caudal, son proporcionales a la apertura del inyector e independientes de la carga que posee la turbina, ya que se trata de una turbomáquina de acción, que aprovecha solo la energía cinética que posee el fluido.
- La variación del diámetro del chorro  $d_o$  en función de la apertura del inyector se realiza debido a la transformación de energía de presión en energía cinética. Al desplazar la aguja del inyector para disminuir la salida de la tobera, también disminuirá el diámetro del chorro, pero ganará mayor velocidad de salida.
- Si se disminuye el diámetro del chorro, se observa un aumento en la carga inicial  $F$  proporcionada a la turbina, ya que la velocidad del rotor disminuye. Haciendo que la turbomáquina hidráulica genere más torque a expensas de la velocidad.

- Con una altura neta  $H_n = 34,3984$  mca, un caudal de  $Q = 6,8853$  Lt/s a una apertura del inyector de 2 vueltas de cierre (86% de apertura), la turbina Pelton produce un rendimiento total máximo de  $\eta_t = 59,1747$  % y una potencia útil de  $P_u = 1,8687$  CV también máxima.
- Se debe recalcar que la máxima eficiencia del equipo se produce cuando el coeficiente de velocidad tangencial  $\phi$  obtenido, se halla más próximo a los valores de diseño (0,46 o 0,47). Esto indica que las condiciones de funcionamiento a las cuales se ha sometido la turbomáquina hidráulica, han sido las más adecuadas para que funcione a máxima eficiencia.

### 8.5 Análisis de resultados turbina Kaplan



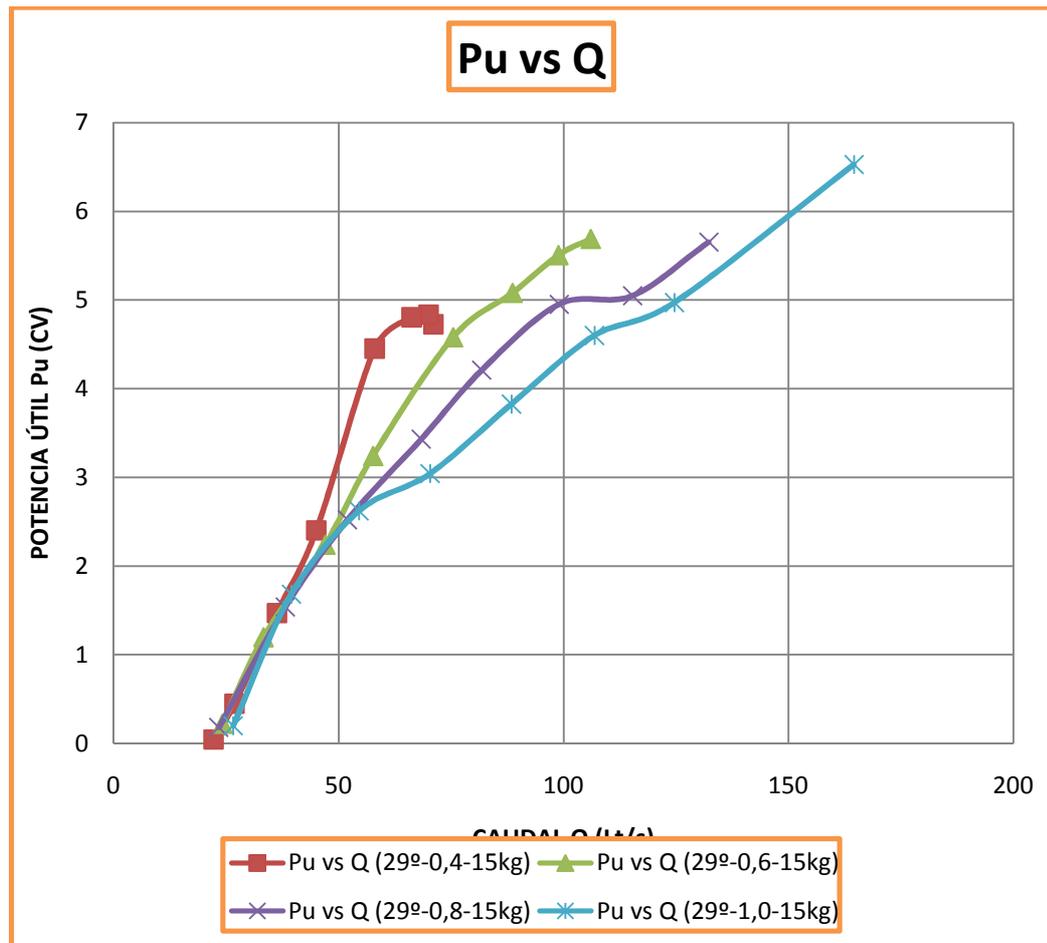
*Performance curves for 200mm Kaplan Turbine*

**Figura 8.26** Curvas características típicas  $P_u$  vs  $Q$ – (Catálogo Armfield – Referencia R14, 17 & 18)

**Curvas características Pu vs Q**

**TABLA 8.20 RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS Pu vs Q.**

ALABES BOMBA AXIAL	ALABES DISTRIB.	W	Apertura del Distribuidor									
			0,2		0,4		0,6		0,8		1,0	
			Pu	Q	Pu	Q	Pu	Q	Pu	Q	Pu	Q
grados	grados	Kg	CV	rpm	CV	Lt/s	CV	Lt/s	CV	Lt/s	CV	Lt/s
29	40	15			4,7268	71,0821	5,691	106,0803	5,6537	132,299	6,5284	164,5685
	35	15			4,8357	70,038	5,5095	98,8886	5,049	115,3515	4,9712	124,6369
	30	15			4,8054	66,2657	5,0827	88,6866	4,9535	99,0319	4,6007	106,8802
	25	15			4,4529	58,0276	4,5826	75,4609	4,2099	81,8136	3,8269	88,4109
	20	15			2,4037	45,0394	3,2432	57,6681	3,4326	68,3715	3,0428	70,3091
	15	15			1,4716	36,2832	2,2427	47,0383	2,5242	51,9685	2,6211	54,5181
	10	15			0,4475	26,8751	1,198	33,2935	1,5395	38,1648	1,6833	39,4831
	5	15			0,0461	22,2179	0,2214	24,1907	0,1832	23,3826	0,1994	26,5586

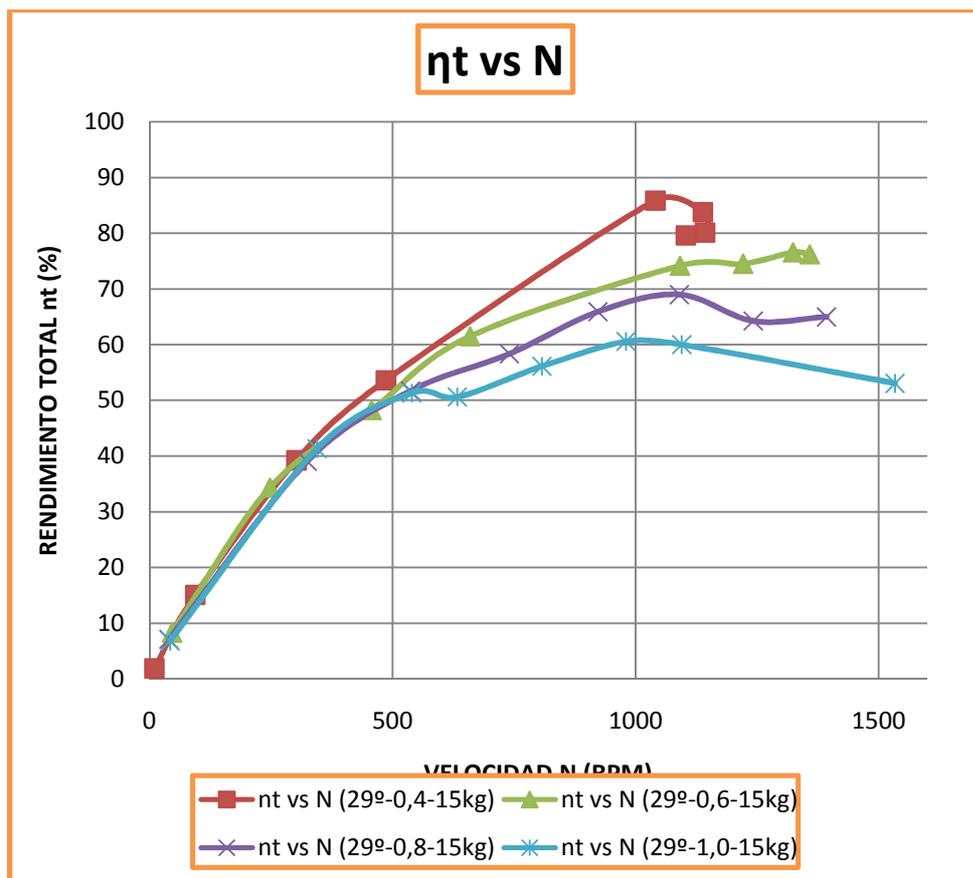


**Figura 8.27 Curvas características Pu vs Q**

**Curvas características  $\eta_t$  vs N**

**TABLA 8.21 RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS  $\eta_t$  vs N.**

ALABES BOMBA AXIAL	ALABES DISTRIB.	W	Apertura del Distribuidor									
			0,2		0,4		0,6		0,8		1,0	
			$\eta_t$	N	$\eta_t$	N	$\eta_t$	N	$\eta_t$	N	$\eta_t$	N
grados	grados	Kg	%	rpm	%	rpm	%	rpm	%	rpm	%	rpm
29	40	15			79,6058	1103,1958	76,2051	1358,0915	64,9607	1392,811	53,048	1533,7838
	35	15			80,1188	1142,6768	76,5791	1324,0814	64,2443	1241,9715	60,0175	1094,9494
	30	15			83,7621	1138,1981	74,4793	1221,1205	68,9698	1089,8891	60,5799	980,289
	25	15			85,8319	1040,692	74,1709	1091,6364	65,9268	922,3648	56,1242	807,4283
	20	15			53,599	486,4117	61,5124	659,9058	58,3453	740,4394	50,6102	633,0449
	15	15			39,238	302,3398	48,2307	456,9811	51,6908	537,132	51,3052	539,5993
	10	15			15,1189	94,0275	34,3658	247,5671	39,0309	324,2694	41,3398	344,3632
	5	15			1,9007	9,9697	8,3213	46,6731	7,1231	39,7147	6,8296	42,2783

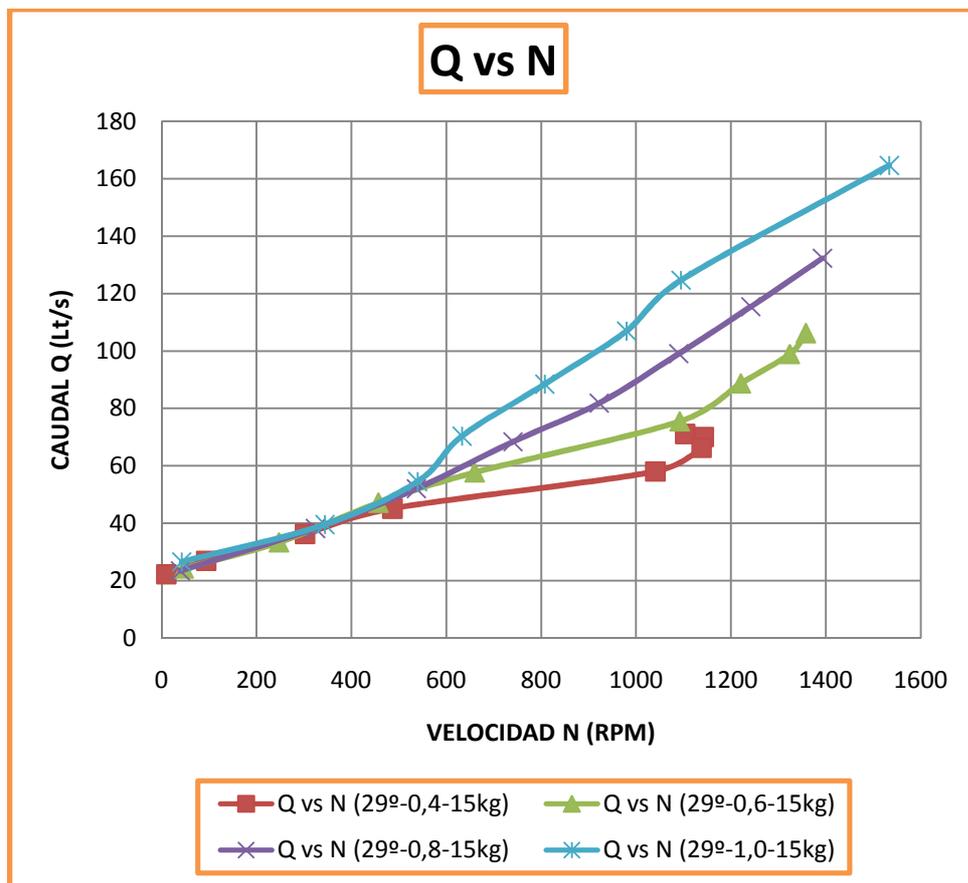


**Figura 8.28 Curvas características  $\eta_t$  vs N.**

## Curvas características Q vs N

**TABLA 8.22 RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS Q vs N.**

ALABES DISTRIB.	W	Apertura del Distribuidor									
		0,2		0,4		0,6		0,8		1,0	
		Q	N	Q	N	Q	N	Q	N	Q	N
grados	Kg	Lt/s	rpm	Lt/s	rpm	Lt/s	rpm	Lt/s	rpm	Lt/s	rpm
40	15			71,08	1103,20	106,08	1358,09	132,30	1392,81	164,57	1533,78
35	15			70,04	1142,68	98,89	1324,08	115,35	1241,97	124,64	1094,95
30	15			66,27	1138,20	88,69	1221,12	99,03	1089,89	106,88	980,29
25	15			58,03	1040,69	75,46	1091,64	81,81	922,36	88,41	807,43
20	15			45,04	486,41	57,67	659,91	68,37	740,44	70,31	633,04
15	15			36,28	302,34	47,04	456,98	51,97	537,13	54,52	539,60
10	15			26,88	94,03	33,29	247,57	38,16	324,27	39,48	344,36
5	15			22,22	9,97	24,19	46,67	23,38	39,71	26,56	42,28



**Figura 8.29** Curvas características Q vs N

- Comparando las figuras 7.26 y 7.27, se comprueba la tendencia geométrica que deben tener las curvas características Pu vs Q de una Turbina Kaplan. En estas curvas se observa que la potencia útil es proporcional al caudal, ya que la energía disponible a transmitir es mayor.

- La velocidad del rotor de la turbina es proporcional a la cantidad de caudal.
- La mayor potencia útil obtenida fue de  $P_u = 6,5284$  CV, con una apertura de los álabes del rotor de  $1$  y  $40^\circ$  de apertura del distribuidor. Esto indica que al estar los álabes del rotor totalmente abiertos, el caudal será mayor, lo cual generará mayor potencia útil; pero no precisamente esto ocurrirá con un adecuado aprovechamiento de la energía del fluido (eficiencia).
- Con una altura neta de  $H_n = 6,7054$  mca, un caudal real de  $Q = 58,0276$  Lt/s, a una apertura de los álabes del rotor de  $0,4$ , apertura de álabes del distribuidor de  $25^\circ$  y sometido a una carga de  $15$ kg en el porta pesas del tambor de frenado; produce un rendimiento total máximo de  $\eta_t = 85,8319$  % con una potencia útil  $P_u = 5,188$  CV. La eficiencia obtenida es debido a que:
  - Bajo estas regulaciones de apertura de los álabes, tanto del rotor como del distribuidor, la turbina es capaz de aprovechar la mayor energía disponible del fluido, sometida a la mayor carga. Esto indica que el caudal y altura neta son los adecuados para que la velocidad del fluido incida sobre los álabes del rotor con la magnitud y dirección necesarios que producen el mayor empuje con la máxima eficiencia.

A continuación se presentan los resultados obtenidos a máxima eficiencia:

**TABLA 8.23 RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS  $P_u$  y  $\eta_t$  vs  $Q$  A MÁXIMA EFICIENCIA.**

ALABES BOMBA AXIAL	ALABES DISTRIB.	W	Apertura de Álabes del Rotor		
			0,4		
			$P_u$	$\eta_t$	Q
grados	grados	Kg	CV	%	Lt/s
	35	15	4,8357	80,1188	70,038
	30	15	4,8054	83,7621	66,2657
	25	15	4,4529	85,8319	58,0276
	20	15	2,4037	53,599	45,0394
	15	15	1,4716		36,2832
	10	15	0,4475		26,8751
	5	15	0,0461		22,2179

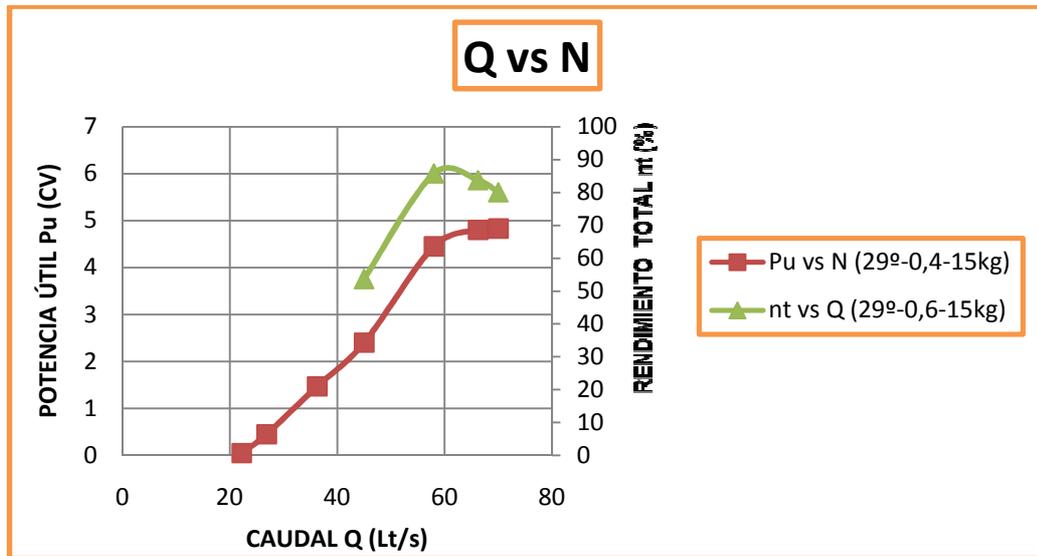


Figura 8.30 Curvas características  $P_u$  y  $\eta_t$  vs  $Q$  a máxima eficiencia.

La figura indica la variación de la potencia que se puede generar bajo ciertas condiciones de regulación a las cuales se obtiene máxima eficiencia en el proceso de transformación de energía. Se evidencia, además, que no precisamente la mayor potencia útil obtenida corresponde a la máxima eficiencia a la cual trabaja la turbina.

## 8.6 Análisis de resultados turbina Francis

### Curvas características Q11 vs N11 – VTA:

TABLA 8.24 RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS Q11 vs N11 – VTA.

VÁLVULA DE INGRESO	APERTURA DE ÁLABES DEL DISTRIBUIDOR (°)											
	0		5		10		15		20		25	
	Q11 Lt/s	N11 RPM	Q11 Lt/s	N11 RPM	Q11 Lt/s	N11 RPM	Q11 Lt/s	N11 RPM	Q11 Lt/s	N11 RPM	Q11 Lt/s	N11 RPM
TA	0,057	51,280	0,093	59,405	0,133	62,005	0,173	59,193	0,212	55,048	0,239	51,957
TA	0,057	38,951	0,096	50,101	0,136	52,198	0,179	48,807	0,225	42,396	0,243	45,435
TA	0,057	31,458	0,097	38,198	0,139	46,960	0,184	40,195	0,230	37,806	0,255	36,955
TA	0,058	21,874	0,100	28,354	0,144	37,883	0,189	26,929	0,232	31,159	0,259	27,459
TA	0,058	10,103	0,100	17,340	0,145	24,287	0,190	19,051	0,235	24,350	0,261	15,929
TA	0,058	4,446	0,101	8,230	0,144	13,774	0,191	10,398	0,236	16,423	0,263	9,121

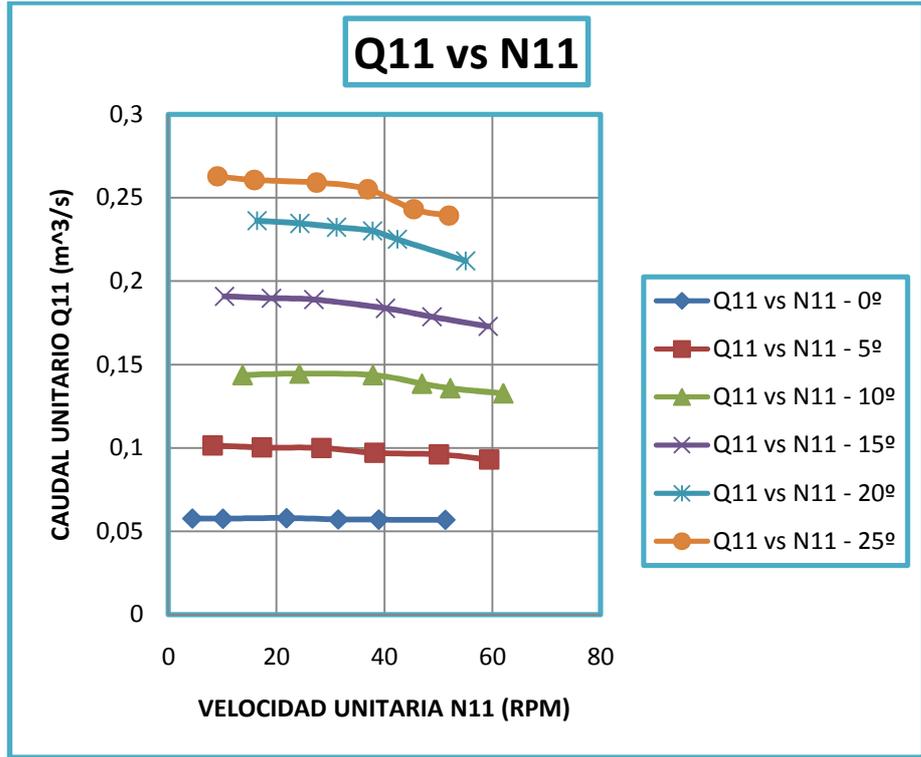


Figura 8.31 Curvas características Q11 vs N11 – VTA

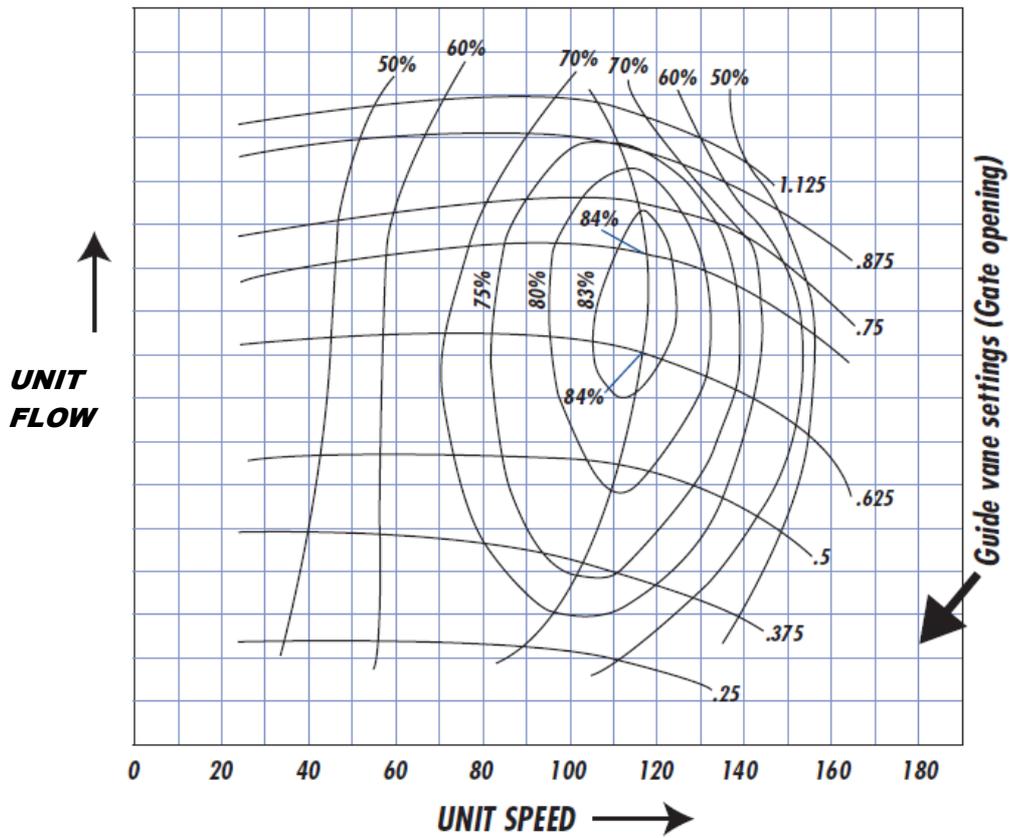
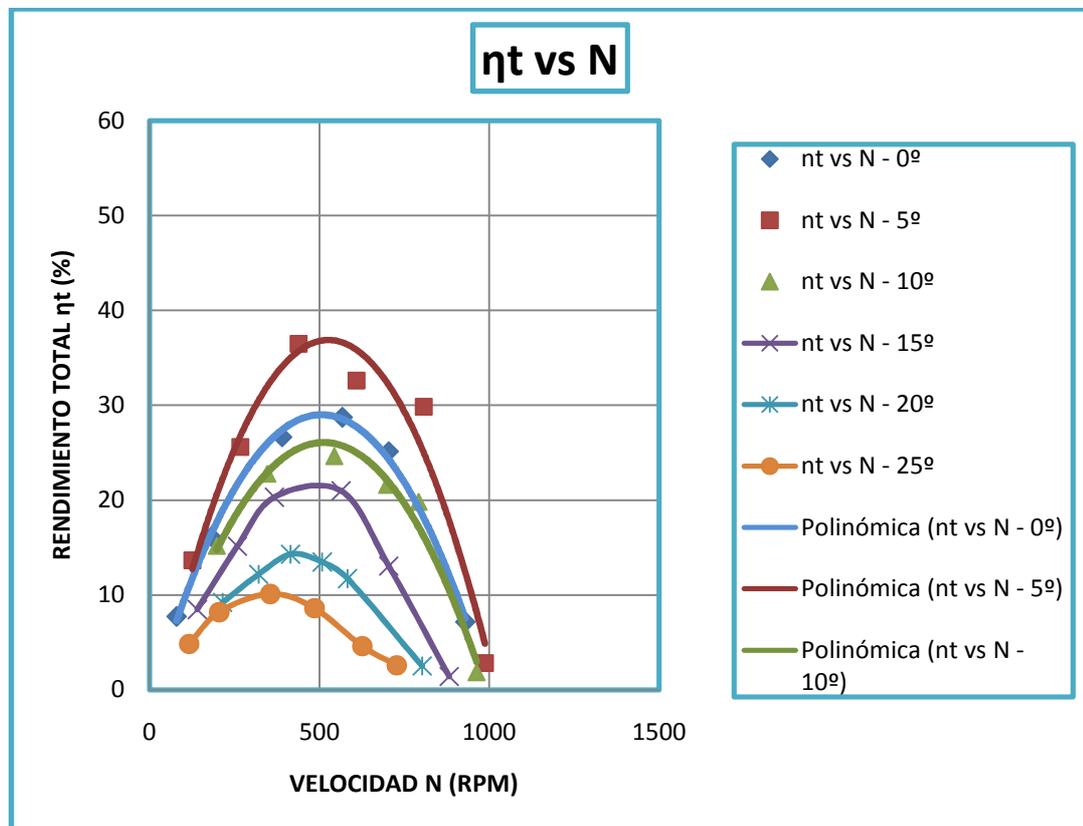


Figura 8.32 Curvas características Hm vs Q- (Catálogo Armfield - Referencia R15/16)

### Curvas características $\eta_t$ vs N – VTA

**TABLA 8.25 RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS  $\eta_t$  vs N – VTA**

VÁLVULA DE INGRESO	APERTURA DE ÁLABES DEL DISTRIBUIDOR ( ° )											
	0		5		10		15		20		25	
	$\eta_t$	N	$\eta_t$	N	$\eta_t$	N	$\eta_t$	N	$\eta_t$	N	$\eta_t$	N
	%	rpm	%	rpm	%	rpm	%	rpm	%	rpm	%	rpm
TA	7,1546	929,47	2,8196	987,56	1,8381	963,06	1,4254	882,05	2,5153	802,77	2,6027	727,62
TA	25,145	703,77	29,854	807,19	19,8	792,48	13,062	703,97	11,728	582,56	4,616	626,42
TA	28,715	567,95	32,588	609,07	21,602	699,03	20,975	563,87	13,472	508,19	8,6145	485,5
TA	26,646	390,38	36,471	438,67	24,623	543,47	20,309	367,24	14,31	414,91	10,112	355,16
TA	16,155	180,98	25,599	267,46	22,78	346,41	15,147	258,76	12,174	321,03	8,1916	204,84
TA	7,7257	79,527	13,665	125,45	15,173	197,6	8,4685	140,42	9,2182	215,06	4,8531	116,32



**Figura 8.33** Curvas características  $\eta_t$  vs N - VTA

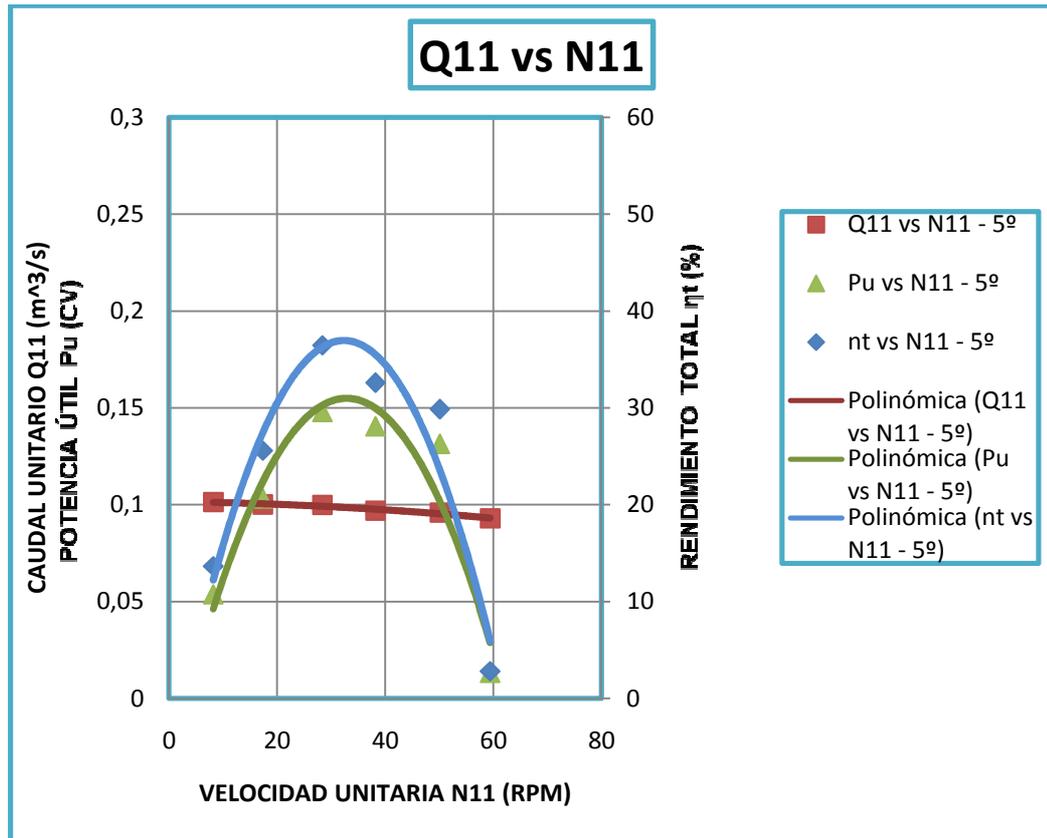
- Comparando las figuras 8.15 y 8.16, se comprueba la tendencia geométrica que deben tener las curvas características Q11 vs N11 de una turbina Francis. Estas curvas indican por ejemplo, que el caudal es proporcional a los grados de apertura del distribuidor.

- Con una altura neta de  $H_n = 5,5593$  mca, un caudal de  $Q = 5,4725$  Lt/s, a una apertura de los álabes del distribuidor de  $5^\circ$ , produce un rendimiento total máximo de  $\eta_t = 36,4712$  % con una potencia útil  $P_u = 0,1479$  CV también máxima. La baja eficiencia obtenida es debido a que:
- El caudal y altura neta proporcionada por la bomba no fueron los suficientes para transmitir energía al rotor de la turbina. Se concluye que por la presencia de cavitación excesiva tanto en la bomba como en la turbina, son las causantes del bajo rendimiento obtenido.

A continuación se presentan los resultados obtenidos a máxima eficiencia:

**TABLA 8.26 RESULTADOS CURVAS CARACTERÍSTICAS  $Q_{11}$ ,  $\eta_t$  y  $P_u$  vs  $N_{11}$  – VTA (MÁXIMA EFICIENCIA).**

VÁLVULA DE INGRESO	APERTURA DE ÁLABES DEL DISTRIBUIDOR ( ° )			
	5			
	$Q_{11}$	$\eta_t$	$P_u$	$N_{11}$
	Lt/s	%	CV	rpm
TA	0,093	2,8196	0,0132	59,405
TA	0,096	29,854	0,1313	50,101
TA	0,097	32,588	0,1404	38,198
TA	0,100	36,471	0,1479	28,354
TA	0,100	25,599	0,1032	17,340
TA	0,101	13,665	0,0538	8,230



**Figura 8.34** Curvas características  $Q_{11}$ ,  $n_t$  y  $P_u$  vs  $N_{11}$  – VTA (máxima eficiencia).

La figura indica la variación de los parámetros de funcionamiento a máxima eficiencia. Se puede notar que la máxima potencia útil se producirá cuando la turbina trabaje también a máxima eficiencia.

## CAPÍTULO IX

### 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 9.1 Conclusiones

- ✓ La automatización del laboratorio de turbomaquinaria, permite obtener de manera rápida y confiable, información sobre las variables físicas de los distintos bancos de pruebas y posteriormente obtener las curvas características que indican el comportamiento de estas Turbomáquinas hidráulicas sometidas a diversas cargas.
- ✓ Mediante la adecuada instalación de sensores y la utilización de hardware Nationals instruments y software LabVIEW, se ha logrado automatizar el proceso de adquisición de datos, incrementando así la eficacia y la eficiencia de obtener resultados.
- ✓ Los bancos de prueba del laboratorio de turbomaquinaria hidráulica poseen un gran potencial educativo e investigativo, debido a que en tiempo real se puede observar de manera gráfica como varían las condiciones de funcionamiento.
- ✓ 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 ha optimizado el tiempo y la eficacia de obtener los resultados
- ✓ Se aprovecha el recurso humano con la finalidad de adquirir mayor entendimiento durante las prácticas de laboratorio.

## 9.2 **Recomendaciones**

- Aprovechar al máximo el potencial educativo e investigativo que poseen los bancos de prueba automatizados del laboratorio de turbomaquinaria hidráulica.
  
- Manipular los bancos de prueba de manera adecuada, según las indicaciones señaladas en distintas guías de laboratorio correspondientes a cada banco de pruebas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUSAY, C. Rehabilitación y Mantenimiento de las Máquinas Hidráulicas del Laboratorio de Fluidos de la Facultad de Mecánica (Bomba Centrífuga, Bomba Reciprocante, Turbina Pelton, Turbina Francis y Turbina Kaplan). Riobamba: 2003.pp. 6-17, 35, 36, 37, 56, 57, 78, 79, 99, 100, 122, 123.
- FERNANDÉZ. P. Bombas centrífugas y Volumétricas.España: Departamento de Energía Eléctrica y Energética Universidad de Cantabria. 2002.pp. BC.I.- 1, 2.
- FUCHSLOCHER, S. Bombas.México:Editorial Labor, S.A. 1964.  
pp. 193, 234, 235, 238, 239, 240.
- LIBROS, McGraw-Hill. Manual de Bombas.México: McGraw-Hill. 1983.  
pp. 2-35, 2-48, 2-54, 2-55, 2-69, 2-83.
- MATAIX, C. Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas. Segunda edición. México: Oxford University Press México. 1982.pp, 355, 358, 368, 369, 370.
- McNAUGHTON, K. Bombas, Selección Uso y Mantenimiento. México: McGraw-Hill Interamericana Editores S.A.1988.pp, 153,154, 155, 160,161,
- POLO, M. Turbomáquinas Hidráulicas.México: Editorial Limusa S.A. 1975.  
pp. 39, 85, 86, 109, 114, 118, 169, 171.

## BIBLIOGRAFÍA

- ARMFIELD. Instruction Manual For R2-00 Centrifugal Pump Test Rig. Inglaterra: Ringwood Hampshire. 1980.
- ARMFIELD. Instruction Manual For Reciprocating Ram Pump Test Bench R1. Inglaterra: Ringwood Hampshire. 1980.
- ARMFIELD. Instruction Manual For R15 10 inch Laboratory Pelton Turbine. Inglaterra: Ringwood Hampshire. 1980.
- ARMFIELD. Instruction Manual For 6" Ns. 36 Mk II Francis Turbine R16. Inglaterra: Ringwood Hampshire. 1980.
- AUSAY, C. Rehabilitación y Mantenimiento de las Máquinas Hidráulicas del Laboratorio de Fluidos de la Facultad de Mecánica (Bomba Centrífuga, Bomba Reciprocante, Turbina Pelton, Turbina Francis y Turbina Kaplan). Riobamba: 2003.
- AZEVEDO, J. Manual de Hidráulica. México: Industria Editorial Mexicana. 1976.
- CENGEL, Y. Mecánica de Fluidos, Fundamentos y Aplicaciones. México: McGraw-Hill Interamericana Editores S.A. 2006.
- CHICALA, C. Adquisición de Datos. Argentina Buenos Aires: Soluciones en Control S.R.L. 2004.
- CORROBLES, M. Manual de Mecánica Industrial Autómatas y Robótica Tomo III. España Madrid: Editorial Cultural S.A. 2002.
- CRANE. Flujo de Fluidos en Válvulas y Accesorios y Tuberías. México: Editorial McGraw-Hill. 1988.
- FERNANDÉZ. P. Bombas centrífugas y Volumétricas. España: Departamento de Energía Eléctrica y Energética Universidad de Cantabria. 2002.
- FERNANDÉZ. P. Energías Alternativas. España: Departamento de Energía Eléctrica y Energética Universidad de Cantabria. 2002.
- FERNANDÉZ. P. Turbinas Hidráulicas. España: Departamento de Energía Eléctrica y Energética Universidad de Cantabria. 2002.
- FUCHSLOCHER, S. Bombas. México: Editorial Labor, S.A. 1964.
- LIBROS, McGraw-Hill. Manual de Bombas. México: McGraw-Hill. 1983.

MATAIX, C. Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas. Segunda edición.

México: Oxford University Press México. 1982.

McNAUGHTON, K. Bombas, Selección Uso y Mantenimiento. México: McGraw-Hill Interamericana Editores S.A.1988.

NATIONAL INSTRUMENTS CORPORATION. LabVIEW Básico I Introducción Manual del Curso. Edición Febrero. Estados Unidos: National Instruments Corporation. 2006.

NATIONAL INSTRUMENTS CORPORATION. LabVIEW Básico I Desarrollo Manual del Curso. Edición Febrero. Estados Unidos: National Instruments Corporation. 2006.

POLO, M. Turbomáquinas Hidráulicas.México: Editorial Limusa S.A. 1975.

ZUBICARAY. Energía Eléctrica Turbinas y Plantas Generadoras.México: Editorial Limusa. 1977.

## LINKOGRAFÍA

### **TURBINAS HIDRÁULICAS**

<http://es.scribd.com/doc/7287533/Mini-Hidraulica>

2010-03-23

### **BOMBA RECIPROCANTE**

<http://www.monografias.com/trabajos15/tipos-bombas/tipos-bombas.shtml>

2010-05-12

### **BOMBAS CENTRIFUGAS**

<http://es.scribd.com/doc/6057846/Bombas-Centrifugas>

2010-06-10

### **TURBINA FRANCIS**

[http://www.ing.una.py/DIREC\\_PPAL/ACADEMICO/APOYO/Maquinas\\_Hidraulicas/PDF/MAQ%20HIDRAULICAS%20TURBINAS%20FRANCIS.pdf](http://www.ing.una.py/DIREC_PPAL/ACADEMICO/APOYO/Maquinas_Hidraulicas/PDF/MAQ%20HIDRAULICAS%20TURBINAS%20FRANCIS.pdf)

2010-07-23

### **TURBINA PELTON**

<http://www.itdg.org.pe/fichastecnicas/pdf/FichaTecnica25-turbinas%20pelton.pdf>

2010-11-26

### **TURBINA KAPLAN**

<http://libros.redsauce.net/Turbinas/Hidraulicas/PDFs/05Turb.Hidr.pdf>

2010-11-28

### **AUTOMATIZACIÓN**

[http://www.escolares.net/files\\_trabajos/file/pdf/ciencia\\_y\\_tecnologia/automatizacion.pdf](http://www.escolares.net/files_trabajos/file/pdf/ciencia_y_tecnologia/automatizacion.pdf)

2010-12-10

**SENSORES DE PROXIMIDAD INDUCTIVOS**

[http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor\\_inductivo](http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor_inductivo)

2011-01-15

**XS618B1PAL2 DATASHEET**

<http://datasheet.octopart.com/XS618B1PAL2-Telemecanique-datasheet-521522.pdf>

2011-01-16

**SENSOR DE FLUJO FP 5600**

[http://www.omega.com/Green/pdf/FMK\\_FPP.pdf](http://www.omega.com/Green/pdf/FMK_FPP.pdf)

[2011-02-06](#)

**MANUAL DE INSTALACIÓN DE SENSOR DE FLUJO**

<http://www.omega.com/manuals/manualpdf/M2978.pdf>

2011-02-06

**SENSOR DE FLUJO 5300**

[http://www.omega.com/Green/pdf/FP5100\\_5300.pdf](http://www.omega.com/Green/pdf/FP5100_5300.pdf)

2011-02-10

**TRANSDUCTOR DE PRESIÓN**

<http://www.nib.fmed.edu.uy/Lucerna.pdf>

2011-02-18

**EQUIPOS NATIONAL INSTRUMENTS**

<http://search.ni.com/nisearch/app/main/p/bot/no/ap/global/lang/es/pg/1/q/NI%20cDAQ-9172/>

2011-05-22