



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“MONITOREO Y ANÁLISIS DE LAS CURVAS
CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA DE ENGRANAJES
EXTERNOS 1AG2U06R MEDIANTE UN LABORATORIO
REMOTO PARA LA FACULTAD DE MECÁNICA”**

**MASABANDA TUCTA ALVARO DAVID
PULLA MARÍN ALEX DARÍO**

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROPUESTA TECNOLÓGICA

Previa a la obtención del Título de:
INGENIERO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR

2018

ESPOCH

Facultad de Mecánica

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2016-05-30

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

MASABANDA TUCTA ALVARO DAVID

Titulado:

**“MONITOREO Y ANÁLISIS DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LA
BOMBA DE ENGRANAJES EXTERNOS 1AG2U06R MEDIANTE UN
LABORATORIO REMOTO PARA LA FACULTAD DE MECÁNICA”**

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

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Santiago Alejandro López Ortiz
DIRECTOR

Ing. Telmo Jesús Moreno Romero
MIEMBRO

ESPOCH

Facultad de Mecánica

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2016-05-30

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

PULLA MARÍN ALEX DARÍO

Titulado:

**“MONITOREO Y ANÁLISIS DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LA
BOMBA DE ENGRANAJES EXTERNOS 1AG2U06R MEDIANTE UN
LABORATORIO REMOTO PARA LA FACULTAD DE MECÁNICA”**

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

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Santiago Alejandro López Ortiz
DIRECTOR

Ing. Telmo Jesús Moreno Romero
MIEMBRO

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: MASABANDA TUCTA ALVARO DAVID

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN: “MONITOREO Y ANÁLISIS DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA DE ENGRANAJES EXTERNOS 1AG2U06R MEDIANTE UN LABORATORIO REMOTO PARA LA FACULTAD DE MECÁNICA”

Fecha de Examinación: 2018-03-29

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Santiago Alejandro López Ortiz DIRECTOR			
Ing. Telmo Jesús Moreno Romero MIEMBRO			

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

RECOMENDACIONES: _____

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

Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: PULLA MARÍN ALEX DARÍO

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN: “MONITOREO Y ANÁLISIS DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA DE ENGRANAJES EXTERNOS 1AG2U06R MEDIANTE UN LABORATORIO REMOTO PARA LA FACULTAD DE MECÁNICA”

Fecha de Examinación: 2018-03-29

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Santiago Alejandro López Ortiz DIRECTOR			
Ing. Telmo Jesús Moreno Romero MIEMBRO			

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

RECOMENDACIONES: _____

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

Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El Trabajo de Titulación 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.

Masabanda Tucta Alvaro David

Pulla Marín Alex Darío

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico al dueño de mi vida que es Dios, a mis padres Jorge y Tere y a mis hermanos, ya que todos ellos son el motivo y la razón para seguir cumpliendo objetivos y metas día a día.

Alvaro David Masabanda

Esta dedicatoria va para mis padres Luis y María, las dos personas con más coraje y determinación que he podido conocer hasta ahora y han son parte fundamental en mi vida para poder cumplir con diferentes metas. Mis hermanos Nancy, Luis y Diego que a su forma supieron ayudarme y no perdieron su confianza en mí.

Alex Pulla

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la oportunidad de vivir y darme las fuerzas y la sabiduría necesaria para culminar de buena manera mis estudios, a mis padres y hermanos por su constante apoyo incondicional, y a todas las personas que aportaron con sus conocimientos para realizar este trabajo de titulación.

Alvaro David Masabanda

Primeramente, a Dios por brindarme la seguridad y confianza de seguir una de las mejores carreras universitarias en el país y no percer de mí elección, por darme una familia con la que puedo contar en las buenas y malas.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por abrirme sus puertas y ser parte de tan prestigiosa institución que ha formado profesionales de excelencia durante 46 años. A mis maestros por compartir sus enseñanzas y conocimientos durante toda esta etapa de aprendizaje.

Y al final, pero no menos importante a las personas que estuvieron a mi lado en este lapso de tiempo: mis amigos, de los cuales también aprendí varias cosas y supieron brindarme su amistad.

Alex Pulla

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
1. CAPÍTULO I MARCO REFERENCIAL	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Planteamiento del problema	3
1.3. Justificación.....	3
1.3.1. <i>Justificación teórica</i>	3
1.3.2. <i>Justificación metodológica</i>	3
1.3.3. <i>Justificación práctica</i>	3
1.4. Alcance	4
1.5. Objetivos	4
1.5.1. <i>Objetivo General</i>	4
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i>	4
2. CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	5
2.1. Características, tipos y funcionamiento de las bombas de engranajes	5
2.1.1. <i>Bomba de engranajes internos</i>	5
2.1.2. <i>Bomba de engranajes externos</i>	6
2.1.3. <i>Funcionamiento de la bomba de engranajes externos</i>	7
2.2. Propiedades de un fluido	8
2.2.1. <i>Densidad y peso específico</i>	8
2.2.2. <i>Viscosidad</i>	8
2.2.2.1. <i>Viscosidad dinámica</i>	9
2.2.2.2. <i>Viscosidad cinemática</i>	10
2.2.2.3. <i>Grados ISO de viscosidad</i>	10
2.2.3. <i>Compresibilidad</i>	11
2.2.4. <i>Presión</i>	12
2.2.4.1. <i>Presión atmosférica</i>	13
2.2.4.2. <i>Presión absoluta y presión relativa</i>	13

2.3.	Expresiones matemáticas del sistema de bomba de engranajes externos	14
	14
2.3.1.	Caudal	14
2.3.1.1.	<i>Caudal efectivo</i>	17
2.3.2.	Torque	17
2.3.2.1.	<i>Par o momento de un motor</i>	18
2.3.3.	Potencia	19
2.3.4.	Eficiencia o rendimiento de una bomba hidráulica	20
2.3.4.1.	<i>Eficiencia mecánica en una bomba hidráulica</i>	20
2.3.4.2.	<i>Eficiencia volumétrica</i>	21
2.4.	Curvas características de la bomba de engranaje	22
2.5.	Adquisición de datos de señales físicas del sistema	24
2.5.1.	Instrumentos y equipos utilizados para la adquisición de datos	25
2.5.1.1.	<i>Sensor de caudal</i>	26
2.5.1.2.	<i>Sensor de presión</i>	27
2.5.1.3.	<i>Sensor de temperatura</i>	27
2.5.1.4.	<i>Variador de frecuencia</i>	29
2.5.1.5.	<i>Tarjetas de adquisición de datos</i>	31
2.6.	Monitoreo de sistemas hidráulicos	32
2.6.1.	Concepto de monitoreo	32
2.6.2.	Monitoreo a través de un sistema SCADA	33
2.6.2.1.	<i>Características de un Sistema SCADA</i>	34
2.6.3.	Monitoreo a través de internet	36
2.7.	Procesamiento y análisis de la información	38
2.7.1.	Concepto de análisis	38
2.7.2.	Análisis de las curvas características de la bomba	39
2.8.	Laboratorio remoto	39
2.8.1.	Arquitectura de un laboratorio remoto	40
2.8.2.	Programas para la comunicación remota	41
2.8.2.1.	<i>Raspbian</i>	42
2.8.2.2.	<i>Python</i>	43
3.	CAPÍTULO III ADECUACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS OLEOHIDRÁULICO PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS	46

3.1.	Descripción del banco de pruebas antes de la adquisición de datos	47
3.2.	Características y funcionamiento de los elementos del circuito oleohidráulico	47
3.2.1.	<i>Características de la central oleohidráulica</i>	48
3.2.1.1.	<i>Fluido oleohidráulico</i>	48
3.2.1.2.	<i>Motor eléctrico</i>	48
3.2.1.3.	<i>Bomba de engranajes externos IAG2U06R</i>	49
3.2.1.4.	<i>Deposito</i>	50
3.2.1.5.	<i>Válvulas direccionales</i>	50
3.2.1.6.	<i>Válvulas de control de flujo</i>	51
3.2.1.7.	<i>Válvula reguladora de presión.</i>	52
3.2.2.	<i>Mangueras y accesorios hidráulicos</i>	52
3.2.2.1.	<i>Mangueras flexibles</i>	52
3.2.2.2.	<i>Racores de acople rápido hidráulicos</i>	53
3.2.3.	<i>Fuente de alimentación eléctrica al banco de pruebas</i>	54
3.3.	Selección de instrumentos para medición de variables físicas.....	54
3.3.1.	<i>Instrumentos utilizados para medir la presión</i>	55
3.3.1.1.	<i>Características del manómetro analógico.....</i>	55
3.3.1.2.	<i>Características del transmisor de presión A-10.....</i>	55
3.3.2.	<i>Instrumentos utilizados para medir el caudal.....</i>	56
3.3.2.1.	<i>Medidor de flujo.....</i>	56
3.3.2.2.	<i>Características del caudalímetro de turbina DGTT-015S</i>	57
3.3.3.	<i>Instrumentos utilizados para medir la temperatura del fluido.....</i>	57
3.3.3.1.	<i>Termocupla tipo K.....</i>	58
3.3.3.2.	<i>Características del módulo MAX6675.....</i>	58
3.4.	Montaje y conexión de los instrumentos en el banco de pruebas.....	59
3.4.1.	<i>Montaje del transmisor de presión A-10</i>	59
3.4.1.1.	<i>Instalación oleohidráulica.....</i>	59
3.4.1.2.	<i>Instalación eléctrica</i>	60
3.4.2.	<i>Montaje del caudalímetro de turbina DGTT-015S.....</i>	61
3.4.2.1.	<i>Instalación hidráulica.....</i>	61
3.4.2.2.	<i>Instalación eléctrica</i>	61
3.4.3.	<i>Montaje de la termocupla tipo k.....</i>	62
3.4.3.1.	<i>Instalación del módulo para termocupla MAX6675.....</i>	62

4.	CAPÍTULO IV ADQUISICIÓN DE DATOS Y DESARROLLO DEL LABORATORIO REMOTO	63
4.1.	Adquisición de datos mediante tarjeta Arduino	64
4.1.1.	<i>Protocolo I²C</i>	65
4.1.2.	<i>Conexión del sensor de presión y temperatura a la placa maestro</i>	66
4.1.2.1.	<i>Programación de la placa maestro</i>	68
4.1.2.2.	<i>Calibración del sensor de presión</i>	70
4.1.3.	<i>Conexión del sensor de flujo a la placa esclavo 1</i>	73
4.1.3.1.	<i>Programación de la placa esclavo 1</i>	74
4.1.3.2.	<i>Calibración del sensor de flujo</i>	75
4.1.4.	<i>Conexión del sensor de inductivo a la placa esclavo 2</i>	76
4.1.4.1.	<i>Programación de la placa esclavo 2</i>	77
4.2.	Construcción del tablero de control	79
4.3.	Enlace de la tarjeta Arduino con la Raspberry Pi	85
4.3.1.	<i>Programación en python para el enlace de las tarjetas Arduino y Raspberry Pi</i>	86
4.4.	Desarrollo del laboratorio remoto en LabVIEW	87
4.4.1.	<i>Protocolo TCP/IP</i>	87
4.4.2.	<i>Programación en LabVIEW</i>	88
4.5.	Procedimiento para ingresar al laboratorio remoto	89
5.	CAPÍTULO V FASE EXPERIMENTAL	95
5.1.	Cálculo de las variables físicas	95
5.1.1.	<i>Cálculo del caudal teórico generado por la bomba de engranajes externos</i>	96
5.1.2.	<i>Cálculo de la potencia hidráulica obtenida de la bomba de engranajes</i>	96
5.1.3.	<i>Cálculo del torque en el eje de la bomba de engranajes</i>	96
5.1.4.	<i>Curvas características de la bomba de engranajes IAG2U06R encontradas teóricamente</i>	97
5.1.5.	<i>Curvas características de la bomba de engranajes externos IAG2U06R proporcionadas por el catálogo</i>	99
5.2.	Realización de la toma de datos	100
5.3.	Resultados de la toma de datos	101
5.4.	Análisis e interpretación de resultados	103

5.4.1.	<i>Análisis de los datos obtenidos</i>	103
5.4.2.	<i>Análisis de las curvas características de la bomba de engranajes externos IAG2U06R</i>	104
5.4.3.	<i>Análisis del comportamiento de la temperatura de fluido oleohidráulico en el sistema</i>	107
5.4.4.	<i>Cálculo de la eficiencia volumétrica de la bomba de engranajes externos IAG206UR</i>	109
5.4.5.	<i>Cálculo de la eficiencia total de la bomba de la bomba de engranajes externos IAG206UR</i>	111
5.5.	Comparación de las curvas obtenidas experimentalmente con las obtenidas teóricamente.	112
5.6.	Guía de operación y guía de práctica de laboratorio	118
5.6.1.	<i>Manual de operación</i>	118
5.6.2.	<i>Guía de prácticas de laboratorio</i>	120
5.6.2.1.	<i>Práctica de control del banco de pruebas oleohidráulico</i>	120
5.6.2.2.	<i>Práctica de las eficiencias de la bomba de engranajes externos</i>	122
6.	CAPÍTULO VI ANÁLISIS DE COSTOS	124
6.1.	Costos directos	124
6.1.1.	<i>Costos de accesorios y materiales mecánicos</i>	124
6.1.2.	<i>Costos de accesorios y materiales eléctricos</i>	125
6.1.3.	<i>Costos de accesorios y materiales hidráulicos</i>	126
6.1.4.	<i>Costos de equipos y herramientas</i>	126
6.1.5.	<i>Costos de la mano de obra</i>	126
6.1.6.	<i>Costo total directo</i>	127
6.2.	Costos indirectos	127
6.3.	Costos totales	127

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-2: Unidades utilizadas para la viscosidad dinámica	10
Tabla 2-2: Unidades utilizadas para la viscosidad cinemática	10
Tabla 3-2: Grados de viscosidad ISO	11
Tabla 4-2: Tipos de termocuplas	29
Tabla 1-3: Propiedades típicas del ISO 68	48
Tabla 2-3: Datos técnicos del motor	49
Tabla 3-3: Datos técnicos de la bomba engranajes externos 1AG2U06R.....	49
Tabla 4-3: Datos técnicos del deposito	50
Tabla 5-3: Datos técnicos de las válvulas direccionales.....	51
Tabla 6-3: Datos técnicos de la válvula de control de flujo	51
Tabla 7-3: Datos técnicos de la válvula reguladora de presión	52
Tabla 8-3: Datos técnicos de las mangueras flexibles	53
Tabla 9-3: Datos técnicos del racor de acople rápido.....	53
Tabla 10-3: Características de los transductores de presión	54
Tabla 11-3: Características de los sensores de caudal	54
Tabla 12-3: Características del manómetro analógico.....	55
Tabla 13-3: Características del transmisor de presión A-10.....	56
Tabla 14-3: Datos técnicos del sensor	57
Tabla 15-3: Características del módulo MAX6675	58
Tabla 1-4: Valores de bits a determinadas presiones.....	72
Tabla 1-5: Datos técnicos de motor eléctrico y bomba de engranajes	95
Tabla 2-5: Datos de las variables obtenidos teóricamente a 1200 psi	97
Tabla 3-5: Reporte del laboratorio remoto	101
Tabla 4-5: Datos de temperatura.....	107
Tabla 5-5: Datos para la gráfica eficiencia volumétrica vs presión.....	109
Tabla 6-5: Datos para la gráfica eficiencia total vs presión.....	111
Tabla 7-5: Datos teóricos y reales de caudal y potencia.....	113
Tabla 1-6: Costos de accesorios y materiales mecánicos	124
Tabla 2-6: Costos de accesorios y materiales eléctricos.....	125
Tabla 3-6: Costos de accesorios y materiales hidráulicos	126

Tabla 4-6: Costos de equipos y herramientas	126
Tabla 5-6: Costos de la mano de obra	126
Tabla 6-6: Costo total directo	127
Tabla 7-6: Costos indirectos	127
Tabla 8-6: Costos totales	127

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-2: Esquema de bomba de engranajes internos	6
Figura 2-2: Esquema de una bomba de engranajes externos.....	6
Figura 3-2: Esquema del funcionamiento de una bomba de engranajes externos.....	7
Figura 4-2: Esquema representativo de torque o momento de torsión	18
Figura 5-2: Curvas características típicas de una bomba hidráulica rotatoria de engranajes	23
Figura 6-2: Esquema de una termocupla	28
Figura 7-2: Esquema de un variador de frecuencia	30
Figura 8-2: Diagrama en bloques de un variador	31
Figura 9-2: Arduino UNO	32
Figura 10-2: Raspberry Pi	32
Figura 11-2: Esquema monitoreo a través de internet.....	37
Figura 12-2: Arquitectura de laboratorios remotos	41
Figura 1-3: Diagrama de bloques proceso adecuación del banco de pruebas	46
Figura 2-3: Banco de pruebas oleohidráulico.....	47
Figura 3-3: Motor eléctrico	49
Figura 4-3: Bomba de engranajes externos 1AG2U06R.....	50
Figura 5-3: Válvulas direccionales	51
Figura 6-3: Válvula de control de flujo	51
Figura 7-3: Válvula reguladora de presión	52
Figura 8-3: Mangueras flexibles.....	53
Figura 9-3: Racores de Acople rápido ISO A DN06.....	53
Figura 10-3: Manómetro analógico	55
Figura 11-3: Transmisor de presión A-10	56
Figura 12-3: Caudalímetro analógico	57
Figura 13-3: Caudalímetro de turbina DGTT-015S	57
Figura 14-3: Termocupla tipo K.....	58
Figura 15-3: Módulo para termocupla MAX6675	59
Figura 16-3: Montaje del transmisor de presión.....	60
Figura 17-3: Conector angular DIN 175301-803 A	60

Figura 18-3: Esquema de conexión eléctrica.....	60
Figura 19-3: Niples hidráulicos	61
Figura 20-3: Instalación hidráulica del caudalímetro DGTT-015S.....	61
Figura 21-3: Módulo LM2596.....	62
Figura 22-3: Diagrama de bloques el amplificador de instrumentación MAX6675	62
Figura 1-4: Diagrama de bloques	63
Figura 2-4: Diagrama de bloques para la adquisición de datos.....	64
Figura 3-4: Conexión de placas Arduino mediante protocolo I ² C	65
Figura 4-4: LOGO! Power 1x100-240 VAC/24VDC, 2.5 A	66
Figura 5-4: Conexión de los sensores a la placa maestro.....	67
Figura 6-4: Selección de placa Arduino.	68
Figura 7-4: Selección de puerto de programación.....	68
Figura 8-4: Selección de la librería para el sensor de temperatura.....	69
Figura 9-4: Librerías utilizadas en la programación de la placa maestro.....	69
Figura 10-4: Programación de la placa maestro.	70
Figura 11-4: Circuito de conexión para toma de datos.....	71
Figura 12-4: Conexión del flujómetro a la placa esclavo 1	74
Figura 13-4: Programación de la placa esclavo 1	75
Figura 14-4: Conexión del sensor inductivo a la placa esclavo 2	77
Figura 15-4: Selección de la placa Arduino mega 2560.....	77
Figura 16-4: Programación de la placa esclavo 2.....	78
Figura 17-4: Caja plástica.....	79
Figura 18-4: Elementos de distribución	80
Figura 19-4: Montaje del disyuntor	80
Figura 20-4: Fuente de alimentación de 24 VDC.....	81
Figura 21-4: Variador de velocidad.....	81
Figura 22-4: Montaje de Arduinos en placa electrónica	82
Figura 23-4: Raspberry Pi 3, modelo b	82
Figura 24-4: Módulo LM2596.....	83
Figura 25-4: Módulo de relés	83
Figura 26-4: Borneras y conectores.....	84
Figura 27-4: Tablero de control.....	84
Figura 28-4: Conexión serial entre Arduino y Raspberry Pi.....	85
Figura 29-4: Selección del software Python 3.....	86

Figura 30-4: Creación de librerías y puerto serial	86
Figura 31-4: Envío y recepción de datos desde Arduino	87
Figura 32-4: Entorno de labview	88
Figura 33-4: Panel frontal del laboratorio remoto	89
Figura 34-4: Programas para ejecución del laboratorio remoto	89
Figura 35-4: Conexión remota con software putty	90
Figura 36-4: Interfaz de acceso remoto	90
Figura 37-4: Software TightVNC Viewer	91
Figura 38-4: Sistema operativo Raspbian.....	91
Figura 39-4: Acceso al programa MONITOREO_REMOTO.py	92
Figura 40-4: Ejecución del programa MONITOREO_REMOTO.py	92
Figura 41-4: Acceso al programa Monitoreo.vi	93
Figura 42-4: Ingreso de la IP para conexión remota	93
Figura 43-4: Laboratorio remoto en la toma de datos	94

LISTA DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1-2: Coeficiente de compresibilidad media de los aceites.....	12
Gráfico 2-2: Curva característica de funcionamiento para una bomba rotatoria de desplazamiento positivo.....	22
Gráfico 3-2: Monitoreo a través de internet	38
Gráfico 1-4: Relación presión vs bits	73
Gráfico 1-5: Curva teórica caudal vs número de revoluciones.....	98
Gráfico 2-5: Curva teórica caudal vs potencia a diferentes presiones.....	98
Gráfico 3-5: Curva teórica potencia vs número de revoluciones	99
Gráfico 4-5: Curva caudal vs potencia y curva caudal vs número de revoluciones	99
Gráfico 5-5: Curva potencia vs número de revoluciones	100
Gráfico 6-5: Curva caudal vs número de revoluciones	102
Gráfico 7-5: Curva caudal vs potencia	102
Gráfico 8-5: Curva potencia vs número de revoluciones	103
Gráfico 9-5: Curva caudal vs velocidad angular	104
Gráfico 10-5: Curva potencia vs caudal	105
Gráfico 11-5: Curva potencia vs velocidad angular	106
Gráfico 12-5: Curva temperatura vs tiempo	108
Gráfico 13-5: Curva eficiencia volumétrica vs presión.....	110
Gráfico 14-5: Curva eficiencia total vs presión.....	112
Gráfico 15-5: Curva caudal vs velocidad angular	113
Gráfico 16-5: Campana del chi cuadrado	115
Gráfico 17-5: Curva potencia vs caudal	115
Gráfico 18-5: Curva potencia vs número de revoluciones	116

SIMBOLOGÍA

Q	Caudal	LPM; GPM
V	Volumen	m ³ ; L
t	Tiempo	s
p	Presión	psi; bar
ρ	Densidad	Kg/m ³
γ	Peso específico	N/m ³
g	Gravedad	m/s ²
S	Gravedad específica	
v	Velocidad	m/s
μ	Viscosidad dinámica	Kg/m*s
ν	Viscosidad cinemática	m ² /s
β	Coefficiente de compresibilidad	cm ² /kp
z	Número de dientes del engranaje	
b _w	Ancho del diente	in; mm
h _w	Altura del diente	in; mm
τ	Torque	N*m
P	Potencia	kw; Hp
N	Velocidad angular del motor	rpm
C	Cilindrada de la bomba	in ³ /rev; cm ³ /rev
V	Voltaje	V
I	Corriente	A
R	Resistencia	ohm
Q _t	Caudal teórico	LPM; GPM
Q _r	Caudal real	LPM; GPM
η_v	Eficiencia volumétrica	%
P _r	Potencia de la bomba	kw
P _e	Potencia de entrada	kw
η_T	Eficiencia total	%
r	Radio de giro	m
F	Fuerza	N
θ	Ángulo de giro	rad

LISTA DE ABREVIACIONES

ANSI	Instituto Americano de Estándares Nacionales
AC	Corriente Alterna
AD	Corriente continua
LAN	Red de área local
USB	Bus serial universal
BJT	Transistor de unión bipolar
CMOS	Semiconductor complementario de óxido metálico
PWM	Modulación por ancho de pulsos
RAE	Real Academia Española
SCADA	Supervisión, Control y Adquisición de Datos
PC	Computadora personal
PLC	Controlador lógico programable
HMI	Interfaz hombre – máquina
ERP	Planificación de recursos empresariales
ISO	Organización Internacional de Normalización
ASTM	Sociedad Americana de Ensayos de Materiales
IEC 60034-2-1:2014	Norma de la Comisión Eléctrica Internacional para declarar la eficiencia de un motor
SAE	Sociedad de Ingenieros Automotrices
NPT	Transistor de unión bipolar
ASME	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos
DIN	Instituto Alemán de Normalización
I ² C	Circuito Inter-Integrado
TCP	Protocolo de Control de Transmisión
IP	Protocolo de Internet
SPI	Interfaz Periférica Serial

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO A.** Placa motor eléctrico WEG W22
- ANEXO B.** Datos técnicos de la bomba de engranajes externos 1AG2U06R
- ANEXO C.** Datos técnicos de transmisor de presión WIKA A-10
- ANEXO D.** Datos técnicos de caudalímetro DGTT-015S
- ANEXO E.** Conexión eléctrica del transmisor de presión WIKA A-10
- ANEXO F.** Curvas características según el catálogo de la bomba de engranajes externos
- ANEXO G.** Placa circuito de conexión
- ANEXO H.** Diagrama del circuito de conexión
- ANEXO I.** Tabla de distribución de chi cuadrado

RESUMEN

El presente trabajo se enfocó en realizar el monitoreo y análisis de las curvas características de funcionamiento de la bomba de engranajes externos 1AG2U06R mediante un laboratorio remoto, desarrollado con instrumentación virtual de código abierto. El estudio inicio con la revisión de información necesaria para conocer el funcionamiento de un circuito oleohidráulico y determinar los instrumentos y sensores indicados que posteriormente fueron implementados en un banco de pruebas con el propósito de adecuarlo para obtener los datos de los parámetro físicos caudal, presión, velocidad angular y temperatura del fluido oleohidráulico, adquiridos y digitalizados por una tarjeta Arduino que fue enlazada a una Raspberry Pi que mediante su sistema operativo Raspbian sube los datos a una plataforma virtual remota de donde se puede controlar y monitorear la bomba, desde dicho laboratorio se realizó una experimentación adecuada para adquirir los datos de los parámetros físicos, con los que se generaron las curvas características de la bomba de engranajes externos 1AG2U06R que posteriormente fueron comparadas con las curvas obtenidas teóricamente. Indicándonos que la bomba brinda un caudal de 9,88 LPM y una potencia hidráulica de 1,36 KW a 1720 RPM y 1200 PSI con lo que también se pudo determinar el valor de eficiencia volumétrica y total de la bomba, que son de 93,5% y 81,16% respectivamente, y el comportamiento de la temperatura del fluido durante la práctica. Concluyendo con esto que la bomba cumple satisfactoriamente con las características técnicas que presenta el fabricante, el sistema implementado funciona correctamente y se lo puede aplicar en cualquier sistema de bombas hidráulicas para encontrar su eficiencia volumétrica y vida útil de a bomba. Se recomienda que exista una persona en el banco de pruebas para que lo energice y verifique su correcto funcionamiento, y también seguir los pasos del manual de funcionamiento del sistema.

Palabras clave: <TECNOLOGIA Y CIENCIAS DE LA INGENIERIA>, <MONITOREO>, <CURVAS CARACTERÍSTICAS>, <LABORATORIO REMOTO>, <BANCO OLEOHIDRÁULICO>, <BOMBA DE ENGRANAJES EXTERNOS>, <ARDUINO (SOFTWARE)>, <RASPBERRY PI>.

ABSTRACT

The present research work was focused on performing the monitoring and analysis of the operating characteristic curves of the external gear pump 1AG2U06R through a remote laboratory, developed with open source virtual instrumentation. The study began with the review of information necessary to know the operation of an oil hydraulic circuit and determine the indicated instruments and sensors that were later implemented in a test bench with the purpose of adapting it to obtain the data of the physical parameters flow, pressure, angular velocity and temperature of the oil hydraulic fluid, acquired and digitized by an Arduino card that was linked to a Raspberry Pi that through its Raspbian operating system uploads the data to a remote virtual platform where the pump can be controlled and monitored, from the indicated laboratory an adequate experimentation was carried out to acquire the data of the physical parameters, with which the characteristic curves of the external gear pump 1AG2U06R were generated, they were later compared with the theoretically obtained curves. It indicated that the pump provides a flow of 9.88 LPM and a hydraulic power of 1.36 KW to 1720 RPM and 1200 PSI with which it can also be determined the volumetric and total efficiency value of the pump, which are 93.5% and 81.16% respectively, and the manner of the temperature of the fluid during practice. Concluding with this that the pump satisfies satisfactorily the technical characteristics presented by the manufacturer. The implemented system works correctly and can be applied in any hydraulic pump system to find its volumetric efficiency and pump life. It is recommended that there should be a person in the test bench to energize it and verify its correct operation and also follow the steps of the system's operating manual.

Keywords: <TECHNOLOGY AND SCIENCE OF ENGINEERING>, <MONITORING>, <CHARACTERISTIC CURVES>, <REMOTE LABORATORY>, <OIL HYDRAULIC BENCH >, <PUMP OF EXTERNAL GEARS>, <ARDUINO (SOFTWARE)>, <RASPERRY PI>.

INTRODUCCIÓN

En la industria existen varios medios que sirven para transmitir, controlar fuerzas y dar movimiento, uno de ellos es a través de la oleohidráulica, que cumple con este objetivo mediante técnicas que implican comprimir aceite. Se obtienen grandes beneficios con la oleohidráulica, se pueden transmitir grandes fuerzas empleando pequeños elementos de mando. Dentro de los componentes de un sistema oleohidráulico, los más importantes son la bomba y el motor, los cuales brindan presión y caudal adecuado de líquido a la instalación. La bomba más utilizada para este tipo de sistemas es la bomba de engranajes, con esta se obtiene gran presión y mayor eficiencia. Existen dos tipos de bombas de engranajes: internos y externos, estas últimas por su mecanismo simple, funcionamiento sencillo y brindar grandes presiones tienen más campo de aplicación, se las encuentra en las industrias petrolera, química, alimenticia, automotriz y otras; también en sistemas oleohidráulicos simples como en los bancos didácticos de pruebas.

Como todos los equipos, sistemas y procesos industriales en la actualidad están automatizados con lo último de la tecnología, también los sistemas oleohidráulicos, han sido intervenidos con este fenómeno, empezando desde la apertura y cierre de válvulas pasando por la regulación de presión, control de caudal, niveles de estanques entre otros, hasta poder tener el mando completo del sistema desde un computador.

Hoy en día con la utilización de dispositivos electrónicos y softwares se han creado laboratorios virtuales y remotos conjuntamente con el internet han hecho que estos laboratorios se conviertan en una herramienta muy importante y necesaria para la academia, la industria y centros de investigación. Con un laboratorio remoto se puede controlar y monitorear el funcionamiento y las partes del sistema, resolver problemas en los equipos y hasta manejar un proceso desde un lugar ajeno a la planta industrial.

Con el fin de aportar a la formación de un Ingeniero Mecánico, se propone realizar el **MONITOREO Y ANÁLISIS DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA DE ENGRANAJES EXTERNOS 1AG2U06R** mediante la creación de un laboratorio remoto, que contribuirá con un proyecto de investigación aprobado por CEDIA y para el desarrollo académico de los estudiantes de la Facultad de Mecánica.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

La presente propuesta tecnológica se apoya en la investigación y recopilación necesaria de la teoría necesaria relacionado al tema de estudio y en la revisión de proyectos realizados con anterioridad por otros autores, de eso se dice que las bombas de engranajes externos son máquinas hidráulicas empleadas en varios ámbitos de la industria en aplicaciones móviles y fijas (Rodríguez, 2013).

El principal punto de análisis es la forma en que este tipo de bombas genera caudal, porque es el parámetro esencial para lograr cumplir su objetivo es por eso que para (Brennen, 2005), el caudal que emite la bomba es el resultado del proceso continuo de impulsión generado por cada vuelta del elemento motor, y dependerá de la constitución geométrica del diente del engrane. Conociendo que la geometría de este tipo de bombas es relativamente simple, sin embargo, a eso, son objeto de varios estudios que se enfocan principalmente en mejorar su rendimiento (Pellegrini, et al., 2016).

Para autores como (Vacca & Guidetti, 2011), él estudió del funcionamiento de las bombas de engranajes externos debe tener un enfoque netamente numérico, por tal motivo realiza un estudio mediante una dinámica de fluidos computacionales (CDF). Otra de las maneras de evaluar el funcionamiento de la bomba es a través del análisis de sus curvas características. Generalmente las curvas de funcionamiento de una bomba son proporcionadas por el fabricante, las cuales son encontradas a velocidades de rotación o presiones constantes. Se puede comprobar experimentalmente si la bomba cumple con lo indicado por el fabricante, para ello es necesario adquirir datos de los parámetros necesarios para generar dichas curvas, mediante instrumentos en un banco de pruebas.

Muchos de los bancos de pruebas que contienen bombas han sido automatizados con el propósito de adquirir datos, controlar y monitorear un sistema. El sistema más utilizado en bancos de pruebas es el SCADA (Control Supervisor y Adquisición de Datos), este sistema permite la gestión y control de cualquier sistema local o remoto gracias a una interfaz gráfica que comunica al usuario con el sistema (Rodríguez Penín, 2008).

Con la automatización de los bancos de pruebas oleohidráulicos se ha logrado tener mejor funcionalidad y manejo, sin embargo, en la actualidad los sistemas de adquisición de datos y control y monitoreo se los realiza remotamente a través de internet mediante la creación de un laboratorio remoto. Un laboratorio remoto permite interactuar con el equipo real utilizando un acceso remoto desde un computador local a un servidor localizado en un laboratorio físico, en la construcción de este laboratorio remoto y en general se busca mantener el hardware utilizado en su forma más simple y utilizar software de libre acceso a través de Internet. (Dormido, et al., 2013).

La mayoría de los laboratorios remotos están dirigidos hacia la parte de la educación, como lo indica (Chaos, et al., 2013), para lo cual diseñaron e implementaron un laboratorio virtual y remoto basado en Easy Java Simulation y LavVIEW. Aplicado al estudio de los sensores en Mobile Robotic, y con el objetivo de que los estudiantes realicen una simulación en el laboratorio virtual antes de probar con el robot real.

Según (Sládek, et al., 2011), la creación de laboratorios remotos responde a las nuevas tendencias de educación superior, por eso creo de un laboratorio remoto con una interfaz web que se puede usar desde cualquier computador con internet. Tal software necesita ser instalado en la computadora remota. Sin embargo, hay la complicación para la adquisición de una licencia. Por eso sugiere utilizar un navegador web ordinario en la computadora del cliente, en lugar de un software especializado.

Si hablamos que los laboratorios remotos son una herramienta útil para la academia, así mismo se han involucrado de una manera considerable en la industria, sobre todo para el monitoreo y control de procesos de fabricación. Estos laboratorios complementan a la automatización en equipos industriales, en su mayoría utilizando Controladores Lógicos programables (PLC) (Caldas Pinto & Sa da Costa, 2013).

(Kalúz, et al., 2017) elaboraron un laboratorio remoto denominado ArPi Lab, destinado para la experimentación de control de procesos de manera remota. Fue construido con componentes hardware muy baratos como Raspberry Pi y Arduino, utilizando softwares como HTML 5 y JavaScript para la aplicación del lado del cliente, PHP y MySQL para la implementación del servidor de laboratorio, JSON como estructura para la transferencia de datos, y el lenguaje C para la programación de servidores de experimentos y microcontroladores.

1.2. Planteamiento del problema

No existe información detallada de la bomba de engranajes externos 1AG206UR, a parte de la que proporciona el fabricante por medio del catálogo, tampoco se han realizado estudios del funcionamiento y comportamiento de este tipo de bomba de engranajes peor aún a través de un monitoreo y control mediante un laboratorio remoto. En si la institución no posee bancos de pruebas con ese tipo de sistema donde se puedan realizar el análisis y estudio virtual y remoto de un equipo o proceso, ya que los laboratorios de la Facultad de Mecánica poseen bancos de pruebas no automatizados y pocos con un nivel de automatización básico. Esto conlleva a que los estudiantes no puedan desarrollar su aprendizaje y enriquecer sus conocimientos sobre tecnología que hoy en día se está manejando en los diferentes campos laborales que se podrían aplicar.

1.3. Justificación

1.3.1. *Justificación teórica*

Es necesario e importante conocer de mejor manera el funcionamiento de una bomba de engranajes externos y de sus curvas características de funcionamiento, por lo cual realizaremos un estudio de sus principales parámetros físicos y de rendimiento, aportando con esto un nuevo punto de inicio para futuras investigaciones a desarrollarse.

1.3.2. *Justificación metodológica*

En dicho banco se puede implementar un sistema de adquisición de datos que deriva a la creación de un laboratorio remoto de instrumentación virtual de código abierto con elementos electrónicos de fácil adquisición y bajo costo que monitoreará a la bomba y brindará datos de sus parámetros en tiempo real mediante una comunicación remota.

1.3.3. *Justificación práctica*

Los estudiantes realizarán sus prácticas sin necesidad de encontrarse en el laboratorio y podrán aplicar nuevos métodos de aprendizaje y tendrán una pauta para ampliar el conocimiento sobre el funcionamiento de laboratorios remotos con código abierto como el que se desarrolla en el presente trabajo de titulación.

1.4. Alcance

Con la determinación de la eficiencia volumétrica y total se podrá realizar un plan de mantenimiento preventivo a los equipos del banco de pruebas oleohidráulico que puedan presentar fallas o averías. De igual forma, si los valores calculados no se encuentran dentro del rango establecido por los catálogos nos indicará que el banco de pruebas no debe de ser puesto en funcionamiento y se tendrá que examinar cada actuador hidráulico.

1.5. Objetivos

1.5.1. *Objetivo General*

Monitorear y analizar las curvas características de la bomba de engranajes externos 1AG2U06R mediante un laboratorio remoto de instrumentación virtual de código abierto que servirá para la facultad de mecánica y contribuir con el proyecto de investigación aprobado por CEDIA.

1.5.2. *Objetivos Específicos*

Examinar el estado de arte correspondiente a laboratorios remotos, bombas de engranajes externos y las ecuaciones que permiten calcular el caudal, potencia y torque en la bomba para tener información necesaria en el desarrollo del trabajo.

Realizar el acondicionamiento del banco de pruebas oleohidráulico para la adquisición de datos de las variables físicas y enlazarlos a la plataforma virtual remota utilizando el sistema operativo Raspbian.

Validar experimentalmente las curvas características de la bomba de engranajes externos mediante la variación de los parámetros físicos presión y velocidad angular, y determinar el porcentaje de error o variación.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

El presente capítulo tiene por objetivo obtener información teórica necesaria para abordar el tema de investigación denominado monitoreo y análisis de las curvas características de una bomba de engranajes externos 1AG2U06R mediante un laboratorio remoto.

2.1. Características, tipos y funcionamiento de las bombas de engranajes

Las bombas de engranajes son máquinas hidráulicas de desplazamiento positivo de tipo rotatorias. Se las considera como una bomba compacta, potente y robusta que trabajan con presiones y velocidades de rotación altas. Su forma de trabajo es sencilla incluso para el operario al realizar su montaje e instalación, además estas bombas alcanzan porcentajes altos de eficiencia. Existen dos clases principales de bombas de engranajes: las bombas de engranajes internos y las bombas de engranajes externos.

2.1.1. *Bomba de engranajes internos*

Están compuestas por dos engranajes, externo e interno y una placa en forma de media luna. Tienen uno o dos dientes menos que el engranaje exterior. Existe una zona donde los dientes engranan completamente en la cual no es posible alojar aceites entre los dientes. Al estar los engranajes ubicados excéntricamente comienzan a separarse generando un aumento del espacio con lo cual se provoca una disminución de presión lo que asegura la aspiración del fluido. Logrando esto, el aceite es trasladado hacia la salida, la acción de la placa con forma de media luna y el engrane total, impiden el retroceso del aceite. (OLAGORTA, 2015)

El desgaste de esta bomba es menor por la reducida relación de velocidad existente. Son utilizadas en caudales pequeños y pueden ser de dos tipos: centradas o excéntricas.

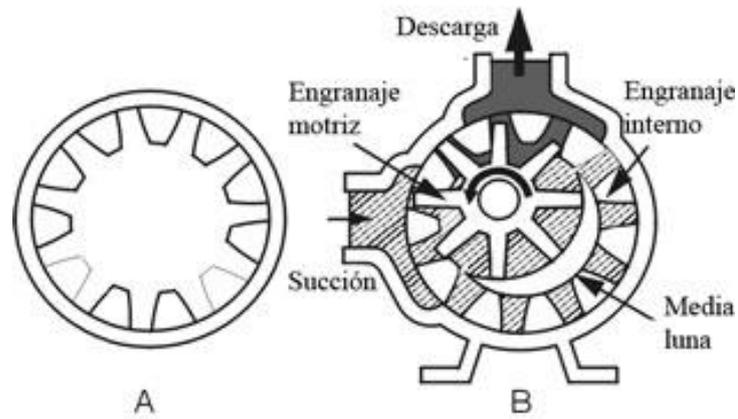


Figura 1-2: Esquema de bomba de engranajes internos
Fuente: (SAPIENSMAN, 2015)

2.1.2. Bomba de engranajes externos

Estas bombas básicamente están compuestas por una carcasa o estator y un rotor doble. Son fabricadas con un mínimo nivel de tolerancia y precisión, la geometría de los componentes relevantes como los engranajes determinan, el caudal de la bomba e intervienen para alcanzar una alta eficiencia volumétrica.

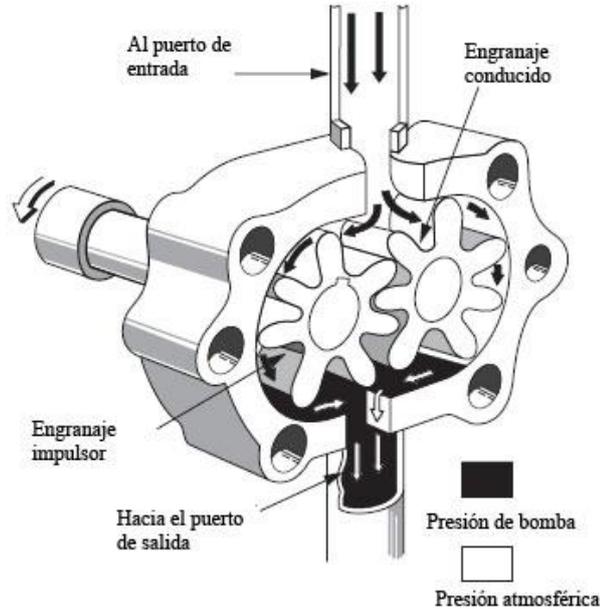


Figura 2-2: Esquema de una bomba de engranajes externos
Fuente: (SAPIENSMAN, 2015)

A las bombas de engranajes externos se las emplean a menudo como bombas de lubricación en máquinas herramientas, quemadores de aceite, sistemas hidráulicos, unidades de transferencia de fluidos y bombas de aceite en motores. Adicional a esto

también son utilizadas en diferentes campos como: la industria petrolera en casi todas las fases de procesos, producción, refinación, aceites crudos y refinados; carga de tanques, transporte y distribución. En equipos mecánicos usados por la industria alimenticia, industria química, marina, Industria del acero, ferrocarriles y otros. Estas bombas en particular pueden ser diseñadas para manejar incluso los líquidos corrosivos más agresivos como: ácido sulfúrico, hipoclorito de sodio, cloruro férrico, hidróxido de sodio y cientos de otros líquidos.

2.1.3. *Funcionamiento de la bomba de engranajes externos*

Su funcionamiento es muy sencillo, tiene un mecanismo simple que consiste en dos engranajes acoplados dentados retos o helicoidales, el conductor que es accionado por el eje de la bomba y el conducido. La separación de los engranajes en el lado de succión crea un vacío parcial que hace que el líquido fluya y llene el lado de succión. El caudal se produce al transportar el fluido entre los dientes de los engranajes acoplados. Al momento de la unión de los engranes se genera un aumento de presión que fuerza al líquido a salir a través de la línea de descarga. En principio, cualquiera de los puertos puede convertirse en la descarga dependiendo de la dirección de rotación. Unos aprietes laterales y superiores entre los engranajes y la carcasa evitan que el fluido escape hacia atrás. La cantidad de flujo bombeado en una revolución depende de la cantidad de líquido que pueda quedar atrapado dentro del engranaje. (Manring, 2003)

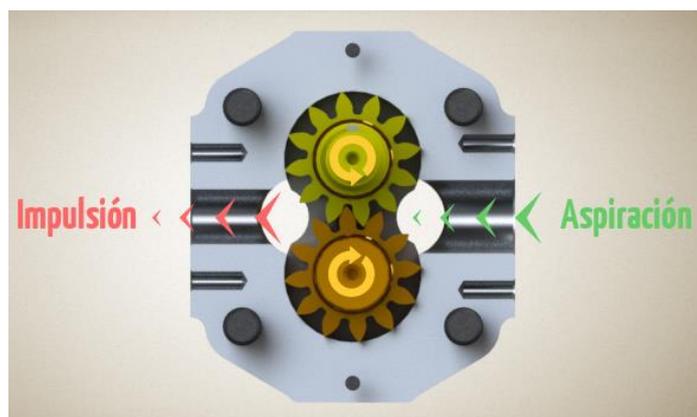


Figura 3-2: Esquema del funcionamiento de una bomba de engranajes externos
Fuente: (Hidraoil, 2012)

Existen en dos tipos de bombas de engranajes externos, las de alta presión que suelen utilizar engranajes helicoidales o de espiga. Y las de baja presión que funcionan

normalmente a 1750 ó 3450 rpm y los modelos más grandes funcionan a velocidades de hasta 640. Entre las desventajas de estas bombas están: la dificultad para mantener el sellado lateral de los engranajes, desbalanceo de presiones, altas presiones en el fondo de los dientes de los engranajes. (Manning, 2003)

2.2. Propiedades de un fluido

A continuación, se desarrollan las propiedades que tiene un fluido y las principales variables físicas que intervienen en un sistema de bomba de engranajes externos.

2.2.1. Densidad y peso específico

La densidad ρ de un fluido se define como la masa por unidad de volumen. Una propiedad del fluido directamente relacionada con la densidad es el peso específico γ o peso por unidad de volumen. (Potter & Wiggert, s.f.). Se define como:

$$\gamma = \rho * g \quad (1)$$

Donde g es la gravedad local. Las unidades de peso específico son N/m^3 (lb/ft^3). Para el agua se utiliza el valor nominal de 9800 N/m^3 (62.4 lb/ft^3). Con frecuencia se utiliza la gravedad específica S para determinar el peso específico o densidad de un fluido (en general un líquido). Se define como la relación de la densidad de una sustancia con la del agua a una temperatura de referencia 4°C . (Potter & Wiggert, s.f.)

$$S = \frac{\rho}{\rho_{\text{agua}}} = \frac{\gamma}{\gamma_{\text{agua}}} \quad (2)$$

Se puede determinar que el peso específico de los aceites es menor que el del agua. Para los tipos normales de aceite, el peso específico (a 20°C) se halla comprendido entre 8.550 y 8.830 N/m^3 .

2.2.2. Viscosidad

La viscosidad puede ser considerada como la pegajosidad interna de un fluido. Es una de las propiedades que influye en la potencia necesaria para mover una superficie aerodinámica a través de la atmósfera. Responde la pérdida de energía asociada con el

transporte de fluidos en ductos, canales y tuberías, además, la viscosidad desempeña un papel primordial en la generación de turbulencia. La velocidad de deformación de un fluido está directamente ligada a su viscosidad. Con un esfuerzo dado, un fluido altamente viscoso se deforma más lentamente que un fluido de baja densidad (Potter & Wiggert, s.f.).

2.2.2.1. *Viscosidad dinámica.*

Cuando un fluido se mueve, se desarrolla en él una tensión de corte, cuya magnitud depende de la viscosidad del fluido. La tensión de corte puede definirse como la fuerza requerida para deslizar una capa de área unitaria de una sustancia sobre otra capa de la misma sustancia. Así pues, τ es la tensión de corte es una fuerza dividida entre un área y puede medirse en unidades de Newton por metro cuadrado. En general encontramos que la magnitud de la tensión de corte es directamente proporcional al cambio de velocidad entre diferentes posiciones del fluido. (Delmaestro, 2005)

El gradiente de la velocidad es una medida de cambio de velocidad y se define como $\Delta V/\Delta y$. También se lo conoce como rapidez de corte. El hecho de que la tensión de corte del fluido es directamente proporcional al gradiente de la velocidad puede establecerse matemáticamente como:

$$\tau = \mu * \left(\frac{\Delta V}{\Delta y}\right) \quad (3)$$

En la que la constante de proporcionalidad μ se conoce como viscosidad dinámica del fluido. La definición de viscosidad dinámica puede ser derivada de la ecuación despejando μ .

$$\mu = \tau * \left(\frac{\Delta y}{\Delta V}\right) \quad (4)$$

La viscosidad dinámica de los fluidos varía mucho con la temperatura, aumentando con la temperatura para los gases y disminuyendo en los líquidos, pero en unos y otros prácticamente es independiente de la presión. Las unidades de la viscosidad dinámica son:

Tabla 1-2: Unidades utilizadas para la viscosidad dinámica.

Sistema de unidades	Unidades de viscosidad dinámica
Sistema Internacional	N.s/m ² , Pa, Kg/m.s
Sistema Británico de Unidades	Lb.s/pies ² , slug/pies,
Sistema cgs	poise = dina.s/cm ² = g/(cm.s) = 0.1Pa.s centipoise=poise/100 = 0.001pa.s= 1.0mPa.s

Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

Fuente: (Delmaestro, 2005)

2.2.2.2. Viscosidad cinemática

Muchos cálculos en mecánica de fluidos implican el cociente de la viscosidad dinámica entre la densidad del fluido. Como convención, la viscosidad cinemática ν , se define como:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (5)$$

Las unidades de la viscosidad cinemática en los tres sistemas utilizados con más frecuencia son las siguientes:

Tabla 2-2: Unidades utilizadas para la viscosidad cinemática

Sistema de unidades	Unidades de viscosidad dinámica
Sistema Internacional	m ² /s
Sistema Británico de Unidades	pie ² /s
Sistema cgs	stoke = cm ² /s = 1.10 ⁻⁴ m ² /s centistokes = stoke/100=1.10 ⁻⁶ m ² /s

Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

Fuente: (Delmaestro, 2005)

2.2.2.3. Grados ISO de viscosidad

Esta clasificación define 20 grados de viscosidad en el rango de 2 a 3200 milímetros cuadrados por segundo (1 mm²/s es igual a 1cSt) a 40°C (104°F). Para líquidos base petróleo, esto cubre aproximadamente el rango entre el queroseno y el aceite de cilindros. Cada grado de viscosidad se designa por el número entero más cercano al punto medio de su viscosidad cinemática en mm²/s a 40°C (104°F), y se permite un rango de +/- 10 por ciento de este valor. En la tabla 3-1 se muestran los 20 grados de viscosidad y los límites apropiados de cada uno. (Lubrication, 2001)

Tabla 3-2: Grados de viscosidad ISO

Grado de viscosidad ISO VG	Viscosidad cinemática media cSt a 40°C	Límite inferior cSt a 40°C	Límite superior cSt a 40°C
2	2.2	1.98	2.42
3	3.2	2.88	3.52
5	4.6	4.14	5.06
7	6.8	6.12	7.48
10	10	9.00	11.00
15	15	13.50	16.50
22	22	19.80	24.20
32	32	28.80	35.20
46	46	41.40	50.60
68	68	61.20	74.80
100	100	90	110
150	150	135	165
220	220	198	242
320	320	288	352
460	460	414	506
680	680	612	748
1000	1000	900	1100
1500	1500	1350	1650
2200	2200	1980	2420
3200	3200	2880	3520

Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

Fuente: (Lubrication, 2001)

2.2.3. *Compresibilidad*

Esta propiedad es típica del estado gaseoso, ya que los gases la poseen en grado notable; basta pensar que en primera aproximación (ley de Boyle), a una duplicación de presión corresponde una reducción de volumen a la mitad. Pero la Compresibilidad, si bien en grado mucho menor, es también una propiedad de los líquidos. En el caso del aceite mineral, un volumen de 100 litros a la temperatura de 20°C y sometido a una presión de 100 bar, se reduce a unos 99,3 litros, o sea, disminuye 0,7 litros. Este fenómeno puede ignorarse en instalaciones de poco volumen y que funcionan a baja presión, pero cuando existen cilindros de gran capacidad, tuberías de cierta longitud y de gran diámetro, etc., porque pueden dar lugar a un retraso en la puesta a presión que repercute sobre la duración total del ciclo. (Delmaestro, 2005)

Si por cada 100 bar de aumento de presión, el volumen de aceite se reduce un 0,7%. En general, la ley que se cumple es:

$$\Delta V = \beta * V_0 * (p_d - p_0) \quad (6)$$

Donde, ΔV es la reducción absoluta de volumen en litros, B el coeficiente de compresibilidad en cm^2/kp , V_0 el volumen inicial en litros, p_0 la presión inicial, en kp/cm^2 y p_a la presión final en kp/cm^2 . Se ha observado experimentalmente que β no es constante, sino a su vez función de la presión, como demuestra la gráfica.

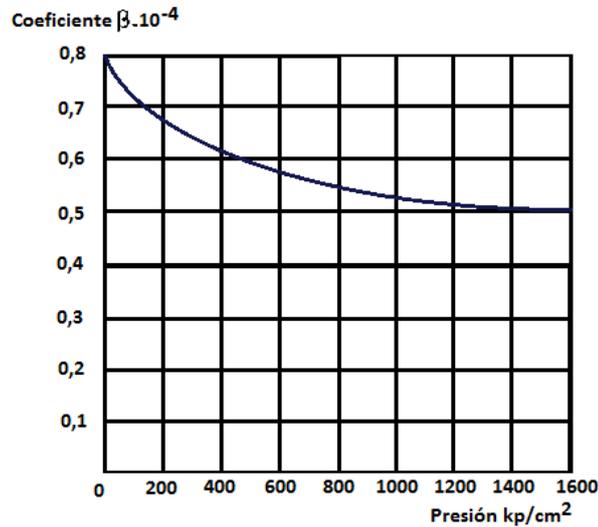


Gráfico 1-2: Coeficiente de compresibilidad media de los aceites
Fuente: (Delmaestro, 2005)

2.2.4. Presión

La presión en un punto se define como el valor absoluto de la fuerza por unidad de área a través de una pequeña superficie que pasa por ese punto, en los sólidos en reposo, las fuerzas sobre una superficie pueden tener cualquier dirección, en el caso de los fluidos en reposo la fuerza ejercida sobre una superficie debe ser siempre perpendicular a la superficie, ya que, si hubiera una componente tangencial, el fluido fluiría. En cambio, en un fluido en movimiento, si éste es no viscoso tampoco aparecen componentes tangenciales de la fuerza, pero si se trata de un fluido viscoso sí aparecen fuerzas tangenciales de rozamiento. De este modo, un fluido en reposo a una presión p ejerce una fuerza $-pd\vec{S}$ sobre cualquier superficie plana arbitraria en contacto con el fluido en el punto, definida por un vector unitario $d\vec{S}$, perpendicular a la superficie. En general, la presión en un fluido depende del punto, $p = p(x, y, z)$. Así, para un fluido en reposo la presión se define como la fuerza normal por unidad de superficie. (MARTÍN DOMINGO, 2011)

2.2.4.1. *Presión atmosférica*

Sobre la superficie libre de un líquido reina la presión del aire o gas que sobre ella existe. Esta presión puede adquirir un valor cualquiera en un recipiente cerrado; pero si el recipiente está abierto, sobre la superficie libre del líquido reina la presión atmosférica, debido al peso de la columna de aire que gravita sobre el fluido. La presión atmosférica varía con la temperatura y la altitud. (Mataix, 1986)

2.2.4.2. *Presión absoluta y presión relativa*

Según (Mataix, 1986) la presión en cualquier sistema de unidades se puede expresar como presión absoluta o como presión relativa. Esta denominación no afecta a la unidad sino al cero de la escala. Sucede lo mismo con las temperaturas: los grados centígrados expresan temperaturas relativas, tomando como 0°C la temperatura de fusión del hielo; mientras que las temperaturas en kelvin expresan temperaturas absolutas, mediadas a partir del cero absoluto. El cero absoluto de temperaturas es el mismo en todos los sistemas de unidades. Lo mismo sucede con el cero absoluto de presiones.

Entendiéndose que la presión absoluta se mide con relación al cero absoluto (vacío total o 100% de vacío) y las presiones relativas con relación a la atmósfera. La mayoría de los manómetros, están contruidos de manera que miden presiones relativas con relación a la atmósfera local. Para hallar la presión absoluta con exactitud habrá que sumar a la presión leída en el manómetro la presión atmosférica local medida exactamente con un barómetro. Muchas veces no se necesitan gran presión y entonces se suma la lectura del manómetro (presión relativa) la atmósfera técnica que es igual a 1bar. De aquí resulta la ecuación fundamental:

$$p_{abs} = p_e + p_{amb} \quad (7)$$

Donde, p_{abs} es presión absoluta,

p_e presión relativa,

p_{amb} presión atmosférica.

2.3. Expresiones matemáticas del sistema de bomba de engranajes externos

Con la finalidad de comparar los resultados teóricos con los experimentales a continuación se analizan las expresiones matemáticas con las cuales se puede predecir el caudal suministrado, el torque y la potencia hidráulica que genera la bomba de engranajes externos. El par de engranajes de la bomba provocan un cambio en el volumen entre los engranes y la cámara de la bomba lo que provoca un aumento de presión debido a la incompresibilidad del fluido. (Moreno Romero, et al., 2017)

2.3.1. Caudal

Es la cantidad de flujo volumétrico que pasa por unidad de tiempo. El caudal de una bomba volumétrica es igual a su cilindrada por la velocidad angular del eje de la bomba, es decir: (A. Svishchev, 2015)

$$Q_p = \frac{q_p}{2\pi} w_p \quad (8)$$

Dónde w_p es la velocidad angular del eje,

q_p es la cilindrada de la bomba, la misma que depende del tipo de bomba, y su geometría.

El problema en la predicción del caudal suministrado por una bomba, es la modelación de la variación de la cilindrada la cual dependerá del tipo de bomba, geometría y del tipo de perfil del diente, en el caso de bombas de engranajes se presentan varios tipos de dientes (P. Martinez, 2014) de los cuales principalmente se utilizan en las industrias dientes de perfil envolvente y cicloidal.

A continuación, se analizan 3 modelos propuestos para el cálculo de caudal de bombas de engranajes externos de perfil envolvente que son los que se utilizan ampliamente en la industria. Nagamura establece un modelo para el cálculo del caudal (K. Nagamura, 2004), en el que enuncia que el volumen desplazado por revolución es igual a:

$$V_r = (2F - X_{min})z \quad (9)$$

Donde F es el volumen del espacio del diente y x_{\min} es el valor de volumen mínimo de separación y z es el número de dientes, para el caso de dientes de perfil envolvente:

$$V_r = \frac{\pi b m^2}{2} \left((z + 2 + 2(y - x))^2 - (z + y)^2 - \frac{\pi^2}{3} \cos^2 \alpha_0 \right) \quad (10)$$

Dónde b es el ancho de cara, m el módulo, x el coeficiente de adendum, y el coeficiente de dedendum y α_0 el ángulo de presión. La expresión anterior es válida solo para dientes de perfil envolvente para el caso de otros tipos de perfil Nakamura propone una modificación a los coeficientes x, y .

Huang propone un modelo para representar el caudal de una bomba, el mismo que es igual a la diferencia entre el caudal volumétrico de entrada y el caudal volumétrico existente (Huang K, 2009):

$$\dot{V}_n = \dot{V}_0 - \dot{V}_B \quad (11)$$

Debido a que el espesor de los engranajes es constante la misma puede salir del análisis, el caudal de área de entrada puede ser escrita:

$$\dot{A}_o = \frac{1}{2} w \left(r_{a1}^2 + \frac{z_1}{z_2} r_{a2}^2 \right) \quad (12)$$

Se puede observar que el caudal de área de entrada depende de la velocidad angular de los engranajes (w), el número de dientes de los engranajes (z_i), el radio de adendum de los engranajes (r_{ai}). El caudal de área existente es igual a la sumatoria de los caudales en cada diente del engranaje, se puede expresar como:

$$\dot{A}_B = \frac{1}{2} w \left[\left(\frac{r_1^2}{\sqrt{r_1^2 - r_{b1}^2}} \right) (r_{op1} \cdot \cos \beta_1 - 1) + \frac{z_1}{z_2} \left(\frac{r_2^2}{\sqrt{r_2^2 - r_{b2}^2}} \right) (r_{op2} \cdot \cos \beta_2 - 1) \right] \quad (13)$$

El caudal de área existente se expresa en función de la velocidad angular de los engranajes (w), distancia radial de contacto (r_i), radio de base del engranaje (r_{bi}), radio primitivo de los engranajes (r_{opi}), el ángulo de la línea de presión (β_i).

Casoli y Vacca presentan un modelo similar al de Nakamura considerando que el caudal de la bomba no es constante, éste depende del volumen en la descarga de la bomba (P. Casoli, 2005) y se puede expresar como:

$$Q_p = b_w(r_a^2 - r_w^2 - x_{pb}^2)w_p \quad (14)$$

Donde b_w es el ancho del diente, r_w radio primitivo, x_{pb} es la distancia de contacto que varía de $-p_b/2$ a $p_b/2$ en el que p_b representa al módulo del engranaje, para la resolución de la expresión anterior se puede utilizar Series de Fourier.

En los 3 modelos presentados el flujo no es constante el caudal obtenido tampoco lo es, por lo que se define un coeficiente de fluctuación de caudal igual a la diferencia entre el caudal máximo y mínimo sobre el caudal medio:

$$\eta = \frac{\dot{V}_{N,max} - \dot{V}_{N,min}}{\dot{V}_{N,m}} \quad (15)$$

Además de modelos teóricos se han publicado modelos numéricos debido a la complejidad que representa su solución (Vacca A, 2011) presenta una simulación en HYGESim una potente herramienta para la simulación de máquinas hidráulicas de engranajes.

En los modelos expuestos se puede apreciar la importancia que tiene las características geométricas de la bomba y el tipo de perfil del diente, el presente trabajo se limita a bombas de engranajes externos con dientes de perfil envolvente por lo que para la comparación teórica experimental se utilizará el modelo propuesto por Huang debido a que considera el volumen retenido por revolución y además su modelo se adapta a bombas con y sin cámara de alivio, en el caso de un trabajo posterior que incluya bombas con dientes de perfil no envolvente se podría analizar el modelo propuesto por Nakamura que es más completo pero requiere de técnicas matemáticas más avanzadas para su análisis, el modelo de Casoli no considera el volumen retenido por revolución por lo que sería el que presente más error en comparación a los valores obtenidos experimentalmente. En realidad, una bomba de engranajes tiene un caudal inferior al valor teórico, llamado caudal efectivo.

2.3.1.1. *Caudal efectivo*

Debido a un escape de líquido causado por: el pequeño descenso inevitable que queda entre la cara superior de los dientes y la carcasa, el descenso que queda entre las superficies laterales de los engranes y la carcasa y los pequeños espacios entre las superficies del par de dientes que se engranan entre ellos; estos retiran una pequeña cantidad del líquido que entra a la zona de succión. (USCANGA, 2012)

2.3.2. *Torque*

Se entiende por torque a la capacidad de giro que tiene una fuerza aplicada sobre un objeto. Según (Bueche & Hetch, 2007) el torque o momento de torsión τ alrededor de un eje debido a una fuerza es una medida de la efectividad de la fuerza para que ésta produzca una rotación alrededor del eje. El torque se define de la siguiente forma:

$$\tau = r * F * \text{Sen}\theta \quad (16)$$

donde r es la distancia radial desde el eje al punto de aplicación de la fuerza y θ es el ángulo agudo entre las direcciones de \vec{r} y \vec{F} , como se muestra en la figura 4-2(a). Con frecuencia, esta definición se escribe en términos del brazo de palanca de la fuerza, que es la distancia perpendicular desde el eje a la línea de acción de la fuerza, como se muestra en la figura 4-2(b). Como el brazo de palanca es igual a $r \text{ sen } \theta$, la ecuación del torque se reescribe como:

$$\text{Torque} = (\text{Fuerza}) \times (\text{brazo de palanca})$$

Las unidades de torque son newton-metro (N*m). El torque puede ser positivo o negativo; es positivo cuando la rotación alrededor del eje es en sentido opuesto al movimiento de las manecillas del reloj y negativa cuando la rotación es en el mismo sentido en que se mueven las manecillas del reloj.

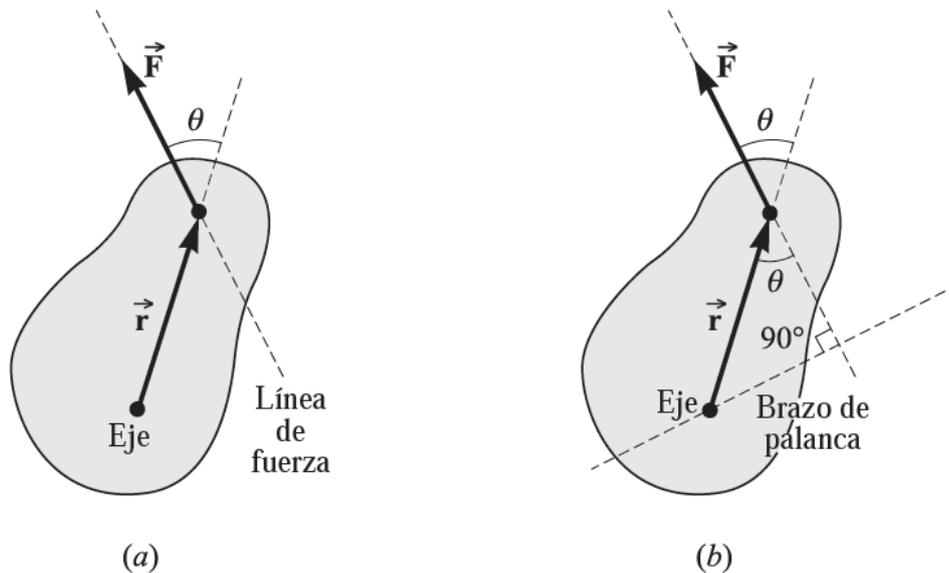


Figura 4-2: Esquema representativo de torque o momento de torsión
Fuente: (Bueche & Hetch, 2007)

2.3.2.1. Par o momento de un motor

Según (Klapper, 2009) el par es la fuerza que producen los cuerpos en rotación, recordemos que el motor produce fuerza en un eje que se encuentra girando. Para medirlo, los ingenieros utilizan un banco o freno dinamométrico que no es más que una instalación en la que el motor puede girar a toda su capacidad conectado mediante un eje a un freno o balanza que lo frena en forma gradual y mide la fuerza con que se está frenando. En conclusión, se puede decir que el torque (par o momento) es la fuerza para girar un objeto. Se pone por ejemplo el caso de un automóvil, el par o momento del motor crea la fuerza (fuerza de impulsión de tracción) para girar las ruedas motrices cuando el vehículo es impulsado y empujado hacia adelante.

Se puede llamar par máximo cuando a un número de revoluciones determinada existe una mayor fuerza de giro realizada por el motor. Cuando se tiene un par máximo bien alto en un motor, se le considera al motor más fuerte. Esto sirve para comparar motores ya que sin importar el tamaño, el tipo, el sistema de encendido o el de inyección, un motor tendrá más fuerza que otro cuando su par máximo sea mayor. La tendencia mundial es lograr motores con el par más alto posible en todas las revoluciones y principalmente al arrancar. Este fenómeno ocasiona que se tenga un motor conocido como motor plano. (Klapper, 2009)

En el caso de las bombas de engranajes externos también se puede obtener el torque en el eje de la bomba. Para encontrar una expresión que nos permita calcular el valor del torque en el eje de la bomba, se considera que, así como en cualquier máquina ideal, para una bomba de engranajes ideal donde su eficiencia es igual a uno, igualando la expresión de la fórmula de la eficiencia se tiene que la potencia transmitida al fluido es igual a la potencia mecánica en el eje, de donde se obtiene la expresión con la que se calcula el torque en el eje de la bomba.

$$\tau = \frac{Q_p \cdot p}{w_p} \quad (17)$$

Donde Q_p es el caudal en l/min, p presión en bar y w_p la velocidad angular del eje de la bomba en radianes por cada unidad de segundo.

2.3.3. Potencia

Es la cantidad de trabajo que se efectúa por unidad de tiempo. Esto equivale a la velocidad de cambio de energía en un sistema o al tiempo que se emplea para realizar un trabajo. Por otra parte, la potencia mecánica es aquel trabajo que realiza una máquina en un cierto periodo de tiempo. Es decir que se trata de la potencia transmitida a través de la acción de fuerzas físicas de contacto o elementos mecánicos relacionados como palancas y engranajes. En cuanto a las unidades de potencia, pueden reconocerse cuatro grandes sistemas. El sistema internacional, cuya unidad más frecuente es el vatio o el watt y sus múltiplos (kilovatio, megavatio, etc.), aunque también puede utilizar combinaciones equivalentes como el volt-ampere; el sistema inglés, que mide por caballo de fuerza métrico, el técnico de unidades que se basa en la caloría internacional por segundo. La potencia es la relación que existe entre el trabajo realizado por una fuerza y el tiempo empleado en realizarlo. (USCANGA, 2012)

$$Potencia = \frac{Trabajo}{Tiempo}$$

En hidráulica la fuerza se aplica por medio de una superficie y originamos una presión, por lo tanto, la potencia hidráulica es el producto de la presión por la superficie por el espacio (equivalente al trabajo hidráulico) dividido por el tiempo.

$$Potencia = \frac{(Presión \times Superficie) \times Espacio}{Tiempo}$$

Sabemos que:

$$Caudal = \frac{Superficie \times Espacio}{Tiempo} = \frac{Volumen}{Tiempo}$$

Resumiendo, tenemos que la potencia es igual al caudal por la presión, teniendo en cuenta las unidades y su conversión tendremos que:

$$P (Kw) = \frac{Q[\frac{l}{min}] \times P[bar]}{600} \quad (18)$$

2.3.4. Eficiencia o rendimiento de una bomba hidráulica

La eficiencia total de una bomba hidráulica se obtiene al dividir la potencia hidráulica entregada por la bomba sobre la potencia eléctrica que se le entrega a la bomba. Cabe mencionar que la potencia que una bomba de engranajes consume es difícil de predecir ya que la misma está en función de la calidad del fluido y suele estar afectada con la degradación del mismo (Frith R., 1996), por lo que adicionalmente se debe realizar una comparación de la potencia adquirida con un fluido en estado óptimo y con un fluido degradado.

Dentro de las bombas de engranajes existe además una eficiencia volumétrica, la fricción de las partes móviles de la bomba y la pérdida de energía del fluido existente en el interior de cada bomba que se las debe considerar en el cálculo de la eficiencia total. También se debe considerar el diseño de la bomba ya que depende de eso también el obtener una eficiencia alta de trabajo.

2.3.4.1. Eficiencia mecánica en una bomba hidráulica

Es la relación entre la potencia obtenida y la potencia teórica. Es decir, en una bomba según los cálculos es posible obtener cierta potencia, sin embargo, en la práctica, por diversas variables (fricción, cambios bruscos de dirección, tipo de combustible) se pierde potencia y únicamente se tendrá un porcentaje de la potencia teórica. La eficiencia mecánica está dada

por la fórmula:

$$n_m = \frac{P_e}{P_t} \% \quad (19)$$

Donde, n_m es eficiencia mecánica, P_e la potencia real y P_t la potencia teórica, las dos potencias en watts.

2.3.4.2. *Eficiencia volumétrica.*

La eficiencia volumétrica es el porcentaje de flujo que se tiene disponible para realizar un trabajo, respecto al flujo teórico que por construcción dicha bomba debería suministrar. En otras palabras, es una medida de las pérdidas en volumen debidas a fugas internas de la bomba hidráulica y se calcula dividiendo el caudal actual que entrega la bomba en litros o galones por minuto, entre el caudal teórico que por construcción la bomba debería entregar y se expresa en porcentaje. El caudal actual de la bomba se mide utilizando un medidor de flujo o bien vaciando la entrega de la bomba en un recipiente y midiendo el tiempo de llenado y el volumen correspondiente.

Debido a que las fugas internas se incrementan conforme se incrementa la presión de operación y conforme disminuye la viscosidad del fluido, estas variables deben ser establecidas cuando se documenta la eficiencia volumétrica.

Conforme una bomba hidráulica se va desgastando por estar en servicio, se incrementan las fugas internas y por lo tanto la cantidad de flujo útil disponible para realizar un trabajo, disminuye. Si el valor de eficiencia volumétrica disminuye por debajo de un valor considerado como aceptable, deberá hacerse una revisión completa de los componentes de la bomba. Al momento de tener que decidir si se tiene que realizar una revisión general a una bomba hidráulica, el número importante a considerar es la eficiencia volumétrica, medida está calibrando la bomba al 100% de su desplazamiento.

La eficiencia volumétrica de la bomba de engranajes corresponde a la siguiente fórmula:

$$n_V = \frac{Q_e}{Q_T} \% \quad (20)$$

Donde, n_v es eficiencia volumétrica,

Q_e el caudal efectivo y

Q_T el caudal teórico, los dos caudales en l/min.

2.4. Curvas características de la bomba de engranaje

Las curvas características de una bomba hidráulica es la representación gráfica de su funcionamiento. Las curvas son obtenidas a través de ensayos realizados en bancos de pruebas donde a través de instrumentos especializados se obtienen mediciones de las variables y parámetros físicos necesarios para construir una curva característica de la bomba. Por lo general las curvas proporcionadas por los fabricantes son encontradas a velocidades de rotación o presión constante. Del estudio de las curvas características de una bomba de engranajes externos se tiene un diagnóstico de funcionamiento del equipo, proporciona también el encontrar un punto óptimo de funcionamiento, considerándose siempre los requerimientos de instalación.

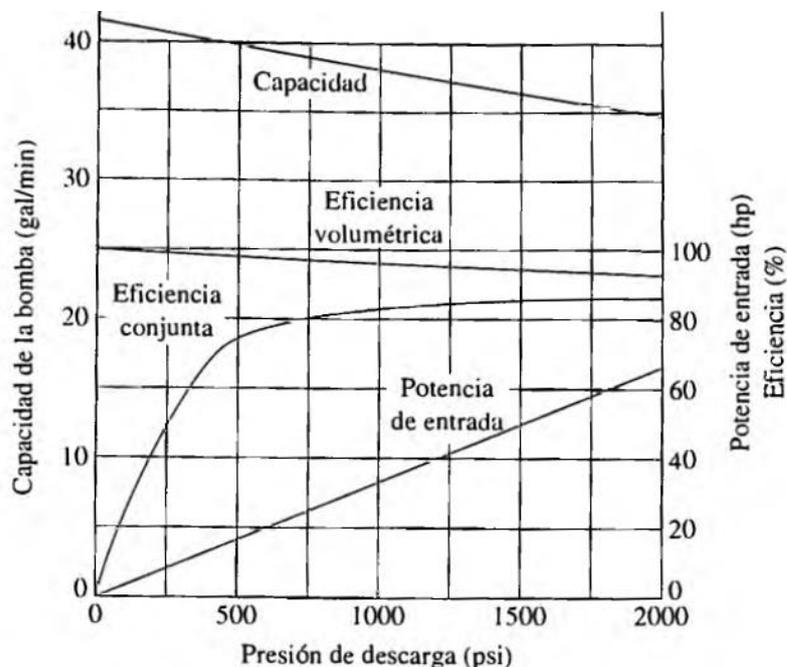


Gráfico 2-2: Curva característica de funcionamiento para una bomba rotatoria de desplazamiento positivo

Fuente: (Mott, 2006)

La curva característica o curva H-Q de una turbomáquina revela que la bomba solo puede alcanzar una altura (presión) máxima que, según la ecuación de Euler, depende de la forma del rodete. Mientras que, por ejemplo, en una bomba de émbolo, ocurre lo contrario. Teóricamente, el caudal no dependerá de la resistencia en la tubería de impulsión que se reflejará en un aumento de la presión que reine en el cilindro, ya que, dada una velocidad del émbolo, el desplazamiento será el mismo y el caudal también. Además, si las paredes del émbolo son suficientemente robustas, y el motor de accionamiento es suficientemente potente, la bomba proporcionará toda la presión que se le pide. Teóricamente la curva H-Q de una bomba de desplazamiento positivo será una paralela al eje H.

La representación se realiza en un sistema de ejes coordenados cartesianos, y como parámetros las entidades que entran en juego en el fenómeno físico, y definiendo las escalas convenientes de éstas, se anotan sus magnitudes. Cada punto de las curvas características es un punto de funcionamiento de la máquina, de tal manera que aquellas podrían ser definidas como “el lugar geométrico de los puntos en que puede funcionar una máquina hidráulica”. (USCANGA, 2012)

Las curvas características de una bomba rotativa son similares a las de las bombas alternativas. Normalmente, se especifica una presión límite, por encima de la que el rendimiento de la bomba cae rápidamente. La desviación de la característica respecto de la línea horizontal se explica por la disminución del rendimiento volumétrico al aumentar la presión. Todas las bombas rotatorias se pueden regular variando el régimen de giro y derivando el fluido de la impulsión a la aspiración.

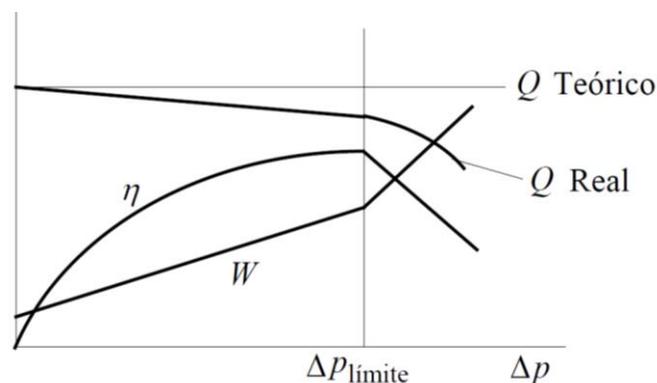


Figura 5-2: Curvas características típicas de una bomba hidráulica rotatoria de engranajes
Fuente: (Zamora Parra & Viedma Robles, 2016)

2.5. Adquisición de datos de señales físicas del sistema

El sistema de adquisición de datos se utiliza para medir y registrar señales obtenidas básicamente de dos maneras: a) aquellas que se originan a partir de la medición directa de cantidades eléctricas, que pueden incluir voltajes de CD y CA, frecuencia o resistencia; suelen hallarse en las áreas de prueba de componentes electrónicos, estudios ambientales y trabajos de control de calidad. b) Señales que se originan a partir de transductores, como galgas extensiométricas y termopares. En todo sistema de control es esencial que los dispositivos que actúan como elementos integrables del mismo, ofrezcan un nivel de seguridad que permita garantizar el desarrollo completo del proceso en ejecución.

Para adquirir los datos de las señales físicas de un sistema oleohidráulico es importante saber que el mismo consta con una gran cantidad de elementos, por lo general en un sistema oleohidráulico se cuentan con dos, tres o más actuadores de cilindro hidráulico sincronizados, por lo que siempre va a ser necesario contar con un banco de pruebas (Custodio, 2013) y un sistema de control reconfigurable que simulé situaciones que se encuentra en la industria.

Todo esto impulsa a realizar una investigación acerca del desarrollo de un sistema, conveniente para las operaciones de sistemas oleohidráulicos (Liu Hui*, 2008) donde lo principal es determinar el comportamiento de la bomba hidráulica, obteniendo sus curvas características de funcionamiento. Para obtener las curvas características de una bomba hidráulica se requiere adquirir datos de los principales parámetros físicos del sistema tomados de un banco de pruebas que necesariamente debe contar con los siguientes requerimientos.

- Unidad de poder hidráulica, se encarga de suministrar el fluido de forma continua y a un caudal establecido.
- Variador de velocidad, permite varias las revoluciones de la bomba para obtener su comportamiento a distintos rpm.
- Medidor de caudal, para determinar exactamente el caudal que fluye por el sistema y compararlo con el caudal teórico.

- Medidor de presión, determina la presión del sistema hidráulico.
- Medidor de temperatura, debido a que los ensayos se deben realizar con las mismas propiedades del fluido es importante monitorear la temperatura del mismo.

2.5.1. Instrumentos y equipos utilizados para la adquisición de datos

Los instrumentos utilizados para adquisición de datos se clasifican en dos clases principales: analógicos y digitales. Los sistemas analógicos tratan en forma analógica la información de mediciones. Un sistema analógico se puede definir como una función continua, como una gráfica de voltaje contra tiempo, o desplazamiento contra presión. Los sistemas digitales manejan la información en forma digital. Una cantidad digital puede consistir en un número de pulsos discretos y discontinuos cuya relación de tiempo contiene información referente a la magnitud o naturaleza de la cantidad. Por lo general el principal equipo para adquisición de datos son los sensores.

Un sensor o captador es un dispositivo diseñado para detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser: fuerza, presión, torsión, temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, humedad, movimiento, etc. Una magnitud eléctrica puede ser una resistencia eléctrica, capacidad eléctrica, tensión eléctrica o una corriente eléctrica, etc.

Un sensor no es lo mismo que un transductor la diferencia se encuentra en que el sensor está siempre en contacto con la variable de instrumentación con lo que puede decirse también que es un dispositivo que aprovecha una de sus propiedades con el fin de adaptar la señal que mide para que la pueda interpretar otro dispositivo. Como por ejemplo el termómetro de mercurio que aprovecha la propiedad que posee el mercurio de dilatarse o contraerse por la acción de la temperatura. (Realpe, 2013). Un sensor ideal sería aquel en que la relación entre la magnitud de salida y la magnitud de entrada fuese estrictamente proporcional y de respuesta instantánea e idéntica para todos los elementos de un mismo tipo. Sin embargo, la respuesta real de los sensores nunca es del todo lineal, tiene un campo limitado de validez, suele estar afectada por perturbaciones del entorno exterior y

tiene un cierto retardo a la respuesta. Todo ello hace que la relación salida / entrada deba expresarse por una curva, o mejor por una familia de curvas, para sensores de un mismo tipo y modelo. (Proton, 2009).

Para determinar el comportamiento real de los sensores se suelen comparar éstos con un modelo ideal de comportamiento o con un transductor patrón y se define una serie de características que ponen de manifiesto las desviaciones respecto ha dicho modelo. Mencionadas características pueden agruparse en dos grandes bloques: Características estáticas y dinámicas.

Por la gran variedad y tipo de sensores describir a todos requeriría de mucho tiempo, por lo que a continuación se describen el tipo de sensores que se utilizaran para medir las variables.

2.5.1.1. *Sensor de caudal*

En el mercado existen una gran variedad de medidores, tanto desde el punto de vista de tamaños y rangos de operación como principios para la mayor cantidad de aplicaciones. Los medidores de caudal se utilizan para estimar el gasto en determinada sección de la tubería, y se clasifican como medidores volumétricos y másicos, teniendo en cuenta que ambos pueden servir parar la misma aplicación, ya que volumen y masa son proporcionales entre sí.

El principio de funcionamiento es el fenómeno físico en que se basa el medidor, y es una característica de diseño. Para los medidores de caudal volumétricos, los principales sistemas son presión diferencial, área variable, velocidad, tensión inducida, desplazamiento positivo y vórtice. Para los másicos se deben destacar el sistema térmico y el sistema basado en la fuerza de colicolis. La gran cantidad de teorías y modelos de caudalímetros que existen nos confirman que no hay ninguna fórmula ideal para medir caudal. La decisión final se debe tomar en base al caudal, viscosidad, temperatura, compasión química y presión del fluido que deseamos medir. Cada aplicación tiene un caudalímetro que se adapta mejor a la necesidad que se tenga. Existen varios tipos de sensores para medir el caudal, el que utilizaremos para este proyecto se explica a continuación.

Sensor de caudal de paletas. En la mayoría de las aplicaciones de proceso y de ingeniería de instalación en los fluidos líquidos o gaseosos, son utilizados para aplicaciones de monitoreo, los sensores están previstos de una salida de pulsos de voltaje en corriente continua proporcional al caudal del fluido. Los pulsos de salida de 4.5 a 12V son fácilmente integrables en la mayoría de los dispositivos de entrada de pulsos. Este sensor se encuentra perpendicular al flujo, la frecuencia del pulso de salida es proporcional al caudal del fluido.

2.5.1.2. *Sensor de presión*

Los sensores de presión se instalan en los diferentes sistemas como son calefacción, refrigeración o ventilación. Miden la presión en una determinada ubicación dentro de un sistema, y convierten esta medida en una señal que podrá leer un instrumento, por ejemplo, resistencia, inductancia o capacitancia. Existen ocasiones, que la señal se utiliza de manera directa, para medir y ajustar. Como alternativa, el sensor se puede conectar a un transmisor que convertirá la señal en una tensión variable o señal de intensidad, 0-10 V ó 4-20 mA respectivamente, Estos rangos de señal son empleados por una amplia variedad de sensores de presión.

El control de la presión en los procesos industriales da condiciones de operación seguras. Cualquier recipiente o tubería posee cierta presión máxima de operación y de seguridad variando éste, de acuerdo con el material y la construcción. Las presiones excesivas no solo pueden provocar la destrucción del equipo, si no también puede provocar la destrucción de equipo adyacente. Por lo tanto, la presión puede llegar a tener efectos directos o indirectos en el valor de las variables de proceso.

2.5.1.3. *Sensor de temperatura*

Los sensores de temperatura son dispositivos que transforman los cambios de temperatura en cambios en señales eléctricas que son procesados por equipo eléctrico o electrónico. El sensor de temperatura, típicamente suele estar formado por el elemento sensor, de cualquiera de los tipos anteriores, la vaina que lo envuelve y que está rellena de un material muy conductor de la temperatura, para que los cambios se transmitan rápidamente al elemento sensor y del cable al que se conectarán el equipo electrónico.

En la actualidad hay muchas formas de medir la temperatura con todo tipo de sensores de diversas naturalezas. La ingeniería de control de procesos ha inventado, perfeccionado e innovado a la hora de disponer de sensores que les ayuden a controlar los cambios de temperatura en procesos industriales. Entre los sensores más comunes empleados para medir temperatura con instrumentación electrónica se tienen: RTDs, termistores, sensores de circuito integrado (IC) y termocuplas. (Bausá Aragonés, et al., 2013)

Termocuplas. - El funcionamiento de una termocupla se basa en el principio físico de la unión de dos alambres de metales diferentes que produce una diferencia de potencial en los dos extremos que no se encuentran en contacto que es función de la temperatura a la cual se encuentra la unión. Este principio se llama efecto Seebeck, en memoria a Thomas Seebeck quien lo descubrió en 1821. El voltaje producido en la unión es no lineal con respecto a la temperatura, bastante pequeño (del orden de los milivoltios). Una diferencia fundamental entre los sensores de temperatura mencionados anteriormente y la termocupla es la necesidad que se tiene de una referencia para hacer mediciones absolutas con ella.

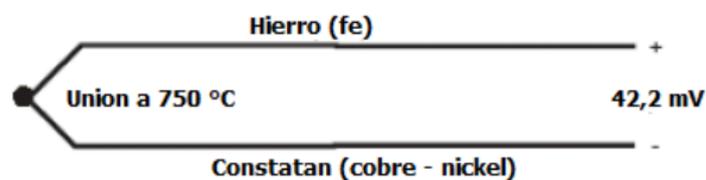


Figura 6-2: Esquema de una termocupla

Fuente: (Bausá Aragonés, et al., 2013)

Tipos de termocuplas

Existen varios tipos de termocuplas. Ellas se identifican mediante letras mayúsculas que indican su composición de acuerdo a las convenciones establecidas por el American National Standards Institute (ANSI).

Las termocuplas tipo J se usan principalmente en la industria del plástico, goma y fundición de metales a bajas temperatura. La termocupla tipo K se usa típicamente en fundición y hornos a temperaturas menores de 1300 °C. Mientras que otros tipos de termocuplas se utilizan en industria siderúrgica a excepción del tipo T que antes eran usadas en la industria de alimentos.

Tabla 4-2: Tipos de termocuplas

Tipo	Denominación	Composición y símbolo	Rango de temperaturas (1)	Diámetro del alambre apropiado (2)	F.e.m en mV (3)
B	Platino-rodio 30% vs platino-rodio 6%	PtRh 30% - PtRh 6%	0 ... 1.500(1800)	0.35 y 0.5 mm	0 ... 10.094(13.585)
R	Platino-rodio 13% vs platino	PtRh 13% Pt	0 ... 1.400(1700)	0.35 y 0.5 mm	0 ... 16.035(20.215)
S	Platino-rodio 10% vs platino	PtRh 10% Pt	0 ... 1.300(1600)	0.35 y 0.5 mm	0 ... 13.155(15.576)
J	Hierro vs constatan	Fe-CuNi	-200... 700 (900) -200... 600 (800)	3 mm 1 mm	-7.89... 39.130 (51.875) -7.89... 33.096 (45.498)
K	Níquel-cromo vs níquel (chromel vs alumel)	NiCr-Ni	0... 1000 (1300) 0... 900 (1200)	3 o 2 mm 1.38 mm	0... 41.269 (52.398) 0... 37.325 (48.828)
T	Cobre vs constatan	Cu-CuNi	-200... 700 (900)	0.5 mm	-5.60... 14.86 (20.86)
E	Níquel-cromo vs constatan (chromel vs constatan)	NiCr-CuNi	-200... 600 (800)	3 mm	-9.83... 53.11 (68.78) -8.83... 45.086 (61.02)

Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

Fuente: (Bausá Aragonés, et al., 2013)

2.5.1.4. Variador de frecuencia

Tanto en la industria, como en aplicaciones específicas, es común encontrarse con la necesidad de variar la velocidad de un motor en forma continua y manteniendo el torque en el eje. También en ocasiones es necesario proporcionar a los motores un arranque suave y gradual. Para ello se idearon gran cantidad de motores específicos y equipos de regulación que permitan satisfacer estas necesidades. Entre los más comunes en uso, se encuentran los motores de corriente continua controlados mediante la tensión del inducido y los motores asincrónicos trifásicos controlados mediante la variación de frecuencia. Los motores de continua tienen las desventajas de ser más caros, voluminosos y necesitar mayor mantenimiento debido a que utilizan carbones. Por lo expuesto anteriormente y por el amplio desarrollo de dispositivos de estado sólido que permiten conmutar grandes corrientes a tensiones industriales, se popularizó el uso de variadores de frecuencia para motores asincrónicos. Dado que aún hoy, los equipos disponibles en el mercado son de costo relativamente elevado, motiva nuestro esfuerzo y dedicación al desarrollo de variadores de frecuencia para pequeños motores. (Marder, et al., 2006)

Se trata de dispositivos electrónicos, que permiten el control completo de motores eléctricos de inducción, los de corriente continua (variación de la tensión), y de corriente alterna (variación de la frecuencia); los más utilizados son los de motor trifásico de inducción y rotor sin bobinar (jaula de ardilla). También se les suele dominar inversores (invertir) o variadores de velocidad. (Sevillano Calvo, 2010-2011)

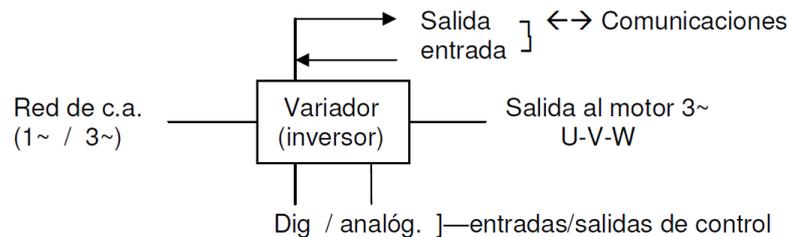


Figura 7-2: Esquema de un variador de frecuencia

Fuente: (Sevillano Calvo, 2010-2011)

Red de suministro. Es una acometida de corriente alterna (ca) monofásica en aparatos para motores pequeños de hasta 1,5 kw, y trifásica, para motores de más potencia, hasta valores de 630 kw o más.

Entradas y salidas (E/S o I/O). Son diferentes conexiones de entradas y salidas de control; pueden ser digitales tipo todo o nada (contactos, pulsadores, conmutadores, contactos de relé...) o analógicas mediante valores de tensión (0...10 V o similares) e intensidad (4...20 mA o similares). Además, puede incluir terminales de alarma, avería, etc.

Comunicaciones. Estos dispositivos pueden integrarse en redes industriales, por lo que disponen de un puerto de comunicaciones, por ejemplo, RS-232, RS-485, red LAN, buses industriales (Profibus...) o conexiones tipo RJ-45 o USB para terminales externos y ordenadores. Cada fabricante facilita el software de control, directo o mediante bus de comunicaciones. Que permitirá el control, programación y monitorización del variador (o variadores) en el conjunto de aparatos de control empleados.

Salida: conexión al motor, generalmente de tres hilos (U-V-W) para conexión directa en triángulo o estrella según la tensión del motor.

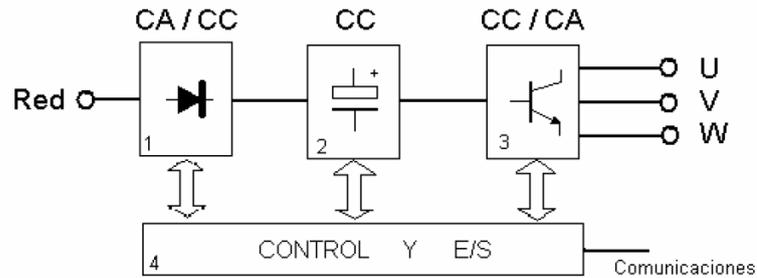


Figura 8-2: Diagrama en bloques de un variador

Fuente: (Sevillano Calvo, 2010-2011)

1.- Rectificador: partiendo de la red de suministro de corriente alterna monofásica o trifásica, se obtiene c.c. mediante diodos rectificadores.

2.- Bus de continua: condensadores de gran capacidad (y a veces también bobinas), almacenan y filtran la c.c. rectificada, para obtener un valor de tensión continua estable, y reserva de energía suficiente para proporcionar la intensidad requerida por el motor.

3.- Etapa de salida: desde la tensión del bus de continua, un ondulator convierte esta energía en una salida trifásica, con valores de tensión, intensidad y frecuencia de salida variables. Como elementos de conmutación, se usan principalmente transistores bipolares (BJT), CMOS o similares, IGBT, tiristores (SCR), GTO... etc. Las señales de salida, se obtiene por diversos procedimientos como *troceado*, mediante ciclo convertidores, o señales de aproximación senoidal mediante modulación por anchura de impulsos PWM.

4.- Control y E/S: circuitos de control de los diferentes bloques del variador, protección, regulación... y entradas y salidas, tanto analógicas como digitales. Además, se incluye el interfaz de comunicaciones con buses u otros dispositivos de control y usuario. (Sevillano Calvo, 2010-2011)

2.5.1.5. Tarjetas de adquisición de datos

Arduino. Son pequeñas tarjetas que permiten el montaje de prototipos electrónicos en la cual está incluido un pequeño procesador el cual puede programarse muy fácilmente. Fue desarrollado en Italia como un proyecto para estudiantes en el Instituto IVREA, esta plataforma fue creada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios y minimizar los costos de estos.

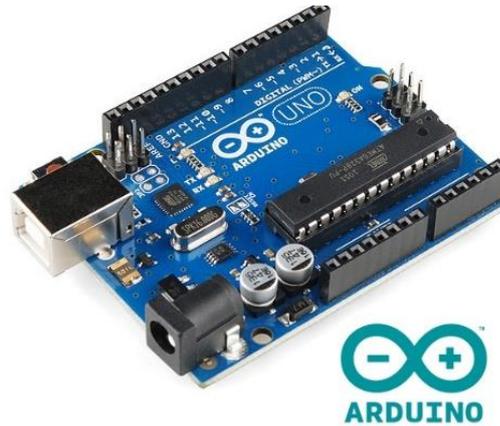


Figura 9-2: Arduino UNO

Fuente: (ARDUINO, 2017)

Raspberry Pi. Las Raspberry Pi es una pequeña computadora completamente funcional, a la que se le puede conectar un teclado un mouse y un monitor, fue desarrollada en Reino Unido por la fundación Raspberry Pi. Es capaz de hacer todo lo que se espera de una computadora de escritorio, desde navegar en internet y reproducir videos en alta definición, realizar hojas de cálculos, etc. Fue creada para personas de todas las edades principalmente niños aprenda y se adentren en el campo de la programación y entender cómo funcionan los ordenadores.



Figura 10-2: Raspberry Pi

Fuente: (adafruit, 2017)

2.6. Monitoreo de sistemas hidráulicos

2.6.1. *Concepto de monitoreo*

Según (Definicion.de, 2013), monitoreo es un término no incluido en el diccionario de la Real Academia Española (RAE). Su origen se encuentra en monitor, un aparato que toma imágenes de instalaciones filmadoras o sensores y que permite visualizar algo en una

pantalla. El monitor, por lo tanto, ayuda a controlar o supervisar una situación. Esto nos permite inferir que monitoreo es la acción y efecto de monitorear, el verbo que se utiliza para nombrar a la supervisión o el control realizado a través de un monitor. Por extensión, el monitoreo es cualquier acción de este tipo, más allá de la utilización de un monitor.

Partiendo desde la funcionalidad, manejo y punto de vista de diseño de interfaces, los sistemas de monitoreo y control de procesos que en la actualidad más se aplican son los que contienen un sistema SCADA y los sistemas de monitoreo donde su principal aliado es el internet.

2.6.2. *Monitoreo a través de un sistema SCADA*

Los sistemas SCADA se conocen en español como Control Supervisor y Adquisición de Datos. Según (Rodríguez Penin, 2008), el SCADA permite la gestión y control de cualquier sistema local o remoto gracias a una interfaz gráfica que comunica al usuario con el sistema. Un sistema SCADA es una aplicación o conjunto de aplicaciones de software especialmente diseñadas para funcionar sobre ordenadores de control de producción, con acceso a la planta mediante la comunicación digital con instrumentos y actuadores, e interfaz gráfica de alto nivel para el operador (pantallas táctiles, ratones o cursores, lápices ópticos, etc.). Aunque inicialmente sólo era un programa que permitía la supervisión y adquisición de datos en procesos de control, en los últimos tiempos ha surgido una serie de productos de hardware y buses especialmente diseñados o adaptados para este tipo de sistemas. La interconexión de los sistemas SCADA también es propia, y se realiza mediante una interfaz del PC a la planta centralizada, cerrando el lazo sobre el ordenador principal de supervisión.

El sistema permite comunicarse con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, sistemas de dosificación, etc.) para controlar el proceso en forma automática desde la pantalla del ordenador que es configurada por el usuario y puede ser modificada con facilidad. Además, provee a diversos usuarios de toda la información que se genera en el proceso productivo. Los SCADA se utilizan en el control de oleoductos, sistemas de transmisión de energía eléctrica, yacimientos de gas y petróleo, redes de distribución de gas natural y generación energética (convencional y nuclear). (Pérez López, 2015)

2.6.2.1. Características de un Sistema SCADA

(Bailey Beng & Wright, 2003) mencionan que un SCADA abarca la recolección de la información y la transferencia de datos al sitio central, llevando a cabo el análisis y el control necesario, para luego mostrar la información sobre una serie de pantallas de operador y de esta manera permitir la interacción, cuando las acciones de control requeridas se transportan de nuevo al proceso.

Según Gómez, Reyes y Guzmán del Río (2008), en su función de sistemas de control, los SCADA ofrecen una nueva característica de automatización que realmente pocos sistemas tienen: la de supervisión.

Existen muchos y muy variados sistemas de control y todos, si se aplican bien, ofrecen soluciones óptimas en entornos industriales. Lo que hace de los sistemas SCADA una herramienta diferenciada es la característica de control supervisado. De hecho, la parte de control está definida y supeditada por el proceso que se desea controlar y, en última instancia, por el *hardware* e instrumental de control (PLC, controladores lógicos, armarios de control) o los algoritmos lógicos de control aplicados sobre la planta que puede existir previamente a la implantación del SCADA que se instalará sobre y en función de estos sistemas de control.

En consecuencia, el operador supervisa el control de la planta y no solo monitorea las variables que en un momento determinado están actuando sobre la planta; esto significa que puede actuar y modificar las variables de control en tiempo real, algo que pocos sistemas permiten con la facilidad intuitiva que ofrecen los sistemas SCADA.

Se puede definir la palabra *supervisar* cómo ejercer la inspección superior en determinados casos, ver con atención o cuidado y someter una cosa a un nuevo examen para corregirla o repararla permitiendo una acción sobre la cosa supervisada. La labor del supervisor representa una tarea delicada y esencial desde el punto de vista normativo y operativo. De esta acción depende en gran medida el poder garantizar la calidad y eficiencia del proceso. En el supervisor descansa la responsabilidad de orientar o corregir las acciones que se desarrollan. Por lo tanto, la toma de decisiones sobre las acciones de control está en manos del supervisor que en el caso de SCADA es el operario.

Esto diferencia notablemente a SCADA de los sistemas clásicos de automatización, en los que las variables de control están distribuidas sobre los controladores electrónicos de la planta. Eso dificulta mucho las variaciones en el proceso, ya que una vez implementados, estos sistemas no permiten un control óptimo en tiempo real.

La función de monitoreo de estos sistemas se realiza sobre un computador industrial, ofreciendo una visión de los parámetros de control sobre la pantalla de ordenador, lo que se denomina un HMI (Human Machine Interface), como en SCADA, pero solo ofrecen una función complementaria de monitorización: observar mediante aparatos especiales el curso de uno o varios parámetros fisiológicos o de otra naturaleza para detectar posibles anomalías. Es decir, los sistemas de automatización de interfaz gráfica tipo HMI básicos ofrecen una gestión de alarmas básica, mediante las cuales la única opción que le queda al operario es realizar una parada de emergencia, reparar o compensar la anomalía y hacer un *reset*. Esto les otorga una gran flexibilidad. En definitiva, el modo supervisor del HMI de un SCADA no solo señala los problemas, sino que, lo más importante, orienta en cuanto a los procedimientos para solucionarlos.

A menudo, las palabras SCADA y HMI inducen a cierta confusión. Cierto es que todos los sistemas SCADA ofrecen una interfaz gráfica PC-Operario tipo HMI, pero no todos los sistemas de automatización que tienen HMI son SCADA. La diferencia radica en la función de supervisión que pueden realizar estos últimos a través del HMI.

Según Gómez et al. (2008), las características principales de un SCADA son las siguientes:

- Adquisición y almacenado de datos para recoger, procesar y almacenar la información recibida en forma continua y confiable.
- Representación gráfica y animada de variables de proceso y su monitorización por medio de alarmas.
- Ejecutar acciones de control para modificar la evolución del proceso, actuando ya sea sobre los reguladores autónomos básicos (consignas, alarmas, menús, etc.) o directamente sobre el proceso mediante las salidas conectadas.

- Arquitectura abierta y flexible con capacidad de ampliación y adaptación.
- Conectividad con otras aplicaciones y bases de datos, locales o distribuidas en redes de comunicación.
- Supervisión, para observar desde un monitor la evolución de las variables de control.
- Transmisión de información con dispositivos de campo y otros PC.
- Base de datos, gestión de datos con bajos tiempos de acceso.
- Presentación, representación gráfica de los datos. Interfaz del Operador o HMI.
- Explotación de los datos adquiridos para gestión de la calidad, control estadístico, gestión de la producción y gestión administrativa y financiera.
- Alertar al operador sobre los cambios detectados en la planta, tanto aquellos que no se consideren normales (alarmas) como los que se produzcan en su operación diaria (eventos). Estos cambios son almacenados en el sistema para su posterior análisis.

2.6.3. *Monitoreo a través de internet*

En la actualidad es posible que los usuarios predefinidos monitoreen y controlen los procesos de una planta desde cualquier parte del mundo, las 24 horas, los 365 días del año. A través de un sitio web, especialmente diseñado según la necesidad de su empresa, con los respectivos perfiles y password de acceso y almacenamiento en base de datos, que resguarda la seguridad de la información.

Un sistema web es capaz de comunicarse con el dispositivo que maneja el proceso en su planta y éste a su vez puede entregar todas las variables involucradas, como por ejemplo: temperatura, nivel, cantidad de productos producidos, tiempos involucrados, procesos, usos, desconexión, espera, falla, estado de los equipos, dar partida y parada, apertura y cierre, etc.; esta información puede marcar la diferencia en la planificación de la

producción y en la gestión operativa de una industria, ya que permitiría obtener información real del proceso en línea. Esta información, rescatada online desde terreno y sin intervención humana, permite:

- Maximizar el rendimiento de su planta.
- Tener control de lo producido.
- Manejar información online e histórica.
- Realizar programas de mantención preventiva a los equipos.
- Modificar el setpoint de variables.
- Saber cuántas son las materias primas utilizadas, pudiendo así manejar las compras con información exacta.
- Obtener señales de alertas, etc.

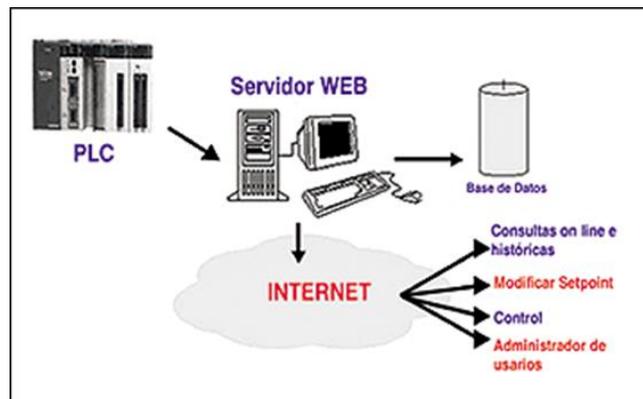


Figura 11-2: Esquema monitoreo a través de internet

Fuente: Autores

Adicionalmente, en un sistema web también es posible graficar condiciones de operación, entre otras variables. A modo de ejemplo, se describe la gráfica de temperatura a través del tiempo, donde se resalta el color rojo, la temperatura que supera el setpoint y su estado de normal pasa a falla.

El sistema por medio de un protocolo es capaz de llevar la información desde el PLC hasta el PC; éste a su vez con un software propietario puede grabar en una base de datos, y si esta información es llevada a un servidor web puede ser mostrada y graficada en internet. La información almacenada en la base de datos puede ser leída desde alguna

aplicación ERP (Enterprise Resource Planning), ayudando así a los módulos de producción, adquisición, bodega, entre otros. Entre otros beneficios, estas herramientas agilizan la cadena de planificación en línea, aseguran niveles continuos de producción y garantizan ahorros significativos al evitar el sobrestock de materias primas. Al utilizar parámetros de medición de los diversos tipos de stock (actual y comprometido) es posible planificar lo más exactamente posible la producción, evitando exceso o falta de materias primas.

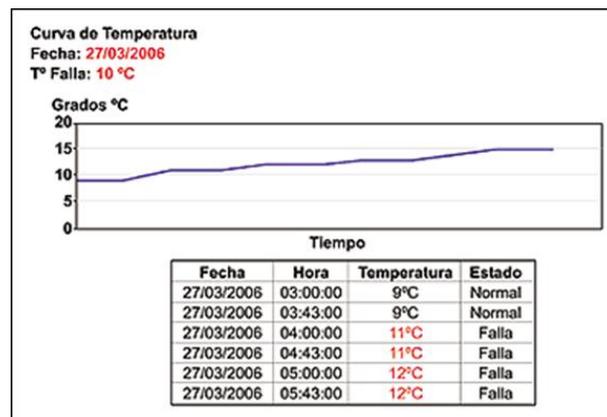


Gráfico 3-2: Monitoreo a través de internet
 Fuente: Autores

Las industrias que han implementado este recurso pueden conocer en tiempo real información clave como cuántos productos han producido, qué materias primas han consumido, ciclos de la máquina, etc.; en resumen, información útil para la planificación de la productividad. Así, las empresas productivas pueden agilizar y optimizar su cadena de producción y brindar una mejor atención a sus clientes.

2.7. Procesamiento y análisis de la información

2.7.1. Concepto de análisis

Según (Definicion.de, 2013), existen tantos tipos de análisis que centrarse en una única definición aplicable en todos los ámbitos resultan muy complicados. A nivel general, puede decirse que un análisis consiste en identificar los componentes de un todo, separarlos y examinarlos para lograr acceder a sus principios más elementales.

2.7.2. *Análisis de las curvas características de la bomba*

Las principales curvas que se obtienen experimentalmente en un banco de pruebas y proporcionadas por el fabricante de una bomba de engranajes son: la curva del caudal (Q) en función de la velocidad de rotación (n) por lo general los valores de esta curva se los obtienen con una viscosidad en el aceite de 36cSt a 50°C; la curva de la potencia absorbida (P) en función de la presión (p) los valores para esta curva son obtenidos a una velocidad de rotación determinada.

Para saber la eficiencia de este tipo de bomba se determina la curva de la eficiencia volumétrica (E) en función del caudal(Q) y la curva de eficiencia (E) en función de la presión (p), estas últimas no están en el catálogo de la bomba por lo que es necesario obtenerlas. El propósito es generar estas curvas a través de la adquisición de datos y un laboratorio remoto para posterior analizar los resultados. Es importante considerar varios factores sobre la generación de las curvas de una bomba hidráulica, en los sistemas oleohidráulicos existen pérdidas que pueden generar medidas no reales. Se tienen tres fuentes de información de datos, los cálculos mediante fórmulas nos brindan valores exactos los cuales nos sirven como punto de partida y referencia para considerar los valores que nos brindan los instrumentos de medición electrónica como los sensores y los instrumentos de medida directa como los manómetros, flujómetros, etc. Las curvas que se encuentren de la obtención de datos serán comparadas con las que nos brinda el catálogo de la bomba realizaremos una comparación y verificaremos su correcto funcionamiento si variamos los parámetros físicos del sistema.

2.8. Laboratorio remoto

Los laboratorios remotos permiten interactuar con equipo real utilizando un acceso remoto desde un computador local a un servidor localizado en un laboratorio físico, en la construcción de este laboratorio remoto y en general se busca mantener el hardware utilizado en su forma más simple y utilizar software de libre acceso a través de Internet. Sin embargo, tal y como se comentó en la introducción, es muy frecuente que los laboratorios permanezcan infrutilizados debido a diversas razones (por ejemplo, horario limitado de acceso al laboratorio, ausencia de personal encargado o mantenimiento del equipamiento en estado inadecuado).

En esta situación, el acceso remoto restringido a un equipamiento real puede consistir en una solución muy interesante si se consigue paliar la ausencia del contacto directo con el equipamiento con tecnología: Webcams, micrófonos, hardware de adquisición de datos, etc. En definitiva, todos aquellos recursos que permitan adquirir información ambiental que pueda ser enviada a través de redes informáticas de tipo Internet y reproducida de forma remota.

2.8.1. *Arquitectura de un laboratorio remoto*

La construcción de un laboratorio remotos es más compleja que la implementación de laboratorios presenciales. Por supuesto, permanece la problemática habitual de los laboratorios presenciales que incluye tanto el diseño de los experimentos como la configuración del equipamiento empleado para permitir realizar el experimento, pero además, se debe construir una infraestructura de acceso remoto que permita integrar la información obtenida a partir de diferentes medios y presentarla dentro de una plataforma amigable, multiplataforma y fácil de configurar como pueden ser los navegadores Web, proporcionando unos parámetros aceptables de calidad de servicio.

Existen diversas soluciones que se ajustan a diferentes niveles de complejidad de los laboratorios remotos. En casos muy sencillos se podrá construir el laboratorio ad hoc, sin embargo, a medida que la aumente la complejidad, los diseñadores se toparán con dificultades que no son fáciles de solventar requiriendo que se construya el laboratorio de forma cuidadosa. Algunos autores proponen un método un método, como ayuda al diseño y desarrollo de los laboratorios remotos, es un enfoque basado en la web buscando utilizar internet como un marco genérico de tecnología estándar ampliamente utilizada a nivel mundial, para que el desarrollo sea adaptable a diversas situaciones.

Dicho enfoque puede ilustrarse en la figura 12-2, donde se muestran diferentes elementos involucrados en los laboratorios remotos. (Calvo, 2008)

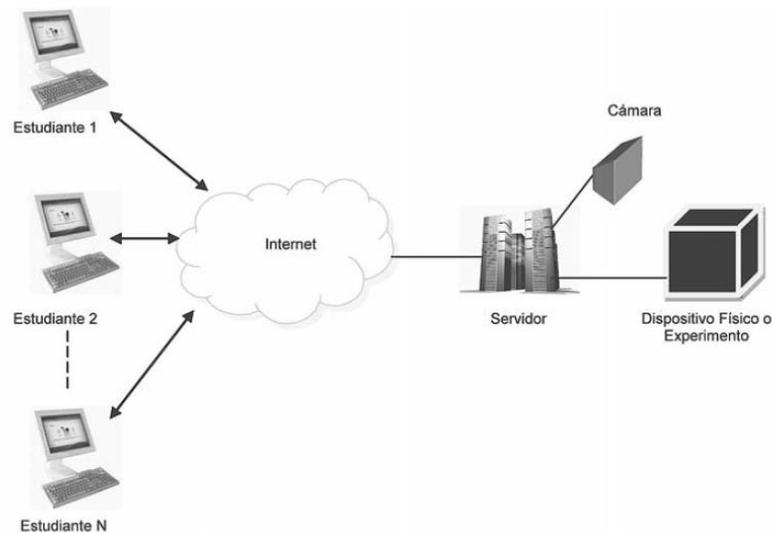


Figura 12-2: Arquitectura de laboratorios remotos
Fuente: (Calvo, 2008)

2.8.2. *Programas para la comunicación remota*

El acceso remoto es, como su nombre se desprende, el acceso a una máquina a la que no se puede acceder de forma física a ella. Sino solamente por medio de una conexión de red. Los instrumentos de entrada/salidas locales tales como pantalla o teclados, se comportan como si estuvieran conectados directamente al ordenador remoto. Esta tecnología está presente desde el comienzo de la computación y que con algunos cambios ha perdurado a lo que hoy en día se lo conoce por Escritorio Remoto. Esta conexión es un bus maestro/esclavo de alta velocidad diseñado para transferir una pequeña cantidad de datos entre el controlador maestro y un máximo de siete controladores (esclavos).

Como se ha visto, la tecnología de acceso remoto ha evolucionado y en vez de solo controlar remotamente al equipo mediante aplicaciones tales como telnet o ssh (al usar una consola al introducir comandos), ahora se logra controlar remotamente y de forma gráfica e interactiva un computador en la red. Actualmente existen diversos tipos de aplicaciones que ofrecen la capacidad de conexión de acceso remoto, los cuales a su vez poseen diferentes tipos de protocolos. Por ejemplo, algunos protocolos usados actualmente son: Protocolo RDP para Windows, Protocolo X-11 para X-Window, Protocolo VNC para Virtual network computing, Protocolo ARD para Mac OS X.

Sin embargo, aunque existen diversos tipos de aplicaciones de escritorio remoto, el modo de funcionamiento de estas aplicaciones es relativamente parecidas entre ellos. Este

consiste en: Primeramente, para efectos de seguridad, el computador remoto debe poseer una contraseña para la conexión. Posteriormente el terminal remoto, debe establecer una conexión con un servidor, a la espera de una solicitud de conexión de parte del terminal local. Cuando el terminal local ingresa la contraseña se inicia la conexión entre los terminales y así la información gráfica que genera el terminal remoto es convertida a un formato propio de la aplicación y enviada a través de la red al terminal local que interpretará la información contenida en el paquete del protocolo para reconstruir la imagen a mostrar en la pantalla del terminal. En nuestro caso para la comunicación remota se utilizaron programas didácticos como Raspbian de la tarjeta Raspberry, Php y Python.

2.8.2.1. *Raspbian*

Es una distribución del sistema operativo GNU/Linux y por lo tanto libre basado en Debian Jessie (Debian 8.0) para la placa computadora (SBC) Raspberry Pi, orientado a la enseñanza de informática. El lanzamiento inicial fue en junio de 2012. Técnicamente el sistema operativo es un port no oficial de Debian armhf para el procesador (CPU) de Raspberry Pi, con soporte optimizado para cálculos en coma flotante por hardware, lo que permite dar más rendimiento en según qué casos. El port fue necesario al no haber versión Debian armhf para la CPU ARMv6 que contiene el Raspberry Pi. La distribución usa LXDE como escritorio y Midori como navegador web. Además, contiene herramientas de desarrollo como IDLE para el lenguaje de programación Python o Scratch, y diferentes ejemplos de juegos usando los módulos Pygame. Destaca también el menú "raspi-config" que permite configurar el sistema operativo sin tener que modificar archivos de configuración manualmente. Entre sus funciones, permite expandir la partición root para que ocupe toda la tarjeta de memoria, configurar el teclado, aplicar overclock, etc. El 17 de diciembre de 2012, junto a la versión 2012-12-16-wheezy-raspbian de Raspbian, se lanzó la tienda de aplicaciones "Pi Store" que en el momento de salida incluía desde aplicaciones como LibreOffice o Asterisk a juegos como Freeciv u OpenTTD. En esta plataforma se puede poner a disposición de todos los usuarios de Raspbian, mediante moderación y posterior lanzamiento, contenidos gratuitos o de pago, como archivos binarios, código python, imágenes, audio o vídeo. Además, se quiere incluir documentación acerca del Raspberry Pi como la revista MagPi y tutoriales de proyectos. Al ser una distribución de GNU/Linux las posibilidades son infinitas. Todo software de código abierto puede ser recompilado en la propia Raspberry Pi para arquitectura armhf

que pueda ser utilizado en el propio dispositivo en caso de que el desarrollador no proporcione una versión ya compilada para esta arquitectura. Además, esta distribución, como la mayoría, contiene repositorios donde el usuario puede descargar multitud de programas como si se tratase de una distribución de GNU/Linux para equipos de escritorio. Todo esto hace de Raspberry Pi un dispositivo que además de servir como placa con un microcontrolador clásico, tenga mucha de la funcionalidad de un ordenador personal. Lo que lo puede convertir en una alternativa a los ordenadores personales, especialmente para personas con pocos recursos, para la extensión de la informática en países subdesarrollados o para aplicaciones que no soliciten muchos requerimientos. (RASPBIAN, 2012)

2.8.2.2. *Python*

Python es un lenguaje de programación interpretado cuya filosofía hace hincapié en una sintaxis que favorezca un código legible. Se trata de un lenguaje de programación multiparadigma, esto significa que más que forzar a los programadores a adoptar un estilo particular de programación, permite varios estilos: programación orientada a objetos, programación imperativa y programación funcional. Otros paradigmas están soportados mediante el uso de extensiones. Ya que soporta orientación a objetos, programación imperativa y, en menor medida, programación funcional. Es un lenguaje interpretado, usa tipado dinámico y es multiplataforma. Es administrado por la Python Software Foundation. Posee una licencia de código abierto, denominada Python Software Foundation License, que es compatible con la Licencia pública general de GNU a partir de la versión 2.1.1, e incompatible en ciertas versiones anteriores.

Python usa tipado dinámico y conteo de referencias para la administración de memoria. Una característica importante de Python es la resolución dinámica de nombres; es decir, lo que enlaza un método y un nombre de variable durante la ejecución del programa (también llamado enlace dinámico de métodos). Otro objetivo del diseño del lenguaje es la facilidad de extensión. Python puede incluirse en aplicaciones que necesitan una interfaz programable. Aunque la programación en Python podría considerarse en algunas situaciones hostil a la programación funcional tradicional del Lisp, existen bastantes analogías entre Python y los lenguajes minimalistas de la familia Lisp como puede ser Scheme. (Knowlton, 2009)

Tras realizar la revisión bibliográfica respecto al monitoreo y análisis de las curvas características de la bomba de engranajes mediante un laboratorio remoto, se concluye lo siguiente:

- A pesar de que la constitución y funcionamiento de las bombas de engranajes no es tan complejo, dichas bombas son utilizadas en diferentes campos por su compactación y trabajos a altas presiones consiguiendo con esto ser un producto potente. Considerando estas características y la disponibilidad en el banco de pruebas oleohidráulico de la facultad se realiza el estudio de esta bomba a través del monitoreo y análisis de sus curvas características por medio de un laboratorio remoto que hará que se implemente un nuevo sistema de estudio y control.
- Se entiende que monitorear es el verbo que se utiliza para nombrar a la supervisión o el control del comportamiento, proceso o funcionamiento de alguna situación, dicha acción es realizada a través de un monitor. Por lo que es importante y necesario involucrarnos en dicho campo más aún que hoy en día existe la tecnología necesaria para conseguir monitorear acciones incluso desde puntos lejanos, logrando que la intervención del humano en algún proceso industrial sea menor y obteniendo un control más eficaz y seguro.
- Las curvas características de una bomba son importantes indicadores que representan gráficamente el funcionamiento de la misma. Las curvas que nos proporcionan el fabricante son las de Caudal (Q) en función de la Potencia (P), la del Caudal (Q) en función del número de revoluciones(n) y la de la Potencia (P) en función del número de revoluciones (n), estas curvas debemos encontrarlas de forma experimental utilizando instrumentación electrónica e industrial considerando y corrigiendo parámetros para que nos brinden datos con un rango de error bajo, y compararlas con las del catálogo. Para validar su correcto funcionamiento se deberá variar algunos parámetros de la bomba y verificar la variación de las curvas.
- Hoy en día la tecnología nos permite interactuar de manera distante en los equipos y procesos industriales, entre otros métodos de monitorear uno de estos es el laboratorio remoto cuya arquitectura a pesar de ser compleja ayuda mucho para la

supervisión y control de una planta, sin embargo, a esto existen desventajas que pueden ser perjudiciales para el equipo y el ser humano esto si no se tiene una instalación y control adecuado. En el caso del monitoreo de un sistema oleohidráulico es importante implementarlo, se conocerá el funcionamiento de una bomba de engranajes a través de la generación de sus curvas características en dicho laboratorio remoto para eso se debe utilizar aparte de la instrumentación electrónica, programas que ayuden a subir los datos adecuadamente a la plataforma remota consiguiendo con esto obtener un mando remoto útil para la facultad.

CAPITULO III

3. ADECUACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS OLEOHIDRÁULICO PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS

El presente capítulo describe la configuración del banco de pruebas oleohidráulico, su estado físico, mecánico y funcional, además se indican las características de todos los elementos que conforman el circuito oleohidráulico. El acondicionamiento y puesta a punto del banco de pruebas para la adquisición de datos se realiza mediante la implementación de instrumentos y sensores tras un previo estudio y selección de cada uno de ellos, para adecuar el banco de pruebas se siguieron pasos de manera sistemática y progresiva, los cuales se detallan en el siguiente diagrama.

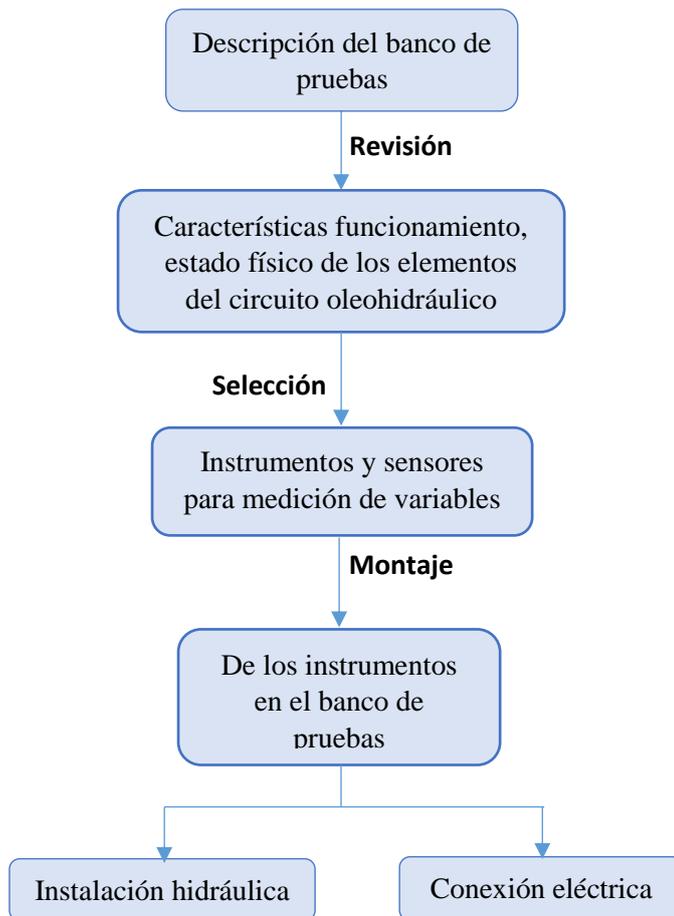


Figura 1-3: Diagrama de bloques proceso adecuación del banco de pruebas
Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

3.1. Descripción del banco de pruebas antes de la adquisición de datos

El banco de pruebas oleohidráulico está conformado por una parte inferior donde se encuentra la central oleohidráulica, es decir, un motor de accionamiento triásico que está conectado a la red eléctrica de 220V, la bomba de engranajes externos que se encuentra acoplada al motor eléctrico, el depósito del fluido, válvula reguladora de presión. El panel superior o principal soporta los componentes y accesorios para dar accionamiento a los actuadores. Todos los componentes antes descritos conforman un circuito oleohidráulico, y la comunicación entre ellos se realiza por medio de mangueras hidráulicas de distintas longitudes que tienen en sus extremos acoples rápidos.

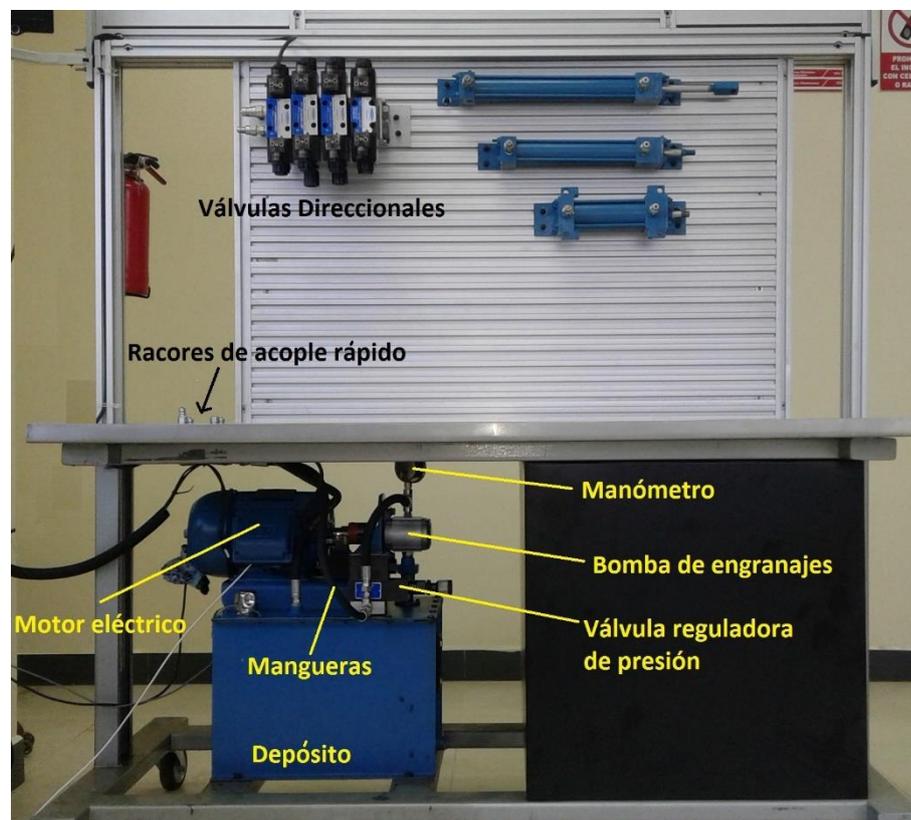


Figura 2-3: Banco de pruebas oleohidráulico

Fuente: Autores

3.2. Características y funcionamiento de los elementos del circuito oleohidráulico

Antes de realizar cualquier intervención en el banco de pruebas se revisó las características de cada elemento que componen el circuito oleohidráulico y su estado de funcionamiento, con el fin de corregir posibles averías en los equipos y accesorios que impidan el correcto funcionamiento del circuito.

3.2.1. Características de la central oleohidráulica

La alimentación del fluido oleohidráulico al circuito se realiza desde la central oleohidráulica, conformada por el motor eléctrico, bomba de engranajes externos, depósito, válvula relief, medidor de presión, válvula de control de alimentación, alimentación de aceite al sistema y retorno de aceite al tanque. (GONZÁLEZ, 2016). Siguiendo el plan de mantenimiento del banco de pruebas oleohidráulico se revisó el funcionamiento de cada elemento de la central oleohidráulica, cuyas características se las detallan a continuación.

3.2.1.1. Fluido oleohidráulico

Básicamente se revisó la cantidad óptima de fluido, guiándonos por el indicador de nivel que se encuentra ubicado en el depósito. El fluido empleado en el circuito oleohidráulico es de tipo ISO 68 según (GONZÁLEZ, 2016) fabricantes del banco de pruebas, el aceite ISO 68 es un aceite lubricante para sistemas hidráulicos que además de usarse en sistemas que emplean bombas de engranajes externos también se emplean en sistemas con bombas de paletas y otras aplicaciones, para los sistemas con bombas de pistones radiales y axiales (Gulf, 2009) recomienda utilizar aceites hidráulicos anti-desgaste.

Tabla 1-3: Propiedades típicas del ISO 68

Grado ISO	Método ASTM	68
Viscosidad @ 40 °C, cSt	D-445	68 (+/- 5%)
Viscosidad @ 100 °C, cSt	D-445	Reportar
Índice de Viscosidad	D-2270	Mín. 90
Punto de inflamación, °C	D-92	Mín. 195
Punto de congelación, °C	D-97	-12
Separación del agua, Minutos	D-1401	30 mín. a 54°C

Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

Fuente: (Gulf, 2009)

3.2.1.2. Motor eléctrico

El motor eléctrico implementado en el banco de pruebas oleohidráulico era de un motor trifásico de 2 HP de potencia, el cual se consideró cambiarlo por un motor de mayor potencia tras un previo análisis sobre el caudal y potencia que genera la bomba de engranajes externos.

Se decidió incorporar al sistema un motor eléctrico trifásico de 3 HP de potencia, con alimentación eléctrica de 220 voltios y una velocidad nominal de 1720 rpm (Anexo A). El motor eléctrico Weg tiene sus eficiencias declaradas de acuerdo con la norma IEC 60034-2-1:2014 con pérdidas suplementares siendo determinadas directamente por medición, por lo que sus eficiencias se mantienen prácticamente constantes en el rango de 75% hasta 100% de carga.

Tabla 2-3: Datos técnicos del motor

Potencia	2,2 KW
	3 HP
Voltaje de alimentación	220/380/440 V
Velocidad angular nominal	1720 rpm

Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

Fuente: Autores



Figura 3-3: Motor eléctrico

Fuente: Autores

3.2.1.3. Bomba de engranajes externos 1AG2U06R

La bomba de engranajes externos instalada en el banco de pruebas tiene las siguientes características y datos técnicos seleccionadas del catálogo (Anexo B).

Tabla 3-3: Datos técnicos de la bomba engranajes externos 1AG2U06R

Marca	Honor Gear Pump
Modelo	1AG2U06R
Cilindrada	0,37 in ³ /rev
	6,1 cm ³ /rev
Presión trabajo continuo	3000 psi
Presión maxima	3600 psi
Velocidad angular	600 - 4000 rpm

Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

Fuente: Autores



Figura 4-3: Bomba de engranajes externos 1AG2U06R
Fuente: (HONOR, 2008)

3.2.1.4. *Depósito*

Como norma general se acostumbra a emplear un depósito, cuya capacidad en litros sea por lo menos dos o tres veces la capacidad de la bomba expresada en litros por minuto. El tamaño del tanque debe ser tal que el aceite permanezca en su interior de uno a tres minutos antes de recircular (Dilnero, 2007). Luego de la revisión la parte estructural del depósito, filtro, tapa y empaque, se determina que están en buenas condiciones. Las características técnicas del depósito se presentan a continuación.

Tabla 4-3: Datos técnicos del depósito

Material	Plancha acero SAE 1030 espesor 3 mm
Volumen	7 galones
Ancho	270 mm
Altura	270 mm
Profundidad	360 mm
Tipo	cerrado

Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018
Fuente: (GONZÁLEZ, 2016)

3.2.1.5. *Válvulas direccionales*

Las válvulas de control direccional son pilotadas por solenoides de 4 vías 3 posiciones, estas válvulas tienen las siguientes características.

Tabla 5-3: Datos técnicos de las válvulas direccionales

Designación	Tipo de centro	Cetop
DG03-2A -220VAC – 82 -DN	Cerrado	3
DG03-2C -220VAC – 82 -DN	Cerrado	3
DG03-3C -220VAC – 82 -DN	Especial	3
DG03-6C -220VAC – 72 -DN	Punto flotante	3
DG03-0C -220VAC – 72 -DN	Abierto	3
DG03-8C -220VAC – 82 -DN	tándem	3

Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018
Fuente: (GONZÁLEZ, 2016)



Figura 5-3: Válvulas direccionales
Fuente: Autores

3.2.1.6. Válvulas de control de flujo

La válvula reguladora de flujo tiene las siguientes características:

Tabla 6-3: Datos técnicos de la válvula de control de flujo

Tipo	MTC03-W1 ISO 4401 CETOP 3
Puertos de control	A y B
Presión	206 bar

Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018
Fuente: (INTERNATIONAL, 2011)



Figura 6-3: Válvula de control de flujo
Fuente: (INTERNATIONAL, 2011)

3.2.1.7. *Válvula reguladora de presión.*

Esta válvula tiene una función importante en el circuito, con esta válvula se puede regular la presión de trabajo, por eso es indispensable que esté funcionando correctamente, esta válvula reguladora de presión acoplada en el banco tiene las siguientes características.

Tabla 7-3: Datos técnicos de la válvula reguladora de presión

Tipo	Tamaño	Presión máxima (psi)	Velocidad de flujo (GPM)	Rango de presión (psi)	Peso (lbs)
MRV-03-P-*	D03	4500	15	1) 100-500 PSI	3.30
MRV-03-W-*				2) 100-1000 PSI	5.07
MRV-03-A-*				3) 100-3000 PSI	3.50
MRV-03-B-*				4) 100-4500 PSI	3.50

Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

Fuente: (INTERNATIONAL, 2011)



Figura 7-3: Válvula reguladora de presión

Fuente: (INTERNATIONAL, 2011)

3.2.2. *Mangueras y accesorios hidráulicos*

Debido a que en el banco se trabajaron a presiones relativamente bajas las mangueras y accesorios no han sufrido mayor desgaste, ya que en el diseño del banco se consideraron utilizar mangueras flexibles que tienen alta resistencia y alto nivel de seguridad, además de reducir las pérdidas y hacer mínimo el uso de accesorios como codos y uniones, al extremo de cada manguera están incorporados racores de acoples hidráulicos rápidos con lo que se logra conexiones de manera rápida y segura.

3.2.2.1. *Mangueras flexibles*

Las características técnicas de las mangueras flexibles son las siguientes:

Tabla 8-3: Datos técnicos de las mangueras flexibles

Característica	SAE J517 EN853 WP 225 BAR 3260 PSI
Tipo de conexión	Alimentación de válvulas y cilindros
Fijación	Acople rápido INTEVA ISO A DN06 1/4" NPT
Dimensiones	1/4"
Marca	Goodyear

Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

Fuente: Autores



Figura 8-3: Mangueras flexibles

Fuente: Autores

3.2.2.2. Racores de acople rápido hidráulicos

Todas las conexiones oleohidráulicas del circuito se las realiza utilizando acoples de este tipo, que ayudan a realizar conexiones de manera rápidas, segura y libre de fugas, los acoples son de marca INTEVA, fabricado según la norma ISO 7241-A, medida DN06 según los requisitos de la norma ISO 5675. Poseen una válvula de bola como sistema de cierre y rosca NPT 1/2. Son diseñados para Aceite Hidráulico y sus aplicaciones según la normativa europea 97.23.EC.

Tabla 9-3: Datos técnicos del racor de acople rápido

DN	Flujo nominal	Presión mínima de estallido (bar)			Presión máxima de trabajo (bar)
		Macho	Hembra	Acoplado	
06	15	1650	1800	1400	350

Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

Fuente: Catálogo



Figura 9-3: Racores de Acople rápido ISO A DN06

Fuente: Autores

3.2.3. Fuente de alimentación eléctrica al banco de pruebas

Al banco de pruebas oleohidráulico tiene que ingresar energía eléctrica de 220 V para alimentar el motor eléctrico y 110 V para obtener voltajes menores que sirvan de alimentación eléctrica a los sensores, tarjetas de adquisición y de más elementos pequeños. Para obtener los diferentes voltajes se elabora un tablero eléctrico y de control, adecuado para el control eléctrico y centro de adquisición y envío de datos.

3.3. Selección de instrumentos para medición de variables físicas

Para seleccionar los instrumentos adecuados se deben considerar los rangos de medida máximos del circuito oleohidráulico, tomados básicamente del catálogo de la bomba de engranajes, donde indica una presión máxima 3600 psi y un caudal teórico de 10,5 lts/min según la velocidad angular nominal del motor que es 1720 rpm. Con los parámetros obtenidos se buscó la disponibilidad de los instrumentos en el mercado ecuatoriano, teniendo en stock a los instrumentos con las marcas FUTEK_NT y WIKA para medir la presión y para medir el caudal TecFLUID y DIGITAL FLOW CO., LTD. Los parámetros y características de los sensores se muestran en las tablas 10-3 y 11-3.

Tabla 10-3: Características de los transductores de presión

Selección de equipos de medición de presión					
Sensor, transductor o transmisor	Aplicación	Modo operacional	Señal	Voltaje de alimentación	Disponibilidad mercado
Presión FUTEK_NT PMP 300	Líquidos, gases, vapores	Piezorresistivo	4-20 mA	10-30 Vdc	Importar
Presión WIKA A-10	Líquidos, gases, vapores	Piezorresistivo	4-20 mA	8-30 Vdc	Disponible

Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

Fuente: Autores

Tabla 11-3: Características de los sensores de caudal

Selección de equipos de medición de caudal					
Sensor, transductor o transmisor	Aplicación	Modo operacional	Señal	Voltaje de alimentación	Disponibilidad mercado
Flujo FP 5600	Carburante/ Aceite	Paletas	15 Hz por fps nominal	6 - 24 V	Importar
DIGITAL FLOW	Líquidos, gases, vapores	Turbina	0.00277 L/P (361P/L)	3 - 24 V	Disponible

Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

Fuente: Autores

3.3.1. Instrumentos utilizados para medir la presión

Una vez conocidos los parámetros de los instrumentos y sensores disponibles en el mercado se ha determinado medir la presión del circuito de forma manual con un manómetro analógico que previamente fue acoplado por los diseñadores del banco a la salida del fluido de la bomba de engranajes y para la toma de datos se utilizó un transmisor de presión de la marca WIKA.

3.3.1.1. Características del manómetro analógico

Tabla 12-3: Características del manómetro analógico

Marca	WOLVERINE
Modelo	WLGC-3000
Rango de medición	0 a 3000 psi
	0 a 200 kg/cm ²
Conexión	¼ NPT

Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018
Fuente: Autores



Figura 10-3: Manómetro analógico

Fuente: Autores

3.3.1.2. Características del transmisor de presión A-10

Los sensores de presión modelo A-10 marca WIKA, se destacan por su diseño compacto y alta calidad. Son utilizados por los fabricantes de maquinaria, en la industria naval, en sistemas hidráulicos y neumáticos, a continuación, se presentan las características técnicas según su catálogo (Anexo C).

Tabla 13-3: Características del transmisor de presión A-10

Rango de medición	0 a 5000 psig
Alinealidad	0,25 % o 0,5 %
Salida	4 a 20 mA
Conexión eléctrica	Conector angular forma A
	Conector circular M12 x 1
	Salida de cable 2 m
Conexión	G ¼ A DIN 3852-E
	¼ NPT

Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

Fuente: (WIKA, 2015)



Figura 11-3: Transmisor de presión A-10

Fuente: (WIKA, 2015)

3.3.2. Instrumentos utilizados para medir el caudal

Una vez conocido los parámetros de los instrumentos y sensores disponibles se determina medir el caudal con el medidor de flujo marca HEDLAND y el sensor tipo turbina marca DIGITAL FLOW de forma manual y adquisición de datos respectivamente.

3.3.2.1. Medidor de flujo

Los caudalímetros de área variable HEDLAND son medidores de lectura directa que se utilizan para medir aceite, el agua y otros fluidos. Se pueden instalarse con cualquier orientación sin comprometer el rendimiento de la medición. Este tipo de caudalímetros ofrecen lectura instantánea y directa de la medición del caudal de líquidos que se encuentran en sistemas cerrados de tuberías. Miden aceite en un intervalo de flujo de 2 a 20 l/min. El cuerpo transparente fabricado con PPSU permite la inspección visual del estado del fluido, así como visualizar el indicador de flujo interno relacionado con una escala de flujo calibrada. El caudalímetro no necesita conexiones eléctricas.



Figura 12-3: Caudalímetro analógico
Fuente: Autores

3.3.2.2. Características del caudalímetro de turbina DGTT-015S

Tabla 14-3: Datos técnicos del sensor

Precisión (posición de instalación estándar)	±0.5% RS
Presión máxima de trabajo	500kg/cm ²
Fluido y temperatura ambiente	-40 a 80°C
Rango de caudal	400 a 5000 L/H
Unidad de impulsos	0.00277L/P(361P/L)
Voltaje de la energía	3 - 24V DC
Señal de salida	pulse out (NPN Colector abierto)
Conexión	PT3/4(Rosca exterior)
Principales materiales	Rotor - poliamida + ferrita
	Cubierta - acero inoxidable 304
	Eje - acero inoxidable 304

Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018
Fuente: (DIGITALFLOW, 2015)



Figura 13-3: Caudalímetro de turbina DGTT-015S
Fuente: (DIGITALFLOW, 2015)

3.3.3. Instrumentos utilizados para medir la temperatura del fluido

Luego de un previo análisis de las características de un medidor de temperatura se determinó utilizar una termocupla para tomar datos de temperatura del fluido en el depósito, las termocuplas tipo K junto con las de tipo J son las más usadas de la industria.

3.3.3.1. Termocupla tipo K

Se seleccionó como medidor de temperatura para el sistema la termocupla tipo K (figura 14-3), su rango de temperatura es apropiado para este proyecto, además tiene buena distancia de medición.



Figura 14-3: Termocupla tipo K
Fuente: (ROBU.IN, 2017)

Para transmitir los datos a la tarjeta Arduino este tipo de termocuplas necesitan un acondicionador, por lo que se utilizó una tarjeta de control MAX6675.

3.3.3.2. Características del módulo MAX6675

Este módulo realiza la compensación y linealización de la respuesta del sensor con un ADC. La resolución es de 0.25° y el rango de uso de la tarjeta es de 3.0V a 5.5V, por lo que se puede utilizar con cualquier microcontrolador o tarjeta de desarrollo como un Arduino. Su interfaz es compatible con SPI sólo de lectura. (HEPRO, s.f.)

Tabla 15-3: Características del módulo MAX6675

Resolución	de 12 bits, 0.25°C
Precisión	± 1.5°C
Medición	hasta 1024 °C
Alimentación	3.3 a 5 volts.
Temperatura de medición	0°C a 1024°C
Frecuencia de reloj SPI máxima	4.3 Mhz.
Tiempo de conversión	0.17 seg - máximo 0.22 seg.
Consumo máximo	1.5 mA
Dimensiones	25mm x 15mm x 13mm

Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018
Fuente: (GEEKFACTORY, 2015)



Figura 15-3: Módulo para termocupla MAX6675
Fuente: Autores

3.4. Montaje y conexión de los instrumentos en el banco de pruebas

Luego de la selección y revisión de las características de los instrumentos a utilizarse para adquirir los datos, se procede con el montaje de los mismos en el banco de pruebas oleohidráulico, considerando que cada uno de ellos requiere acondicionamiento, tanto mecánico como eléctrico, para la instalación oleohidráulica se utilizó acoples y niples hidráulicos; y para la instalación eléctrica, se utilizó acondicionadores eléctricos, ya que no todos los sensores requieren ser alimentados de la misma forma ni con el mismo voltaje. En el caso de la instalación eléctrica todos los sensores deben estar acondicionados para ser alimentados por una misma fuente de poder.

3.4.1. Montaje del transmisor de presión A-10

A continuación, se detalla la instalación oleohidráulica y eléctrica del transmisor de presión en el banco de pruebas.

3.4.1.1. Instalación oleohidráulica.

El montaje del transmisor de presión es a través de un acople rápido de rosca $\frac{1}{4}$ NPT, como indica la norma ANSI/ASME B1.20.1. Al sensor se lo ubicó en la parte de la mesa del banco de pruebas donde se encuentra adaptado el acople rápido macho, como se indica en la figura 16-3. Donde se conecta la línea del circuito oleohidráulico que va desde la unidad de poder hacia el panel superior.

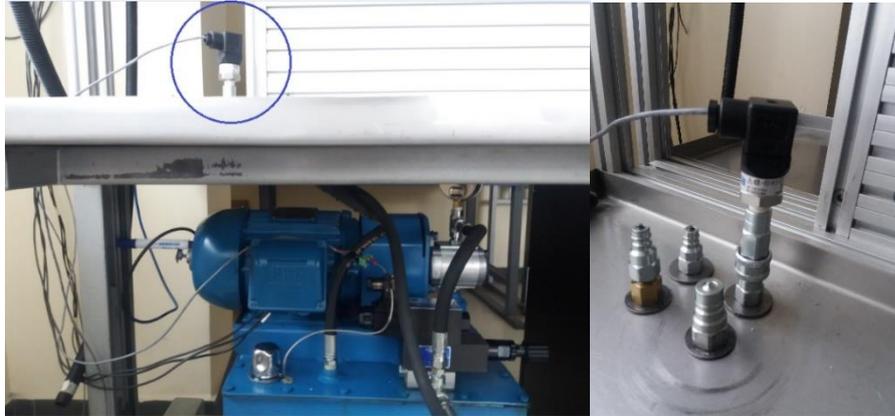


Figura 16-3: Montaje del transmisor de presión

Fuente: Autores

3.4.1.2. Instalación eléctrica

Para alimentar eléctricamente a este tipo de transmisores se utilizar un circuito eléctrico con límite de energía tal como indica el párrafo 9.3 de UL/EN/IEC 61010-1, sin embargo, el transmisor de presión modelo A-10 de dos hilos posee un conector angular DIN 175301-803 A (Anexo E), por lo que en su catálogo indica un esquema de conexión eléctrica con el que se alimenta el sensor.

	2 hilos	3 hilos
	U_B 1 0V 2	U_B 1 0V 2 S+ 3

Figura 17-3: Conector angular DIN 175301-803 A

Fuente: (WIKA, 2015)

El transmisor de presión necesita una alimentación estándar de DC 8 a 30 V, por lo que se toma el voltaje de la fuente de alimentación de 24 voltios.

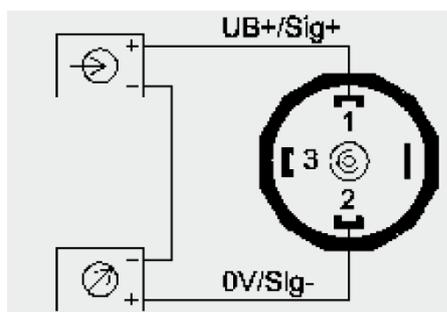


Figura 18-3: Esquema de conexión eléctrica

Fuente: (WIKA, 2015)

3.4.2. Montaje del caudalímetro de turbina DGTT-015S

A continuación, se detalla la instalación hidráulica y eléctrica del caudalímetro de turbina DGTT-015S en el banco de pruebas.

3.4.2.1. Instalación hidráulica

El caudalímetro se adaptó en la línea de salida del circuito oleohidráulico hacia el panel principal, mediante niples hidráulicos con rosca interior y exterior PT 1 (figura 19-3).



Figura 19-3: Niples hidráulicos

Fuente: Autores

Acoplado a los niples anteriores se añade un tercero de roscas exteriores PT 5/8 y 1/2 que van conectados a los acoples rápidos, quedando la adecuación al sensor de la siguiente manera, figura 20-3.



Figura 20-3: Instalación hidráulica del caudalímetro DGTT-015S

Fuente: Autores

3.4.2.2. Instalación eléctrica

Para alimentar el sensor se necesita de 3 a 24 V por lo que es esencial utilizar un regulador de voltaje en este caso se escogió un módulo LM2596 (figura 21-3), luego de la fuente

de 24 V se acopla el regulador de voltaje con el que se obtendrá 5V adecuados para que reciba la señal la tarjeta Arduino.

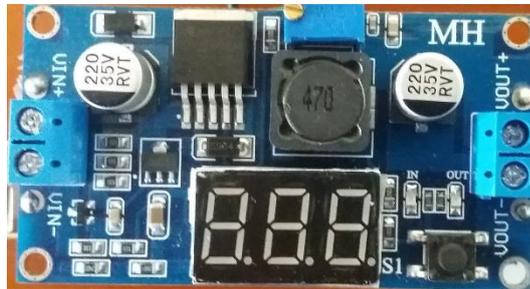


Figura 21-3: Módulo LM2596
Fuente: Autores

3.4.3. Montaje de la termocupla tipo *k*

La termocupla tipo *k* fue ubicada en el interior del depósito desde la parte superior del mismo, mediante una perforación para la salida del cable de transmisión y conexión del módulo con el cable.

3.4.3.1. Instalación del módulo para termocupla MAX6675

El módulo MAX6675 van conectados directamente a las terminales de la termocupla tipo K. En la figura 22-3 se puede observar el diagrama de bloques del amplificador de instrumentación MAX6675, entre sus elementos se pueden destacar la compensación de unión en frío, detección de faltas y el convertor análogo a digital.

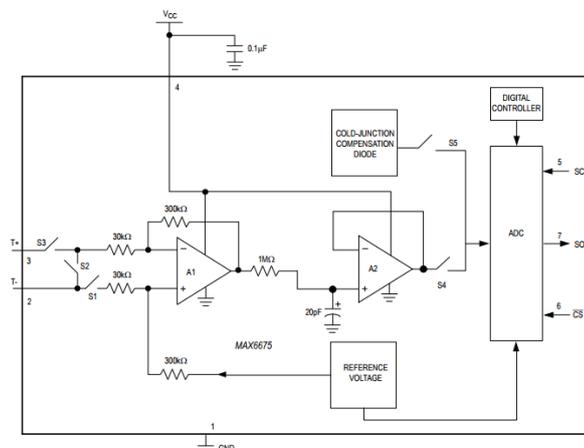


Figura 22-3: Diagrama de bloques el amplificador de instrumentación MAX6675
Fuente: (HEPRO, s.f.)

CAPÍTULO IV

4. ADQUISICIÓN DE DATOS Y DESARROLLO DEL LABORATORIO REMOTO

La finalidad de este capítulo es indicar el procedimiento llevado a cabo para la creación del laboratorio remoto, desde la conexión de las tarjetas electrónicas con sus respectivos sensores hasta el control de válvulas de control y seguridad que permiten la generación de las curvas de estudio. Se indicará como se realizó la programación tanto en las tarjetas Arduino (tres en nuestro caso) como en la Raspberry Pi.

Para esto es necesario el conocimiento de ciertos protocolos requeridos que permitirán la transferencia de datos a través de internet y de los sensores a las tarjetas Arduino.

El siguiente diagrama de bloques nos ayudará a la comprensión de los protocolos que serán para la recepción de señales y comunicación con el computador; se observa que la Raspberry Pi sirve como procesador central de datos.

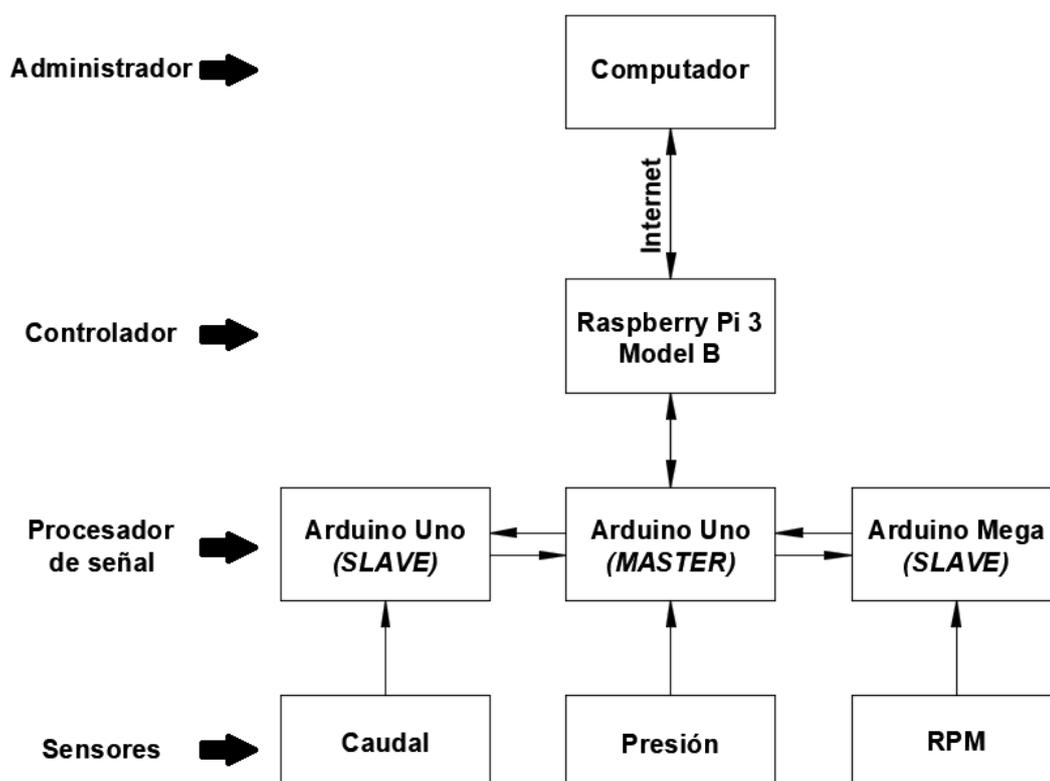


Figura 1-4: Diagrama de bloques
Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

Es necesario explicar el concepto de los protocolos necesarios para la comunicación y transferencia de datos al computador que realizan el monitoreo. Los principales son los protocolos I²C y el protocolo TCP/IP, el primero sirve para la recolección de datos entre sensor y Arduino, y el segundo es para la transición de datos desde la Raspberry Pi al ordenador.

4.1. Adquisición de datos mediante tarjeta Arduino

Cada sensor utilizado en la recolección o adquisición de datos cuenta con su propio Arduino, a excepción del Arduino maestro (Arduino uno) que cuenta con las variables de temperatura y presión. Para la variable de flujo se utiliza otra placa Arduino uno, pero en este caso funciona como esclavo al igual que la placa Arduino mega que controla la variable de revoluciones.

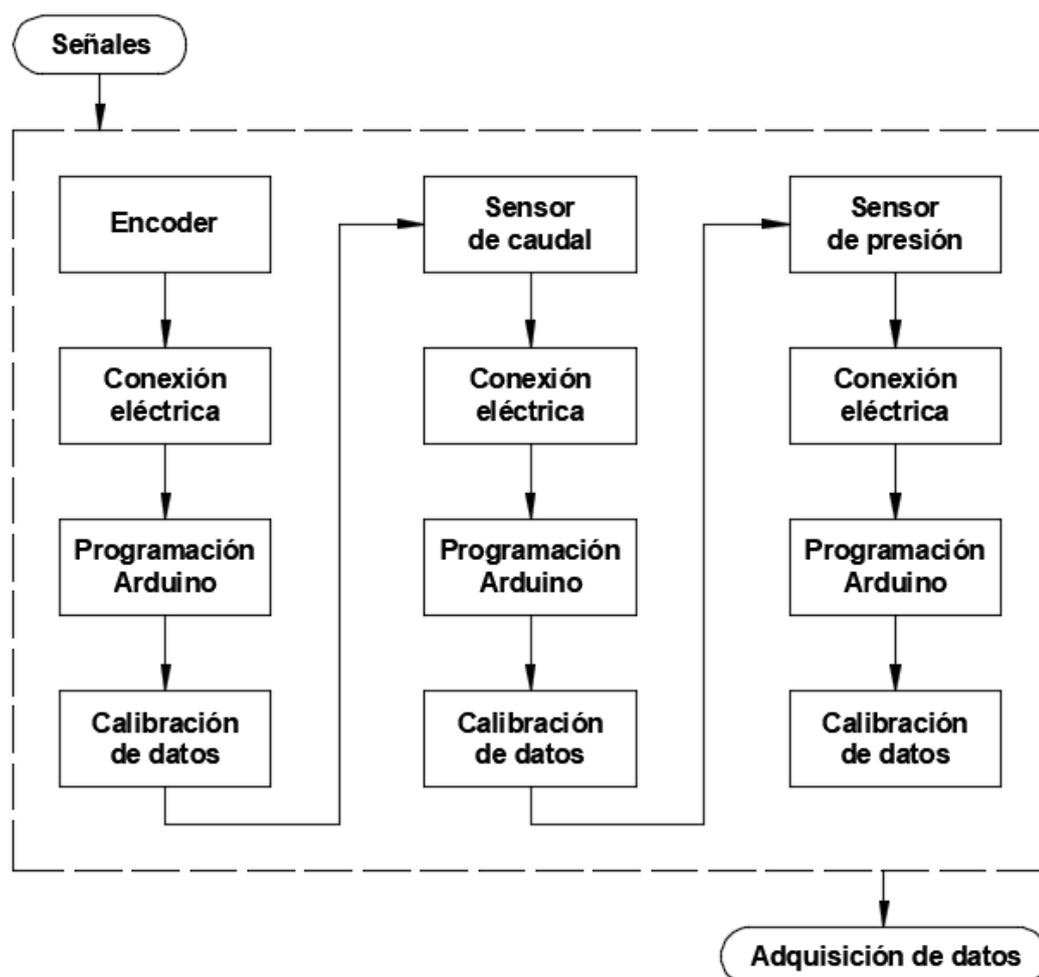


Figura 2-4: Diagrama de bloques para la adquisición de datos
 Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

4.1.1. Protocolo I²C

Protocolo I²C (Inter-Integrated Circuit, por sus siglas en inglés) nos ayuda en la recolección de datos mediante varias placas Arduino, ya que al introducirle múltiples sensores en un sólo Arduino éste puede presentar problemas con el envío de información, retrasos en los tiempos de respuesta, generación de señales parásitas, reseteo de la placa, entre otras.

La comunicación es estándar y se realiza mediante cables tres, estos tienen una determinada función a cumplir y deben estar conectados en los puertos asignados para esta tarea. El primer cable o señal (SCL, serial clock line) cumple la función de sincronizar los Arduino en un determinado tiempo, tipo de reloj. La segunda señal (SDA, serial data line) es por donde se transmiten los datos, éste es de forma bidireccional, tanto de salida como entrada a las placas. Como tercera y última señal tenemos la puesta a tierra (GND, ground) a la que tiene que estar interconectadas cada una de las placas.

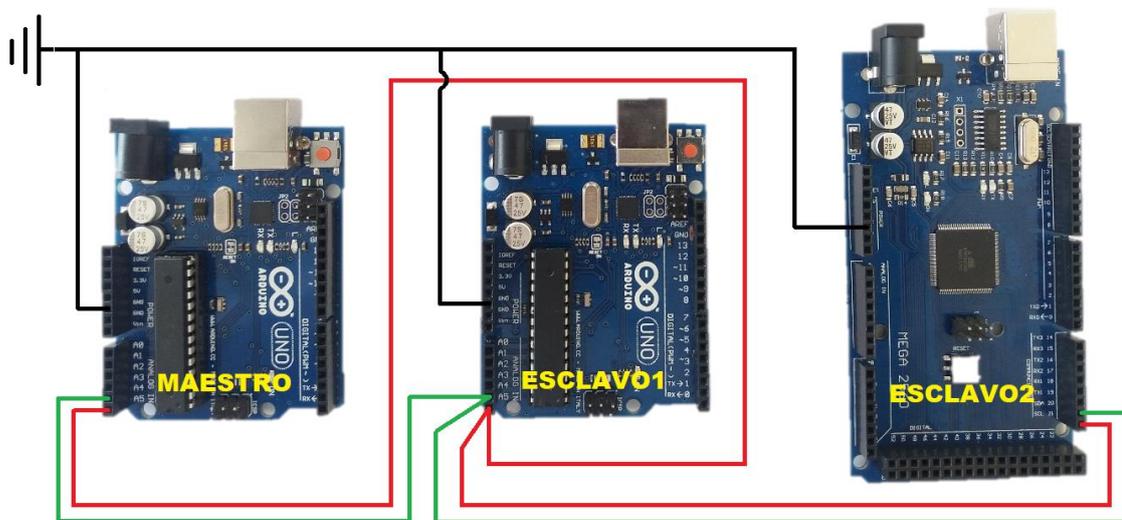


Figura 3-4: Conexión de placas Arduino mediante protocolo I²C
Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

Para la implementación de este protocolo a la investigación se puede distinguir 3 colores diferentes como se muestra en la figura 3-4 para la conexión de las placas, cada una representa la señal de comunicación y cumple una determinada función. A continuación, se especifica la tarea que realiza cada uno de los cables por sus colores, así como la ubicación de los pines a los que se conectaron.

VERDE: señal SDA, ubicada en el pin A4 de los Arduino uno mientras que en la placa mega cuenta con su propio pin, el número 20 y se identifica como SDA.

ROJO: señal SDL, se encuentra en el pin A5 de los Arduino uno y de la misma forma tiene un pin determinada en la placa mega, el número 21, con la etiqueta de SDL.

NEGRO: señal GROUND, puesta a tierra. Cada placa cuenta con su propio pin para la protección de la misma.

4.1.2. *Conexión del sensor de presión y temperatura a la placa maestro*

En esta placa ocurre un caso en particular, el sensor de presión trabaja con voltajes de 8 a 30 voltios representando un problema; se necesitaron dos fuentes de poder. Una fuente de alimentación LOGO Power (serie 1x100-240 VAC/24VDC, 2.5 A) que reduce la tensión de la línea a 24 voltios, una seguridad que tenemos en cuenta ya que estos componentes electrónicos no trabajan con tensiones altas.



Figura 4-4: LOGO! Power 1x100-240 VAC/24VDC, 2.5 A
Fuente: Autores

Para la alimentación de los sensores y placas se utilizó un módulo de alimentación descendente LM2596 que permite reducir el voltaje a 5 voltios. Estos módulos son de mucha utilidad ya que nos evita la necesidad conectar una o varias fuentes de alimentación adicionales para cada placa. Con un rango de 0 – 40 voltios, este módulo es más que suficiente para alimentar todo el sistema ya que se conectó después de la fuente de alimentación de 24 voltios y asegura su funcionamiento.

Establecida la alimentación de los sensores que se conectaron a la placa maestro, se procedió a realizar la identificación de pines a los cuales se envió la información que recolectaron los sensores.

Para la adecuación de la termocupla tipo K se necesita un módulo MAX6675 (figura 5-4) que permite la conexión a la placa Arduino; consta de 2 puertos de entrada (termocupla) y 5 de salida (Arduino). Las señales a ser receptadas por el sensor se conectan a los siguientes pines digitales: D4, D5 y D6. Mientras que los dos restantes son de alimentación y puesta a tierra.

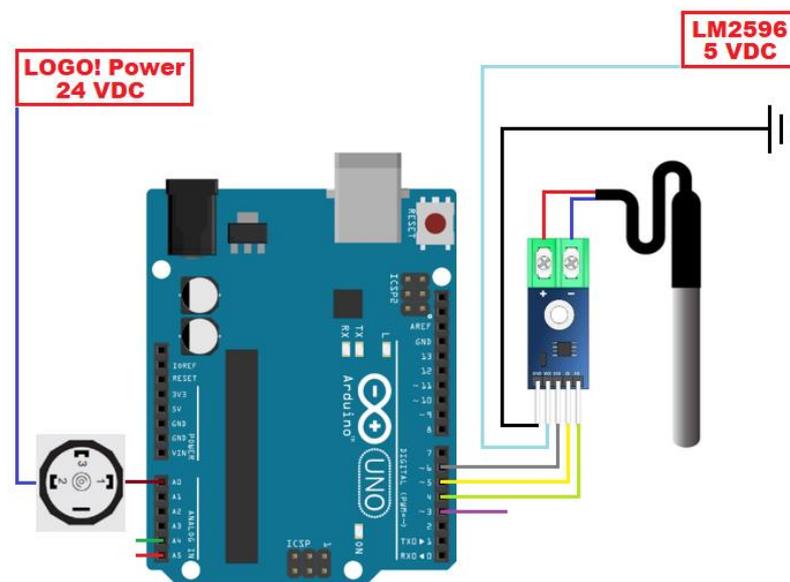


Figura 5-4: Conexión de los sensores a la placa maestro
Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

Como se puede mostrar en la ilustración anterior, el sensor de presión transmite datos hacia el pin análogo A0 de la placa maestro y se alimenta por el puerto 2 del mismo. Si se observa hacia el pin digital D3, este está conectado hacia un servo motor.

Un servo motor es necesario en el tablero de control ya que este nos ayuda a modificar la frecuencia del variador y así poder aumentar o disminuir las revoluciones por minuto, consiguiendo modificar los parámetros de estudio.

En la placa maestro se puede apreciar que cuenta con el mayor número de instrumentos conectados a diferencia de las siguientes placas y su alimentación se la realizó mediante el puerto serial (punto a explicarse en los siguientes puntos).

4.1.2.1. Programación de la placa maestro

El primer paso para la programación de las placas Arduino, una vez abierto el programa, es seleccionar el tipo de placa con el que vamos a trabajar. Se realiza el despliegue de la pestaña *Herramientas* y nos mostrara varias opciones a tener en cuenta.

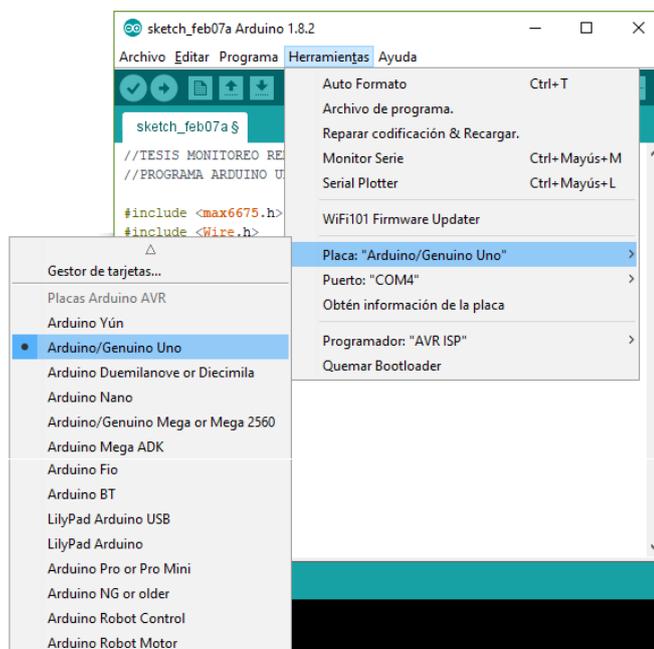


Figura 6-4: Selección de placa Arduino.
Fuente: Autores

Una vez seleccionada la placa, en nuestro caso la *Arduino/Genuino Uno*, pasamos a la selección del puerto al cual está conectada el Arduino. En la misma pestaña antes seleccionada, nos desplazamos un lugar hacia debajo de placa y marcamos la opción de *Puerto*. Aquí se desplazan los puertos a los cuales se puede conectar la placa Arduino.

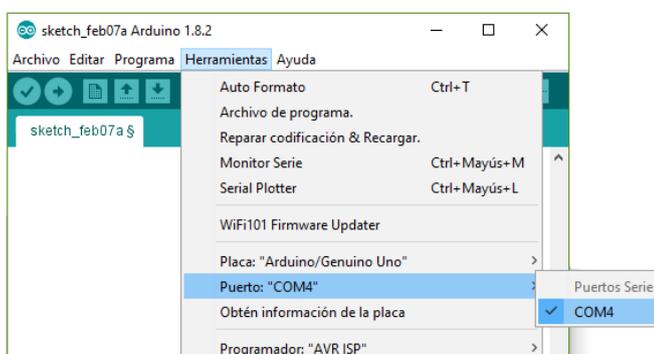


Figura 7-4: Selección de puerto de programación
Fuente: Autores

Por lo general, se muestran todos los puertos USB que tiene habilitado el computador. En nuestro caso sólo indica en puerto al cual está conectada la Arduino; algo muy importante a tomar en cuenta es que tenemos que marcar el puerto COM4.

El sensor de temperatura que tenemos en esta placa requiere de sus propias librerías por lo que hay que, de ser el caso, descargar una versión más actual del software Arduino o conseguir la librería de forma independiente. Para incluir este complemento debemos seguir los pasos mostrados en la figura 8-4.

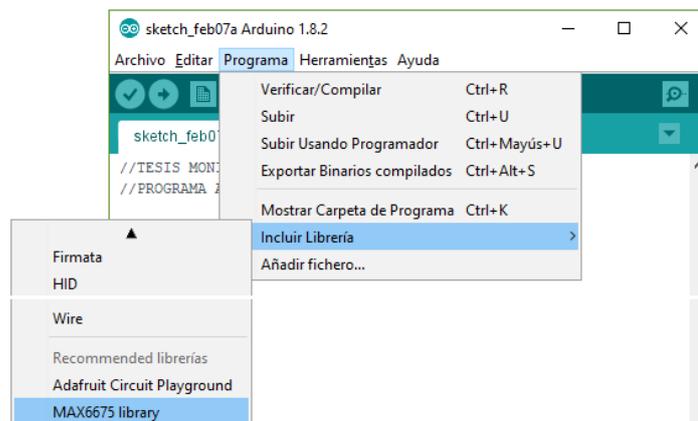


Figura 8-4: Selección de la librería para el sensor de temperatura
Fuente: Autores

En la misma cinta de opciones en la que seleccionamos la librería *MAX6675*, tenemos que agregar la librería *WIRE*, encargada de permitir la comunicación I²C entre las placas.

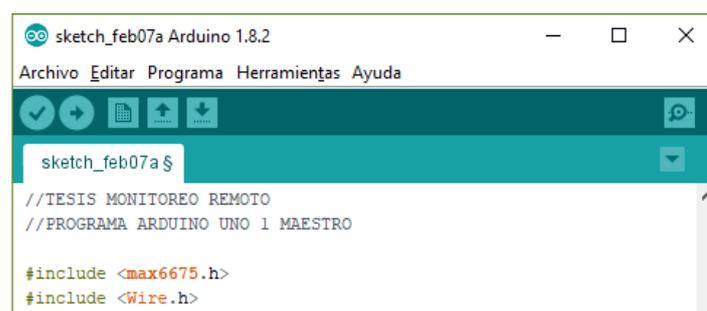
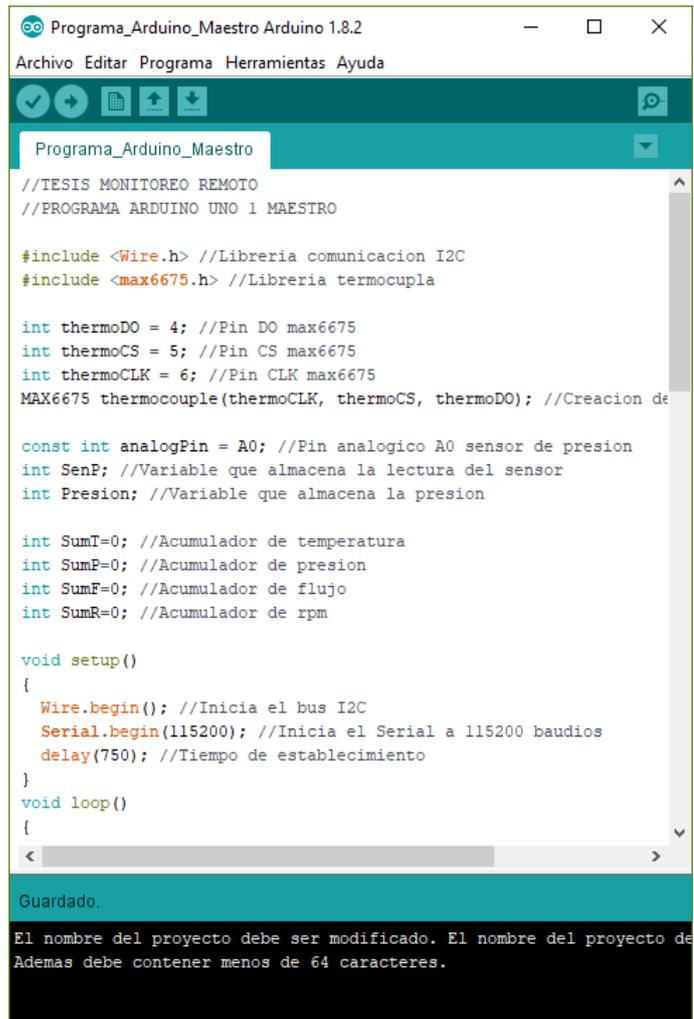


Figura 9-4: Librerías utilizadas en la programación de la placa maestro
Fuente: Autores

Realizado estos pasos nos enfocamos a la parte de programación pura, escritura de comandos, enlace de tarjetas, direccionamiento y otros.



```
Programa_Arduino_Maestro Arduino 1.8.2
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Programa_Arduino_Maestro
//TESIS MONITOREO REMOTO
//PROGRAMA ARDUINO UNO 1 MAESTRO

#include <Wire.h> //Libreria comunicacion I2C
#include <max6675.h> //Libreria termocupla

int thermoDO = 4; //Pin DO max6675
int thermoCS = 5; //Pin CS max6675
int thermoCLK = 6; //Pin CLK max6675
MAX6675 thermocouple(thermoCLK, thermoCS, thermoDO); //Creacion de

const int analogPin = A0; //Pin analogico A0 sensor de presion
int SenP; //Variable que almacena la lectura del sensor
int Presion; //Variable que almacena la presion

int SumT=0; //Acumulador de temperatura
int SumP=0; //Acumulador de presion
int SumF=0; //Acumulador de flujo
int SumR=0; //Acumulador de rpm

void setup()
{
  Wire.begin(); //Inicia el bus I2C
  Serial.begin(115200); //Inicia el Serial a 115200 baudios
  delay(750); //Tiempo de establecimiento
}
void loop()
{
  Guardado.
  El nombre del proyecto debe ser modificado. El nombre del proyecto de
  Ademias debe contener menos de 64 caracteres.
```

Figura 10-4: Programación de la placa maestro.

Fuente: Autores

4.1.2.2. *Calibración del sensor de presión*

El transmisor de presión Wika A-10 empleado en el laboratorio de monitoreo remoto, es un sensor que posee dos hilos para su conexión (Ver figura 11-4). El sensor tiene a su salida un valor de corriente de 0 a 20 mA correspondientes a la medida de presión. Cuando el sensor de una lectura de 0 mA es equivalente a una presión de 0 psi; mientras que cuando haya una lectura de 20 mA se tendrá una presión de 5000 psi, valor máximo de lectura del sensor.

La lectura del sensor va a ser realizada mediante la tarjeta Arduino, debido a que Arduino no puede realizar lecturas de corriente es necesario acondicionar la señal de salida a voltaje. Arduino admite valores de lecturas analógicas en un rango de 0 a 5 V.

Para realizar esta conversión, se implementa el siguiente circuito:

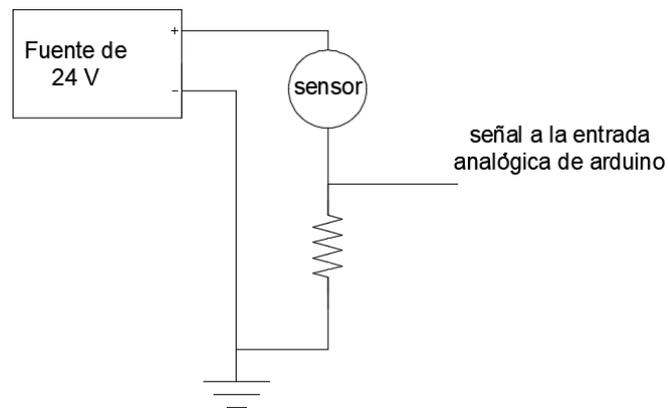


Figura 11-4: Circuito de conexión para toma de datos
Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

Para calcular el valor de la resistencia que permite obtener 5V cuando el sensor de una lectura de 20 mA se emplea la ley de ohm:

$$V = I * R \quad (21)$$

$$5 V = 0.02 A * R$$

$$R = 250 \text{ ohm}$$

Con el valor de la resistencia podemos determinar que voltaje tendremos cuando el sensor marque 0 mA, es decir, la presión es de 0 psi.

$$V = I * R$$

$$V = 0.004 A * 250 \text{ ohm}$$

$$V = 1 V$$

Con estos resultados podemos determinar que:

$$0 \text{ mA} - 1 V - 1 \text{ psi}$$

$$20 \text{ mA} - 5 V - 5000 \text{ psi}$$

Con estos datos, se procede a calibrar las lecturas del sensor con Arduino, la tarjeta va a realizar una lectura analógica de 0 a 5V por su pin analógico, esta lectura es interpretada como una lectura de 0 a 1024 bits. La señal de salida cuando la presión es 0 psi es de 1 V interpretado en bits es equivalente a 220 bits, mientras que al máximo de presión la lectura es de 5 V equivalente a 1024 bits.

Arduino mediante la función `map(entrada, valorMinimo, valorMaximo, desde, hasta)`, permite hacer equivalencias entre diferentes rangos de medida. Para nuestra aplicación la emplearemos de la siguiente manera:

$$\text{Presión} = \text{map}(\text{lectura_analógica}, 220, 385, 0, 1200);$$

Con esta línea de código, se consigue hacer una equivalencia entre la lectura analógica de Arduino con los valores del sensor de presión. Es decir, cuando tengamos una lectura analógica de 220 se tendrá una presión de 0 psi, mientras que cuando exista una lectura de 1024 tendremos una presión de 5000 psi respectivamente.

Como la presión máxima del sistema no supera los 1200 psi, por seguridad de los equipos, el mapeo se realizó desde 220 hasta 385 bits, realizando la siguiente tabla de valores.

Tabla 1-4: Valores de bits a determinadas presiones

bits	PSI
220	0
235	100
246	200
260	300
275	400
289	500
300	600
315	700
330	800
343	900
350	950
358	1000
373	1100
385	1200

Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

Fuente: Autores

La analogía entre bits y voltaje nos permitió realizar la gráfica de forma directa sin necesidad de cambiar dichos valores a voltaje dando con esto una relación lineal entre la lectura analógica con los valores mostrados en la siguiente gráfica.

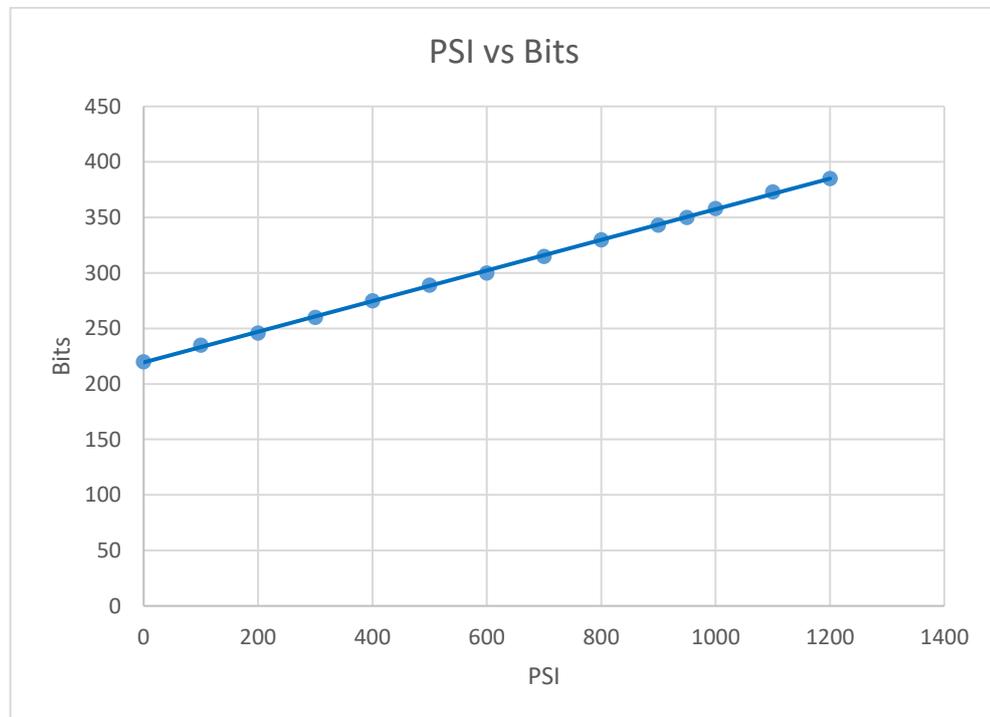


Gráfico 1-4: Relación presión vs bits
Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

4.1.3. *Conexión del sensor de flujo a la plana esclavo 1*

El pin digital encargado de recibir la información del único sensor en la placa esclavo 1 es el D2, el sensor cuenta con tres cables (alimentación, señal y puesta a tierra) en total, como se muestra en la figura 12-4. Cada sensor tiene su propia fuente de alimentación y se evita ocupar la de la placa Arduino. La señal a estudiar es de tipo cuadrada y necesitamos saber su amplitud y frecuencia para un mejor procesamiento de datos al momento de enlazarlos a la plataforma remota.

Se mencionó que la placa maestro se alimentara a través de la conexión serial con la Raspberry Pi, lo cual ya no es posible para la segunda. Aquí es necesaria la conexión hacia el módulo LM2596 ya que las placas Arduino trabajan con 5 voltios. En el ANEXO G se observa un plano especializado de todos los elementos electrónicos que se utilizaron en la MOTHERBOARD.


```
Programa_Arduino_Esclavo_1 Arduino 1.8.2
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Programa_Arduino_Esclavo_1
//TESIS MONITOREO REMOTO
//PROGRAMA ARDUINO UNO ESCLAVO 1

#include <Wire.h> // Incluimos la libreria i2c

unsigned int Mcaudal=0; // Establecemos una variable entera global

long previousMillis = 0;
long interval = 1000;
int time; // almacena el tiempo de millis()
long tiempofuncion1 = 3000; // cada 3 segundos
long tiempofuncion2 = 1000; // cada 1 segundos
float tiempofuncion_t = 15000; // cada 1.5 segundos
long TiempoInicial1;
long TiempoInicial_t;
int contador=0;
int guardar_contador;

const int inPin = 2; //Entrada del sensor de Flujo

int SenalAntigua;
int SenalActual;
int tiempo_flanco;

void setup()
{
  Wire.begin(1); // Se asigna como 1 al esclavo
}

Guardado.
El nombre del proyecto debe ser modificado. El nombre del proyecto de
Ademas debe contener menos de 64 caracteres.

89 Arduino/Genuino Uno en COM7
```

Figura 13-4: Programación de la placa esclavo 1
Fuente: Autores

4.1.3.2. *Calibración del sensor de flujo*

El sensor de flujo empleado en el laboratorio remoto, posee 3 hilos de conexión: vcc, gnd y señal. Por la señal se envían pulsos correspondientes a la cantidad de litros que pasa por el sensor. Estos pulsos son generados mediante el efecto hall que rige el funcionamiento del sensor.

La lectura del sensor de flujo se realiza mediante el pin digital 2 de Arduino, este pin cumple la función de interrupción externa. La interrupción es programada mediante software para que cada segundo cuente el número de pulsos que censa el sensor.

Para calcular la relación de pulsos con la cantidad de litros se divide el número de pulsos para 3, constante del sensor. Este factor depende de diferentes parámetros para ser seleccionado; uno de ellos es el diámetro de tubería por el cual va a transitar el flujo, tipo de flujo que circulara el líquido y el material del cual está hecho el sensor.

$$Caudal = Contador_pulsos/3$$

Con esta operación se tiene la cantidad de litros por minuto, para poder obtener la cantidad de litros por hora, se multiplicó este valor por 60 ya que 1 hora tiene 60 minutos. Finalmente, la calibración del sensor es mediante software programado en Arduino, quedando de la siguiente manera:

$$MCaudal = (Contador_pulsos * 60)/3$$

4.1.4. Conexión del sensor de inductivo a la placa esclavo 2

Para el último sensor, el encargado de medir las revoluciones del sistema se ocupó una placa Arduino mega, esta cuenta con un mayor número de pines para la conexión de varios instrumentos o equipos según el tipo de trabajo a realizar. Como se puede observar esta placa es más larga que las anteriores por el número aumentado de puertos, cuenta con 16 pines análogos, desde el A0 hasta A15; una diferencia de 10 pines con respecto a la placa Arduino uno. Los pines digitales sufren un incremento considerable ya que tiene 54 pines en total, haciendo una diferencia de 40 respecto a los Arduino uno.

Cuenta con sus propios bloques de *power*, *analog in*, *digital*, *PWM* y *comunicación*. En este último se encuentran claramente identificados los pines asignados para la ejecución del protocolo I²C necesarios para la transferencia de datos.

La conexión del sensor se la realiza de forma similar al anterior ya que también cuenta con 3 cables para su funcionamiento. Tenemos el cable *marrón*: encargado de enviar la señal del sensor hacia la placa; el cable *celeste*: éste alimenta al sensor con 5 voltios y desde el módulo LM2596; y el cable *negro*: la puesta a tierra. A continuación, se observa un diagrama en el cual detalla lo descrito para este sensor.

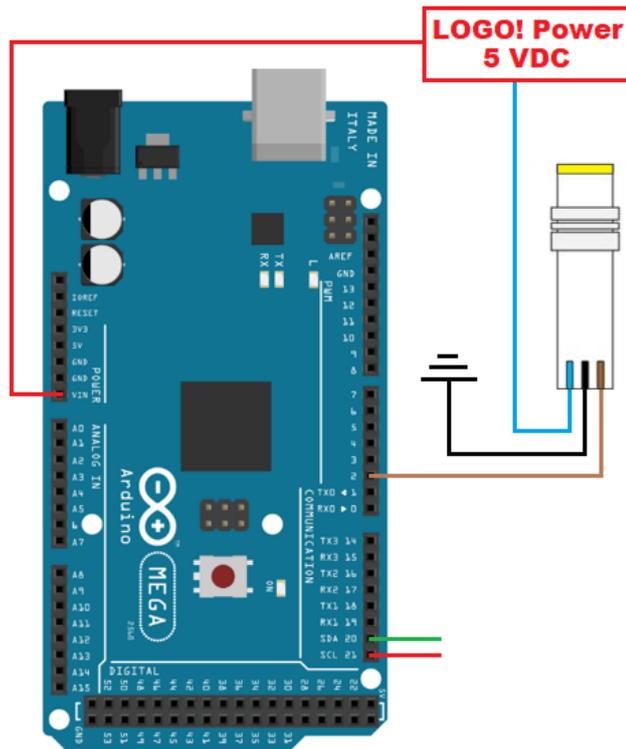


Figura 14-4: Conexión del sensor inductivo a la placa esclavo 2
 Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

4.1.4.1. Programación de la placa esclavo 2

En la placa esclavo 2 tiene la particularidad de ser una Arduino mega 2560, por lo que en la selección del Arduino tenemos que cambiar la opción de la placa, como se indica en la figura. Seleccionada esta placa se activa una nueva casilla, *procesador*. Es recomendable dejar esta casilla como aparece por defecto.

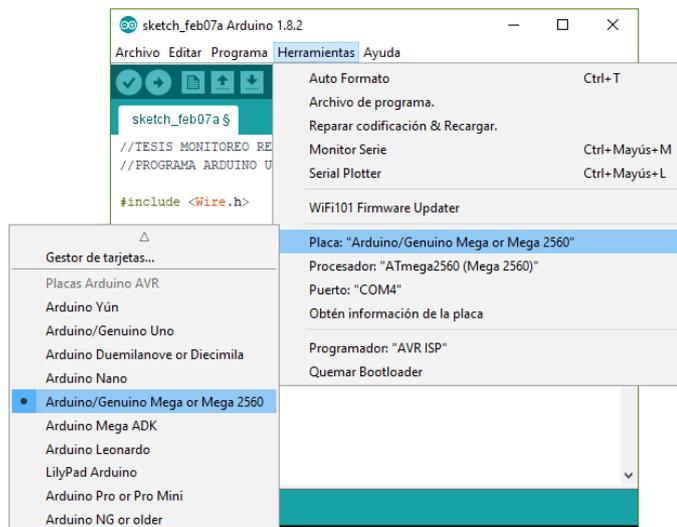
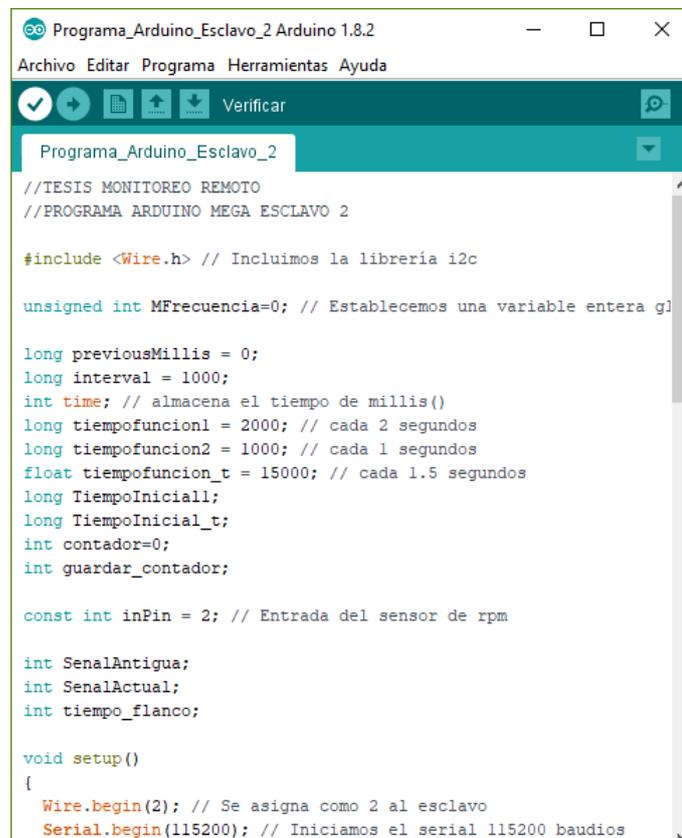


Figura 15-4: Selección de la placa Arduino mega 2560
 Fuente: Autores

Como la programación se la realizó con las placas conectadas en el mismo puerto, se deja el puerto COM4 marcado como en los Arduino anteriores. El acceso para la habilitación de estos puertos se la realiza mediante el ingreso al administrador de dispositivos, se desliza la opción de *puertos (COM y PLT)* donde indica todos los puertos con los que cuenta la computadora.

La librería *Wire* se incluye en esta placa para poder especificar que es la placa esclavo 2. De igual forma, se observa en la programación que la línea de comando *wire.begin()* está ingresado en número 2 entre paréntesis, lo que se da a entender que se trata de la placa esclavo 2. Si contáramos con una tercera, cuarta o demás placas, el número entre los paréntesis de que placa se trata.

En el programa se va a definir ciertos valores de tiempo para tomar los datos, como se trabaja con frecuencia se tiene en cuenta en ancho de pulsos que se generan al detectar las señales de tipo cuadrada. La figura 16-4 a continuación muestra cómo se realizó la introducción de varios comandos y contadores de tiempo.



```
Programa_Arduino_Esclavo_2 Arduino 1.8.2
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Verificar
Programa_Arduino_Esclavo_2
//TESIS MONITOREO REMOTO
//PROGRAMA ARDUINO MEGA ESCLAVO 2

#include <Wire.h> // Incluimos la libreria i2c

unsigned int MFrecuencia=0; // Establecemos una variable entera g

long previousMillis = 0;
long interval = 1000;
int time; // almacena el tiempo de millis()
long tiempofuncion1 = 2000; // cada 2 segundos
long tiempofuncion2 = 1000; // cada 1 segundos
float tiempofuncion_t = 15000; // cada 1.5 segundos
long TiempoInicial1;
long TiempoInicial_t;
int contador=0;
int guardar_contador;

const int inPin = 2; // Entrada del sensor de rpm

int SenalAntigua;
int SenalActual;
int tiempo_flanco;

void setup()
{
  Wire.begin(2); // Se asigna como 2 al esclavo
  Serial.begin(115200); // Iniciamos el serial 115200 baudios
```

Figura 16-4: Programación de la placa esclavo 2

Fuente: Autores

4.2. Construcción del tablero de control

Una vez instalados los sensores en el banco de pruebas hidráulico, se necesitó un tablero de control donde se ubicaron los equipos y tarjetas electrónicas. Estos accesorios se montaron dentro de una caja de plástica de 380x480x200 mm de tapa transparente, para mejorar la visualización.

La elaboración del tablero de control se realizó en dos partes: elementos de potencia y elementos de control. Para los elementos de control se realizó la elaboración de una placa electrónica, en ella se grabó e intercomunicó a todas las placas Arduino por medio del circuito electrónico elaborado.

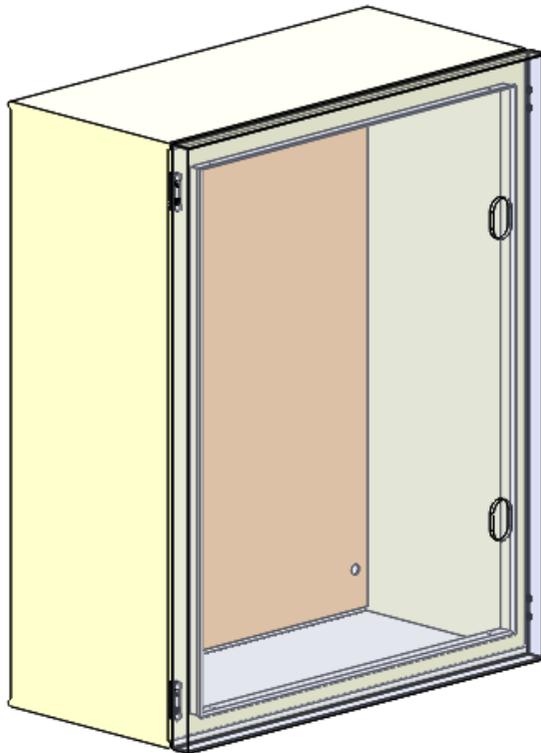


Figura 17-4: Caja plástica

Fuente: Autores

Para la comodidad de trabajo y montaje de elementos se utilizó un sobre fondo, en este se ubicó un riel para el acoplamiento de los elementos de potencia junto con canaletas.

Es de fácil acceso y su tapa transparente permite la visualización de los elementos que se disponen dentro de la misma y de sus leds de funcionamiento.

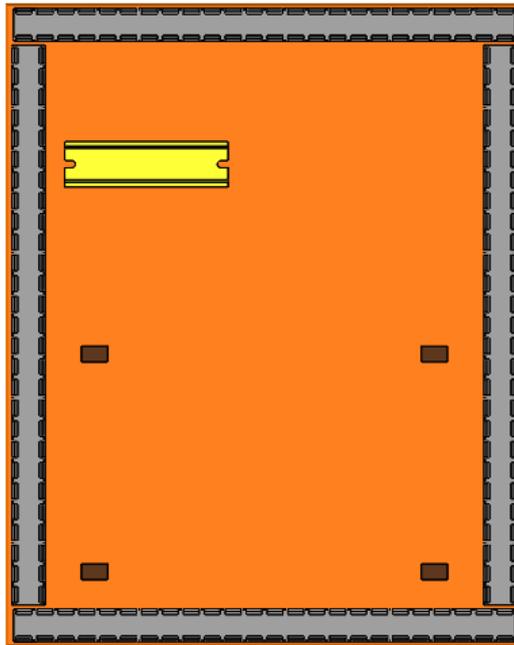


Figura 18-4: Elementos de distribución
Fuente: Autores

El primer elemento en ser ubicado, es una protección, el disyuntor. Este se utilizó para proteger los elementos dentro del tablero.

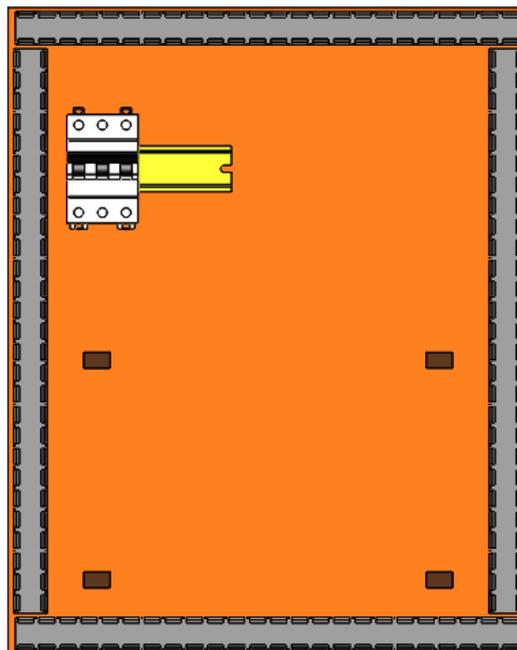


Figura 19-4: Montaje del disyuntor
Fuente: Autores

Ahora se necesita una fuente de alimentación de 24 VDC para accionar el sensor de presión, ya que no funcionara con los de 5 VDC.

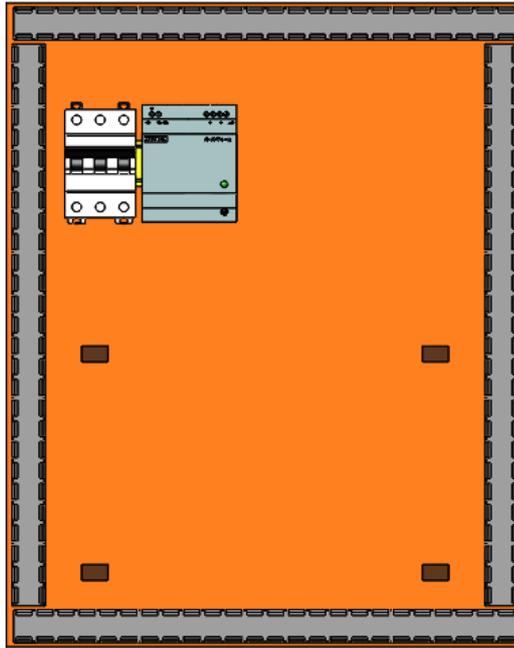


Figura 20-4: Fuente de alimentación de 24 VDC
Fuente: Autores

El variador de velocidad G110 de 3.00 HP nos permite contar con una mayor potencia de trabajo y generó una eficiencia más confiable.

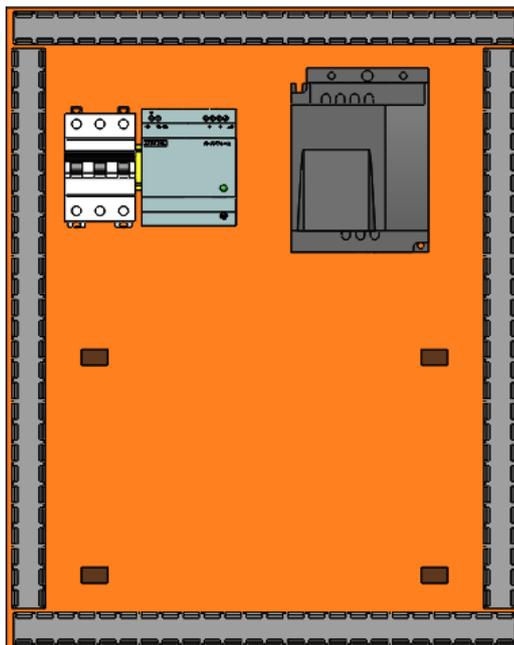


Figura 21-4: Variador de velocidad
Fuente: Autores

Para evitar el uso de muchos cables y dar una mejor estética al tablero se realizó una placa electrónica, ver el ANEXO G.

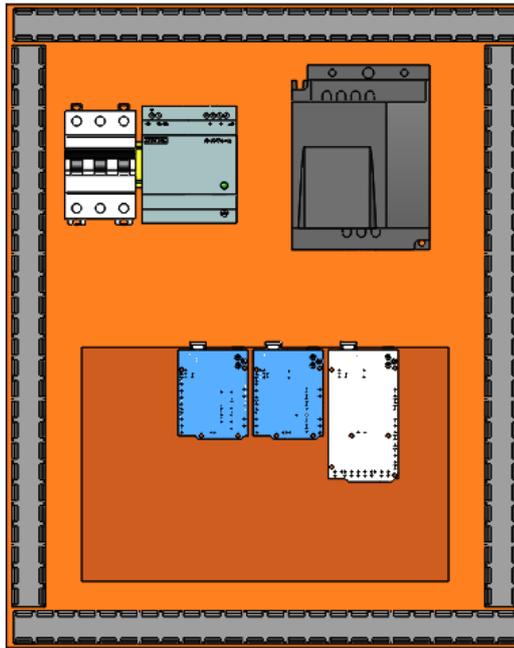


Figura 22-4: Montaje de Arduinos en placa electrónica
Fuente: Autores

En la misma placa se realizó el montaje de la Raspberry Pi 3, modelo B. Como la conexión es mediante cable USB tipo AB no se puede implementar en la placa.

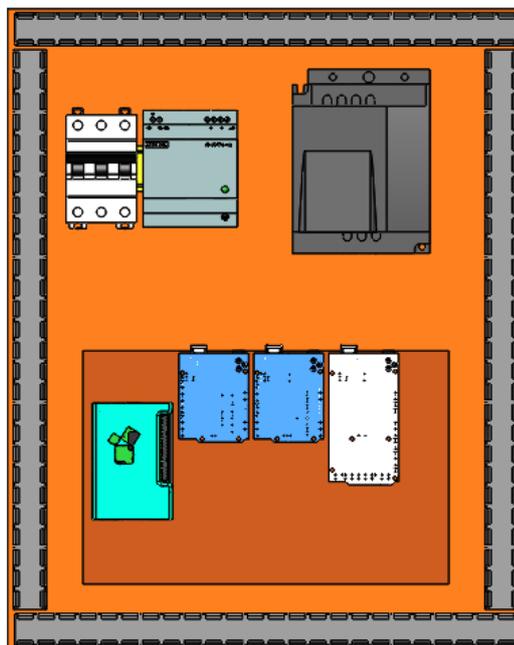


Figura 23-4: Raspberry Pi 3, modelo b
Fuente: Autores

Es necesario un módulo LM2596 para transformar el voltaje de 24 a 5 VDC, es cual se encarga de alimentar a los demás sensores.

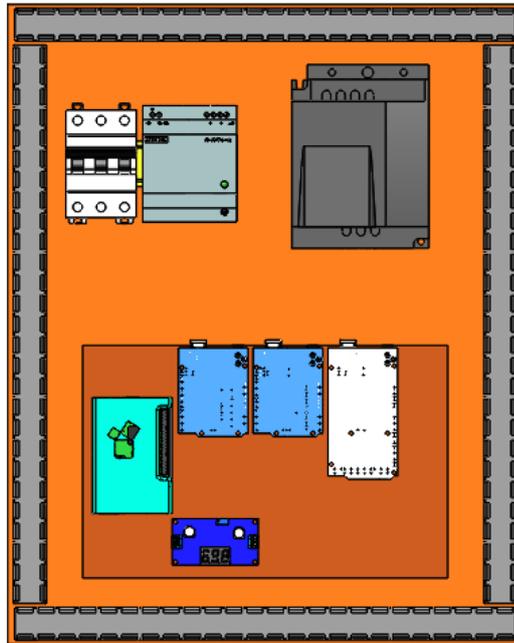


Figura 24-4: Módulo LM2596

Fuente: Autores

Para activación de los botones de encendido/apagado del laboratorio remoto se insertó un módulo de relés en la parte inferior derecha de la placa.

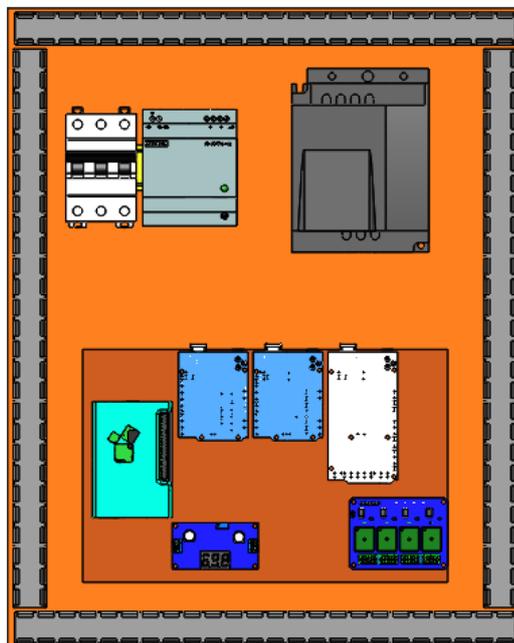


Figura 25-4: Módulo de relés

Fuente: Autores

Los sensores, como elementos externos al tablero tuvieron que ser conectados mediante el uso borneras, aquí se insertó los conectores de los cables USB tipo AB y tipo AC.

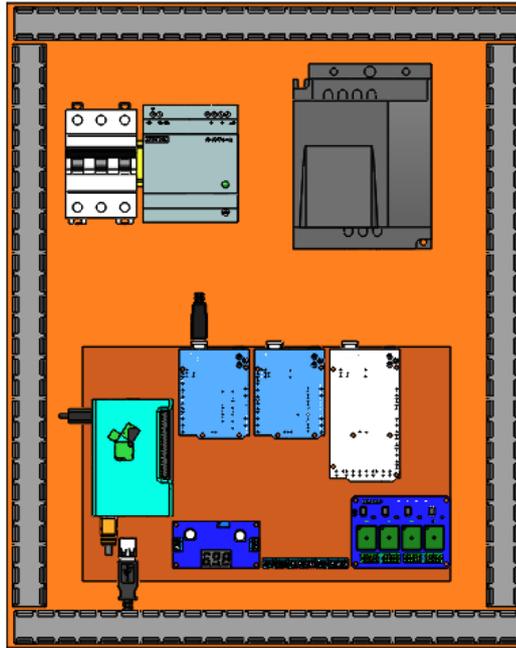


Figura 26-4: Borneras y conectores
Fuente: Autores

Finalizado el montaje de todos los elementos de control a la placa, se procedió a insertarla dentro del tablero de control.

Cerramos el tablero de control y finalizamos la conexión de las tarjetas a la red. Esto se logró mediante el cable de ethernet a la red de la institución.

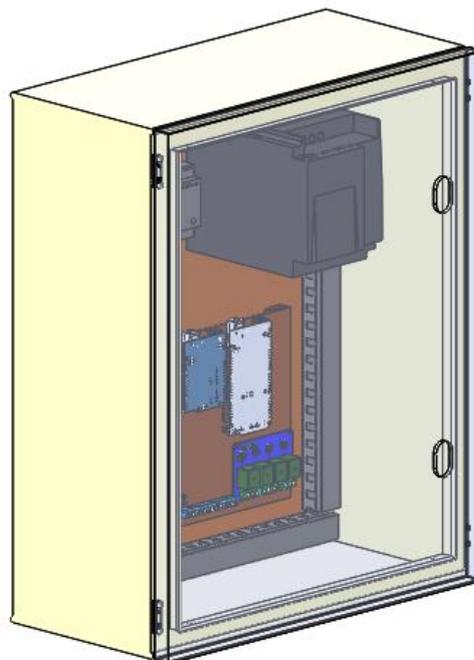


Figura 27-4: Tablero de control
Fuente: Autores

4.3. Enlace de la tarjeta Arduino con la Raspberry Pi

Parte importante de este trabajo de titulación es poder enlazar las dos principales tarjetas de estudio: Arduino y Raspberry Pi. El control de los datos se lo realizó gracias a la recepción de datos y manipulación del banco didáctico a través de la Raspberry Pi que al ser un ordenador portátil y diminuto nos ahorra el espacio físico con el que no contamos en el laboratorio.

El enlace de estas tarjetas se la realiza mediante comunicación serial, es decir, mediante el cable conector USB tipo AB. Es importante realizar el reconocimiento de a que puerto de la raspberry se realizó el vínculo con la placa Arduino, este puerto no puede cambiar ya que al hacerlo no será posible la transferencia de datos. Ver figura 28-4



Figura 28-4: Conexión serial entre Arduino y Raspberry Pi

Fuente: Autores

Para la comunicación remota tenemos que utilizar programas adicionales que sirven para el control de la Raspberry Pi, éste permite que manipulemos la tarjeta sin necesidad de conectar dispositivos como: monitor, teclado y mouse.

Putty es un software para la comunicación o enlace remoto hacia la Raspberry Pi al cual tenemos que acceder mediante la dirección física de la tarjeta. Se le asignó la IP fija de 172.21.205.166, la cual nos permitirá acceder de forma rápida a la interfaz del sistema operativo raspbian y así evitar el uso de un software adicional para identificar la misma. La red inalámbrica de la politécnica causa que siempre este cambiando.

4.3.1. Programación en python para el enlace de las tarjetas Arduino y Raspberry Pi

Una vez dentro de la interfaz del sistema operativo se procedió a la ejecución del software *Python*, al cual se accedió al dirigirnos al icono de inicio y seleccionando la opción de programación, una nueva cinta de opciones se despliega y damos click en la versión 3.

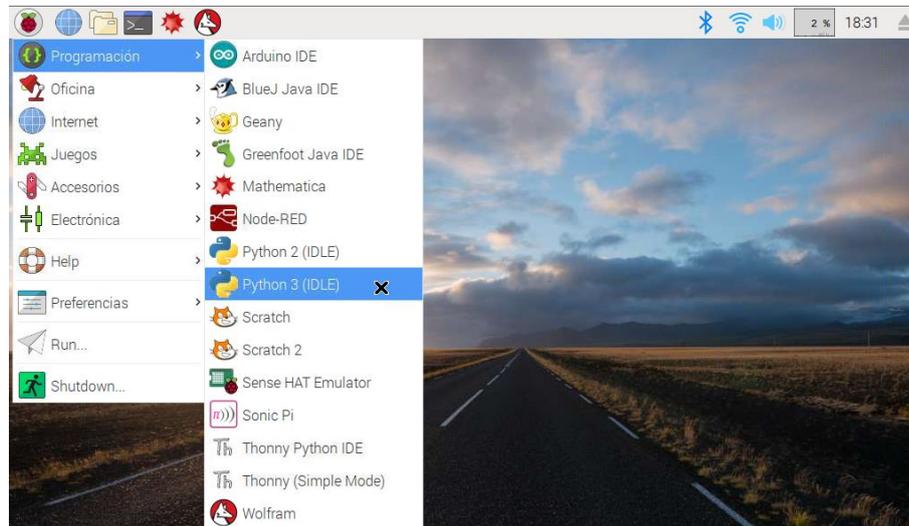


Figura 29-4: Selección del software Python 3

Fuente: Autores

Para la programación de transferencia de datos se tiene que tomar en cuenta que la declaración de librerías y puertos, algo similar a lo que se realizó en la programación de Arduino, con la diferencia de que los pines ahora se conocen como GPIO. En la figura 30-4 se muestran las librerías que intervienen en la adquisición de datos, así como la creación de la variable que alberga el puerto serial.

```
MONITOREO_REMOTO.py - /home/pi/MONITOREO_REMOTO.py (3.5.3) - □ ×
File Edit Format Run Options Window Help
#by-alfred
import socket,select #Libreria que permite la comunicacion ethernet
import serial #Libreria hacer comunicacion serial con Arduino
import time #Libreria que obtener la fecha
import struct #Libreria que permite establecer ip y comunicacion via ethernet
import RPi.GPIO as GPIO #Libreria poermite acceder a las entradas y salidas de r
import sys
import warnings #Libreria que detecta errores

GPIO.setmode(GPIO.BCM) #Pone Gpios en modo BCM
puertoserie = serial.Serial('/dev/ttyACM0',115200,timeout=1000) #Crea el puerto
s = socket.socket(socket.AF_INET,socket.SOCK_STREAM) #Crea la estructura para as
s1 = socket.socket(socket.AF_INET,socket.SOCK_STREAM)
GPIO.cleanup() ## Hago una limpieza de los GPIO
host1 ='172.21.205.166' #Direccion IP ethernet de la raspberry
port1 =8007 #Puerto de comunicacion ethernet
```

Figura 30-4: Creación de librerías y puerto serial

Fuente: Autores

En el bloque que se muestra a continuación (figura 31-4) se encuentra un extracto de la programación para el envío y recepción de datos desde la placa maestro de Arduino. El programa desarrollado permite la inicialización y el cierre de la conexión remota entre la Raspberry y el software desarrollado en LabVIEW que permite el almacenamiento, monitoreo y graficación de las variables en tiempo real.

```

try:
while (True):
i=i+1
if i%2==0:
#puertoserie.setDTR(False)
#time.sleep(0.01)
#puertoserie.setDTR(True)
sArduino = puertoserie.readline() #Lee los datos enviados por el Arduino Ma
datos = sArduino.rstrip(b'\n') #Lee los datos hasta un salto de línea
print(datos) #Muestra los datos enviados
s1.send(datos) #Envia los datos
else:
size = struct.unpack('i', s1.recv(4))[0] #Extrae los datos de la cadena
str_data =s1.recv(size)
dato=str_data.decode('ascii')
print(dato)
dato_int=int(float(dato))
dato_f=float(dato)
dato_str=format(dato_f, '.2f')
str_list= list(dato_str)
#puertoserie.write(dato.encode())
#print(dato_int)
if dato_int>=90000 and dato_int<=91720:
valor_esc=dato_int-90000
else:
valor_esc=dato_int
#print("valor_rpm",valor_esc)
valor_ciclo_rabajo=((6.4/180)*valor_esc)+2.1
valor_ciclo_rabajo=round(valor_ciclo_rabajo,1)
print("cilco_de_trabajo",valor_ciclo_rabajo)
p.ChangeDutyCycle(valor_ciclo_rabajo)
if dato_int>=90000 and dato_int<=91720:

```

Figura 31-4: Envío y recepción de datos desde Arduino

Fuente: Autores

Se guardó el programa como *MONITOREO_REMOTO.py*, extensión con la que se almacenan todos los archivos generados en python.

4.4. Desarrollo del laboratorio remoto en LabVIEW

Antes de adentrarnos en el desarrollo del laboratorio remoto (programación) es necesario conocer un poco del protocolo que permite la interacción entre Raspberry Pi y LabVIEW.

4.4.1. Protocolo TCP/IP

El protocolo TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol, por sus siglas en inglés) es el encargado de realizar la comunicación de 2 computadores mediante la conexión a una misma red.

De la misma forma este protocolo está conformado por dos protocolos independientes, el TCP, encargado de dividir la información en porciones pequeñas (paquetes) para la corrección de errores al momento de recibir los mismos. Y el protocolo IP, basado en las direcciones físicas de cada ordenador por los cuales se transmitirá la información.

Este protocolo permite que, de forma independiente, sin importar el sistema operativo de las PC se logre comunicar entre sí. También establece las normas o reglas a las cuales se rige el intercambio de datos en la red.

Por eso fue necesaria la asignación de una dirección fija de la Raspberry Pi al inicio de este capítulo, la cual nos facilitara la transmisión de datos desde la raspberry hacía el ordenador que necesita adquirir los datos del banco didáctico. Cabe recordar que nuestra dirección IP se fijó en 172.21.205.166.

4.4.2. Programación en LabVIEW

En entorno de LabVIEW consta de dos ventanas de programación, en una de ellas se realiza la visualización de instrumentos virtuales, más conocida como *panel frontal*, algo muy dinámico, intuitivo y gráfico. La segunda llamada *diagrama de bloques*, éste es un poco más guiada al cableado y conexión de componentes eléctricos necesarios para el correcto funcionamiento de los equipos virtuales, ver figura 32-4.

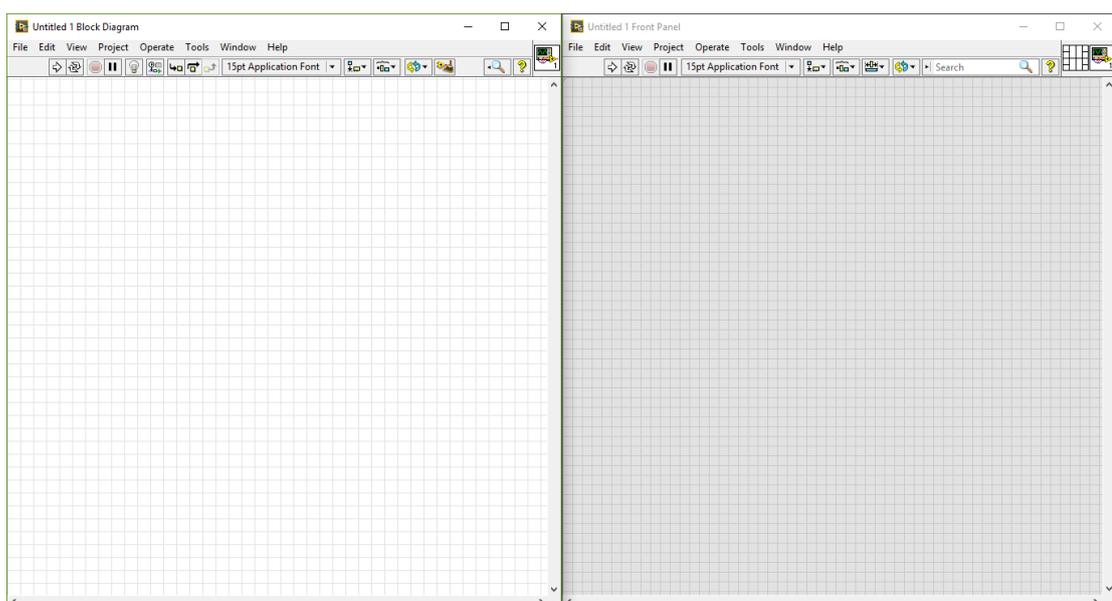


Figura 32-4: Entorno de LabVIEW

Fuente: Autores

Para nuestro laboratorio remoto se utilizaron cuatro gráficas de control, una para cada variable a ser medida. Cinco controladores de gráficos para cada las curvas de estudio (variable en x/y), indicadores de cadena, dos controladores numéricos y varios botones para el control del encendido/apagado del tablero de control.



Figura 33-4: Panel frontal del laboratorio remoto
Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

Para establecer la conexión remota con el laboratorio remoto se procede a ingresar la dirección IP de la Raspberry en el recuadro superior izquierdo (conexión a internet).

4.5. Procedimiento para ingresar al laboratorio remoto

Ordenados en una carpeta cualquiera los programas que se utilizaron para la ejecución del laboratorio remoto son 3 y deben ejecutarse de manera ordenada y secuencial.

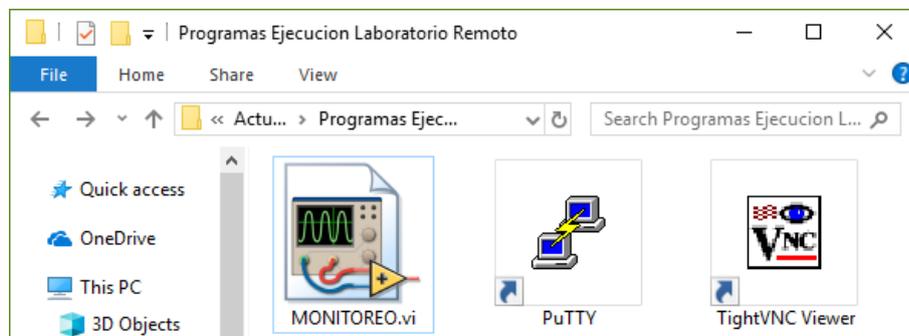


Figura 34-4: Programas para ejecución del laboratorio remoto
Fuente: Autores

El primero es el PuTTY y aquí ingresa la IP fija 172.21.205.166 en la opción *Host Name* (or IP address) y dar click en *Open*. Como se muestra en la figura a continuación.

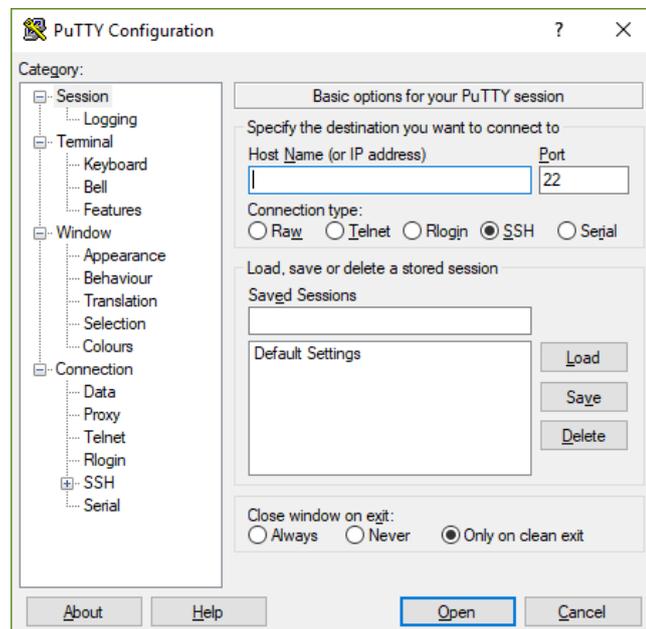


Figura 35-4: Conexión remota con software putty
Fuente: Autores

Se muestra la siguiente interfaz (figura 36-4) a la cual se accedió mediante el ingreso de un usuario y contraseña. Es necesario una interfaz gráfica más amigable para el desenvolvimiento de los usuarios por lo que se ingresó el comando *tightvncserver*, este comando ejecutó el segundo programa, y nos dará acceso al sistema operativo raspbian.

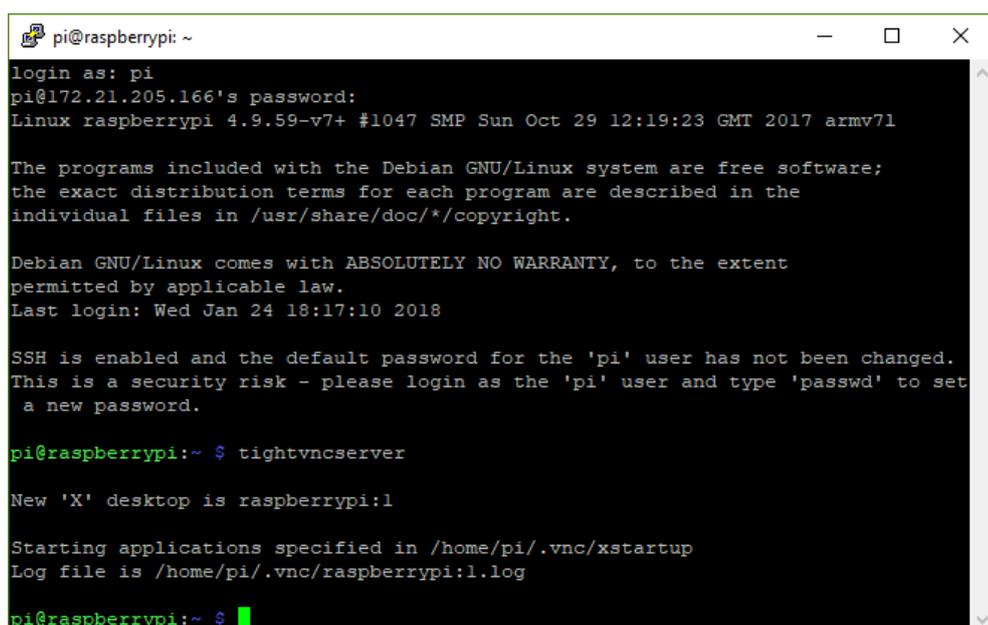


Figura 36-4: Interfaz de acceso remoto
Fuente: Autores

Un mensaje de espera nos indica que tenemos que ejecutar el programa *TightVNC Viewer* de manera individual como paso final. De la misma forma se tiene que ingresar la dirección física de la tarjeta, con diferencia que se agregó dos puntos y el número uno, damos enter (ver figura 37-4).

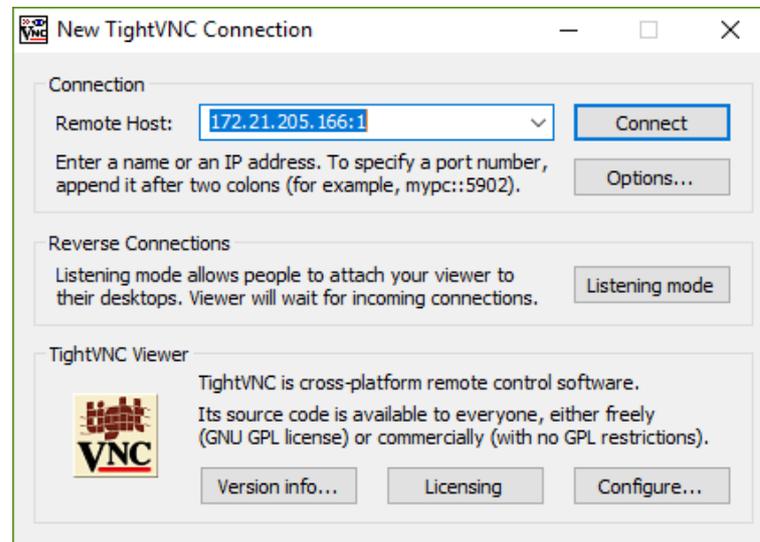


Figura 37-4: Software TightVNC Viewer
Fuente: Autores

Observamos la figura 38-4 del sistema operativo raspbian el cual es semejante a los sistemas operativos que ya conocemos como: windows o linux, entre otros. Se cuenta con varios iconos y programas preinstalados que manejaremos para el enlace de los datos.

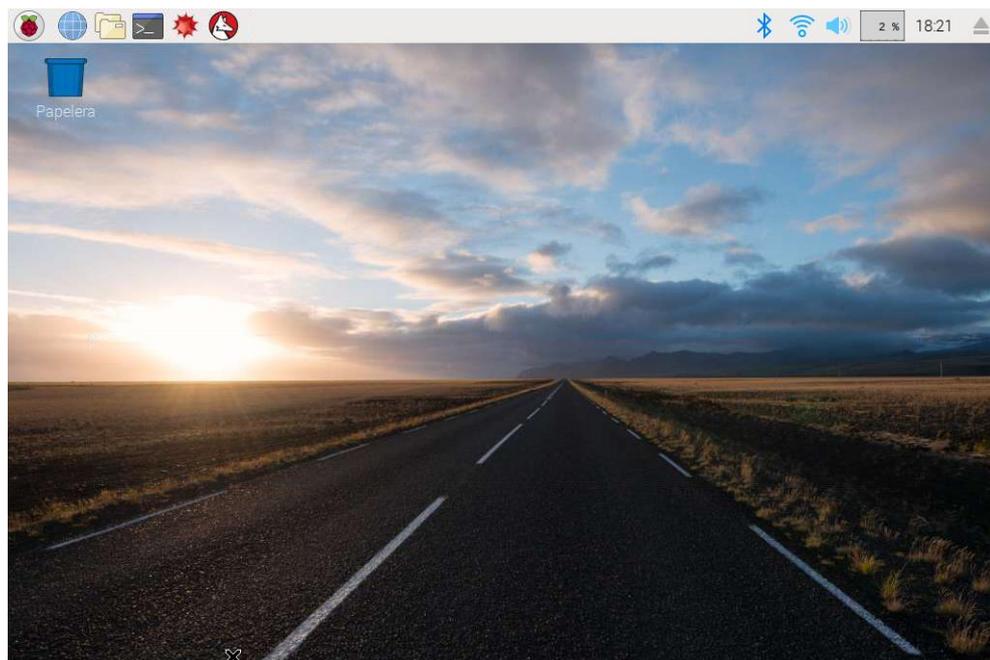


Figura 38-4: Sistema operativo Raspbian.
Fuente: Autores

Para establecer la conexión con el laboratorio de monitoreo remoto, primero se procede una vez ingresado de manera remota a la Raspberry, inicializar el software Python 3. Como se indica en la figura 29-4.

Posterior a esto, se abre el programa desarrollado con el nombre de MONITOREO_REMOTO.py.

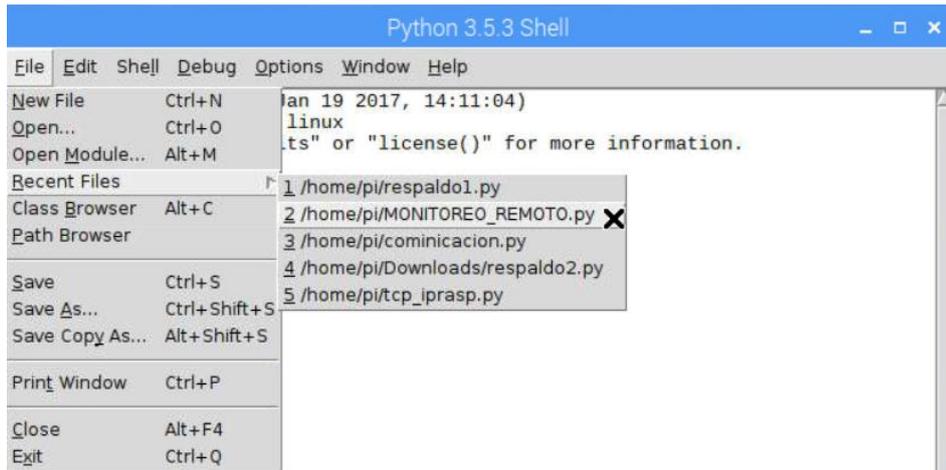


Figura 39-4: Acceso al programa MONITOREO_REMOTO.py
Fuente: Autores

El programa desarrollado en Python 3 permite la inicialización y el cierre de la conexión remota entre la Raspberry y el software desarrollado en LabVIEW que permite el almacenamiento, monitoreo y graficación de las variables en tiempo real. Figura 30-4.

Se procede a pulsar la tecla F5 para ejecutar el programa, y dejar listo el inicio de la comunicación en espera de una conexión remota.

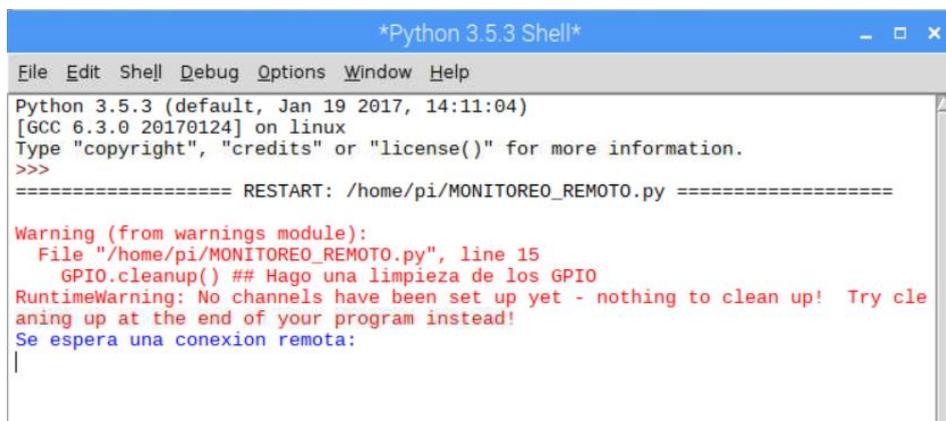


Figura 40-4: Ejecución del programa MONITOREO_REMOTO.py
Fuente: Autores

Una vez que se encuentra en espera de una conexión remota, se ejecuta el software desarrollado en LabVIEW con el nombre de Monitoreo.vi

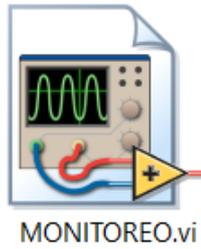


Figura 41-4: Acceso al programa Monitoreo.vi
Fuente: Autores

Una vez dentro del software, se va a encontrar una interfaz gráfica desarrollada para el monitoreo de las variables del banco de prueba, el control de encendido y apagado de las válvulas, la regulación de velocidad del motor y las gráficas características de la bomba de engranes. Figura 33-4.

Para establecer la conexión remota con el laboratorio remoto se procede a ingresar la dirección IP de la Raspberry.



Figura 42-4: Ingreso de la IP para conexión remota
Fuente: Autores

Ingresada la dirección IP se procede a dar click en Run ejecutando el programa y estableciendo de esta manera la conexión remota con el laboratorio del banco de prueba.

Al ejecutar el programa saldrá una opción para crear un archivo de Excel en el cual se van a almacenar todos los datos que serán monitoreados. Se procede a escribir un nombre y elijó el lugar donde se va almacenar dejando listo para las actividades de control y monitoreo.

Una vez establecida la conexión remota se van a empezar a recibir los datos, mismos que serán visualizados en las gráficas. Así como también se habilita el control de encendido de los dispositivos.

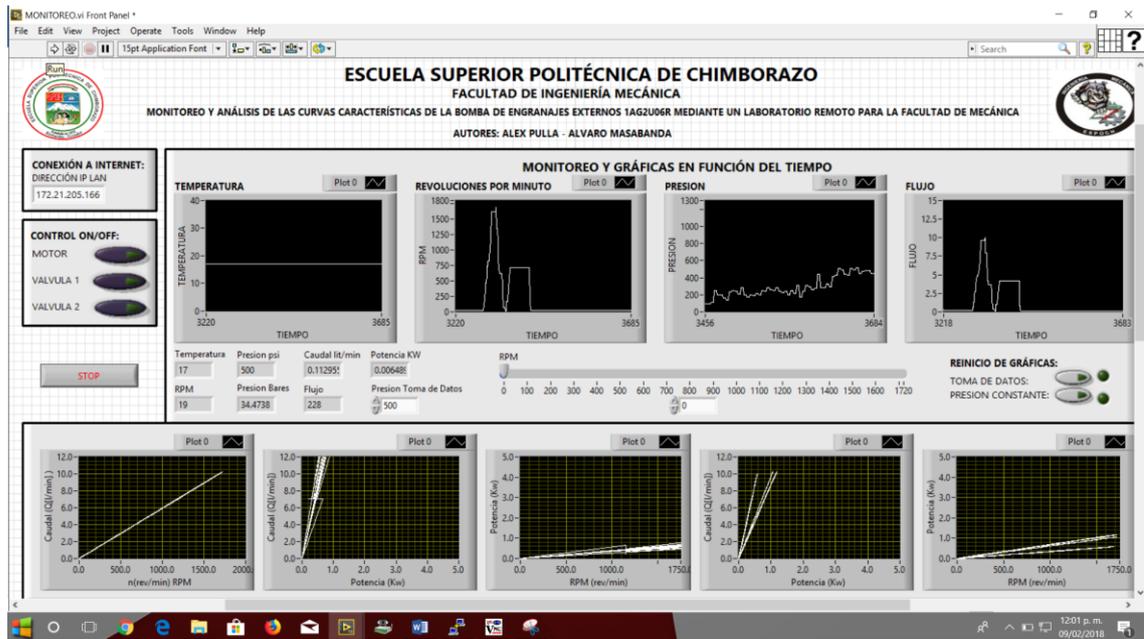


Figura 43-4: Laboratorio remoto en la toma de datos
 Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

Para finalizar la conexión con el laboratorio de monitoreo remoto se debe en primer lugar dentro del programa que se encuentra ejecutándose en la Raspberry presionar Ctrl + C, dando de esta manera el cierre de la comunicación remota entre la Raspberry y LabVIEW.

Dentro del programa de LabVIEW finalmente se procede a dar click en Stop.

CAPÍTULO V

5. FASE EXPERIMENTAL

Una vez realizada la respectiva investigación se procedió con la selección, montaje y calibración de instrumentos y equipos necesarios que se implementaron al banco de pruebas oleohidráulico de manera estratégica, con lo que se consiguió adecuar el banco para adquirir datos correctamente. Antes de la toma de datos se realizó el cálculo de las variables físicas siguiendo las expresiones matemáticas previamente encontrados; estos resultados encontrados teóricamente se tabularon y representados gráficamente, los cuales son utilizados como referencia para los resultados que se obtiene de la toma de datos por medio de instrumentos y laboratorio remoto.

5.1. Cálculo de las variables físicas

Para la adquisición de datos y cálculo de las variables físicas se realizó la caracterización del motor eléctrico y la bomba de engranajes, utilizando las especificaciones de cada equipo tomadas de los Anexos (A y B), considerándose como datos principales los siguientes:

Tabla 1-5: Datos técnicos de motor eléctrico y bomba de engranajes

Motor eléctrico	Velocidad de rotación nominal del motor (n)	1720 rpm	
Bomba de engranajes	Cilindrada (q)	6,1 cm ³ /rev	
		0,37 in ³ /rev	
	Presión (p)	Continua	3000 psi
		Maxima	3600 psi
Velocidad de rotación (N)	600-4000 rpm		

Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

Fuente: Autores

Los cálculos teóricos del caudal, potencia y torque de la bomba se realizaron a la velocidad de rotación nominal del motor 1720 rpm (180,1 rad/seg), cuya velocidad angular entra en el rango de rotación del eje de la bomba de engranajes, utilizando el valor de cilindrada de la bomba 6,1 cm³/rev (0,37in³/rev) para el cálculo del caudal y una presión de 3000 psi (206.8427 bar) para los demás parámetros.

5.1.1. Cálculo del caudal teórico generado por la bomba de engranajes externos

$$Q_t = N * C \quad (22)$$

$$Q_t = \frac{N \left[\frac{rev}{min} \right] * C \left[\frac{cm^3}{rev} \right]}{1000} [LPM]$$

$$Q_t = \frac{1720 \left[\frac{rev}{min} \right] * 6,1 \left[\frac{cm^3}{rev} \right]}{1000} [LPM]$$

$$Q_t = 10,492 [LPM]$$

$$Q_t = \frac{N \left[\frac{rev}{min} \right] * C \left[\frac{in^3}{rev} \right]}{231} [GPM]$$

$$Q_t = \frac{1720 \left[\frac{rev}{min} \right] * 0,37 \left[\frac{in^3}{rev} \right]}{231} [GPM]$$

$$Q_t = 2,755 [GPM]$$

5.1.2. Cálculo de la potencia hidráulica obtenida de la bomba de engranajes

$$P = \frac{p * Q_t}{600} [kw] \quad (23)$$

$$P = \frac{206,8 [bar] * 10,492 \left[\frac{Lts}{min} \right]}{600}$$

$$P = 3,61 [kw]$$

5.1.3. Cálculo del torque en el eje de la bomba de engranajes

$$\tau = \frac{Q_t * p}{600 * n} [Nm] \quad (24)$$

$$\tau = \frac{10,492 \left[\frac{Lts}{min} \right] * 206,8 [bar]}{600 * 180,1 \left[\frac{rad}{s} \right]} [Nm]$$

$$\tau = \frac{3,61 \left[\frac{KJ}{s} \right]}{180,1 \left[\frac{rad}{s} \right]} * 1000 [Nm]$$

$$\tau = 20,04 [Nm]$$

5.1.4. *Curvas características de la bomba de engranajes 1AG2U06R encontradas teóricamente*

Para encontrar las gráficas con los datos calculados teóricamente, se consideró tomar un valor de presión constante de 1200 psi (82,74 bar) que además es a presión máxima con la que se realizaron las pruebas experimentalmente y a distintos valores de revoluciones por minuto, iniciando en 100 rpm hasta 1720 rpm (180,1 rad/seg), con lo que se consigue graficar las curvas que proporcionan en el catálogo de la bomba, las cuales son: Caudal vs Número de revoluciones (Q_t vs N); Caudal vs Potencia (Q_t vs P) y Potencia vs Número de Revoluciones (P vs N).

Tabla 2-5: Datos de las variables obtenidos teóricamente a 1200 psi

RPM	Caudal [l/min]	Presión [PSI]	Presión [BAR]	Potencia [kW]	Torque [Nm]
100	0,61	1200	82,737	0,0841	8,032
200	1,22	1200	82,737	0,1682	8,032
300	1,83	1200	82,737	0,2523	8,032
400	2,44	1200	82,737	0,3365	8,032
500	3,05	1200	82,737	0,4206	8,032
600	3,66	1200	82,737	0,5047	8,032
700	4,27	1200	82,737	0,5888	8,032
800	4,88	1200	82,737	0,6729	8,032
900	5,49	1200	82,737	0,7570	8,032
1000	6,1	1200	82,737	0,8412	8,032
1100	6,71	1200	82,737	0,9253	8,032
1200	7,32	1200	82,737	1,0094	8,032
1300	7,93	1200	82,737	1,0935	8,032
1400	8,54	1200	82,737	1,1776	8,032
1500	9,15	1200	82,737	1,2617	8,032
1600	9,76	1200	82,737	1,3459	8,032
1700	10,37	1200	82,737	1,4300	8,032
1720	10,492	1200	82,737	1,4468	8,032

Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

Fuente: Autores

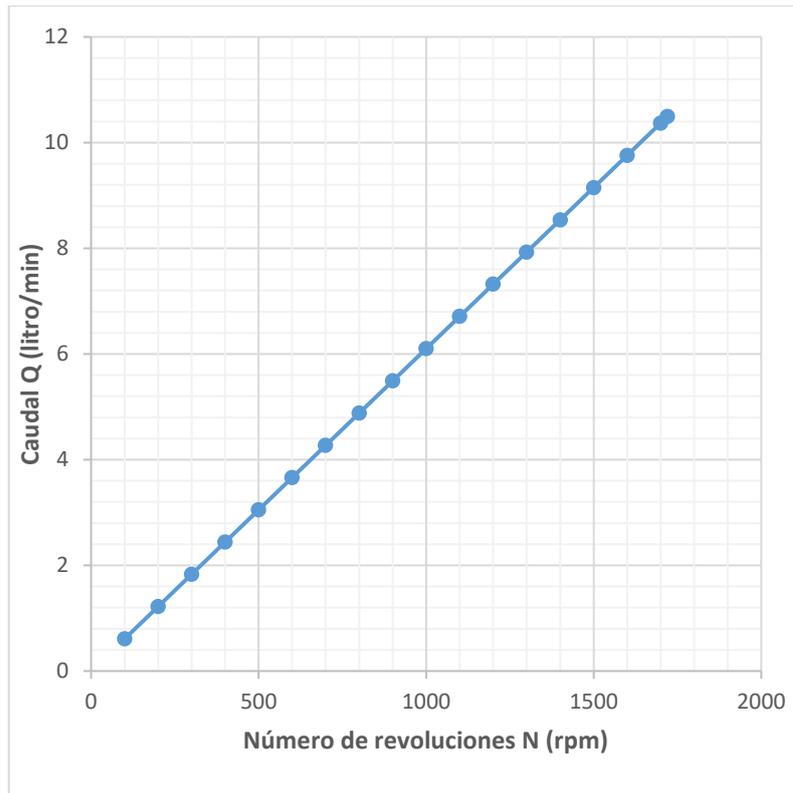


Gráfico 1-5: Curva teórica caudal vs número de revoluciones
 Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

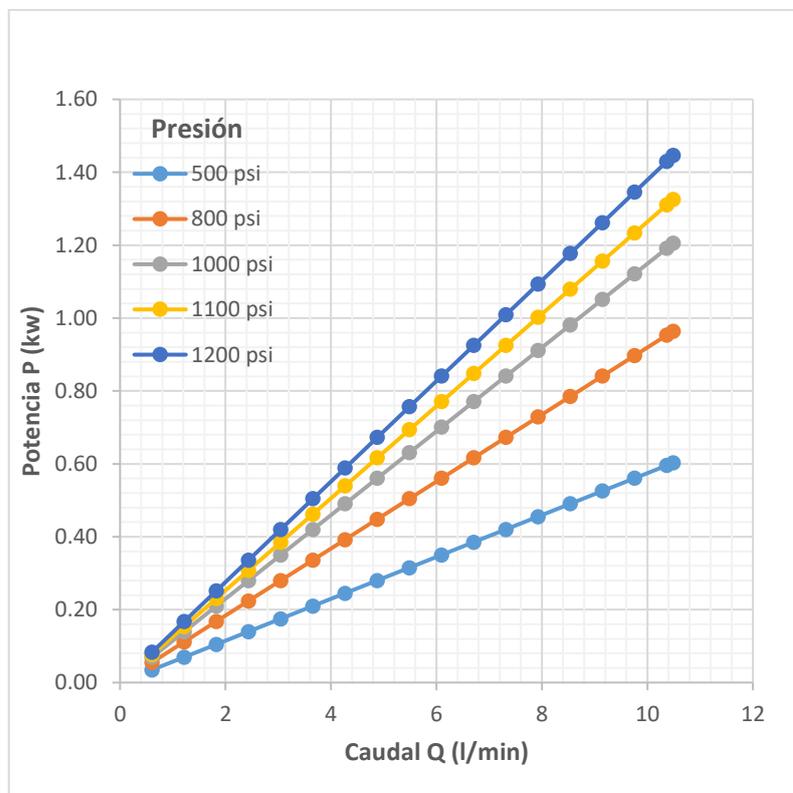


Gráfico 2-5: Curva teórica caudal vs potencia a diferentes presiones
 Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

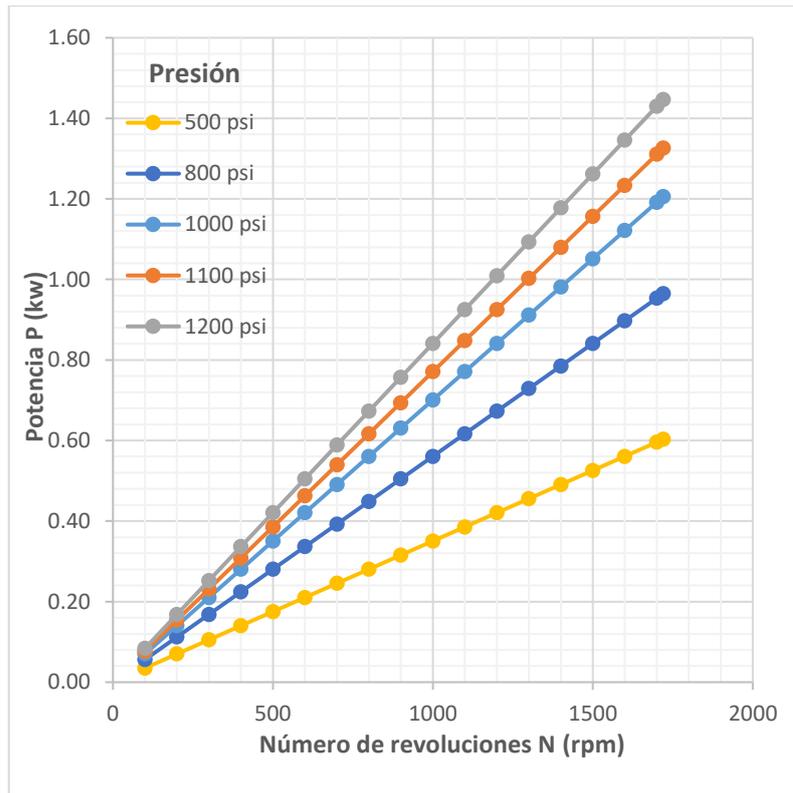


Gráfico 3-5: Curva teórica potencia vs número de revoluciones
Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

5.1.5. *Curvas características de la bomba de engranajes externos 1AG2U06R proporcionadas por el catálogo*

Las curvas características de la bomba de engranajes externos 1AG2U06R según el catálogo (Anexo F) se muestran a diferentes valores de presiones constantes de trabajo, teniendo como variación el número de revoluciones por minuto.

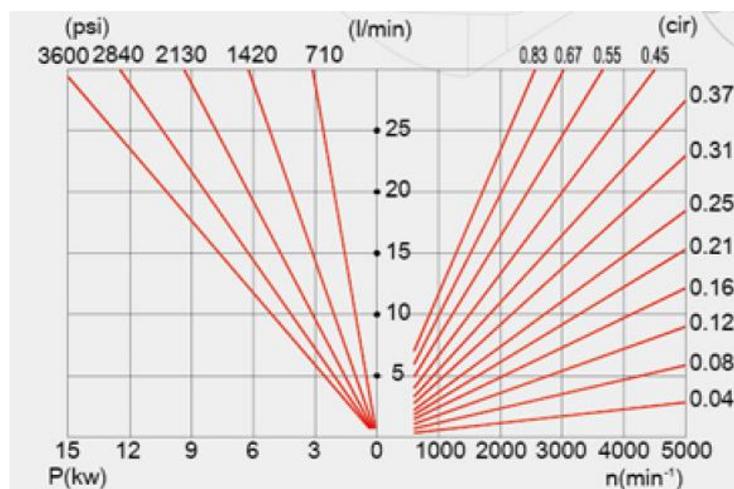


Gráfico 4-5: Curva caudal vs potencia y curva caudal vs número de revoluciones
Fuente: (HONOR, 2008)

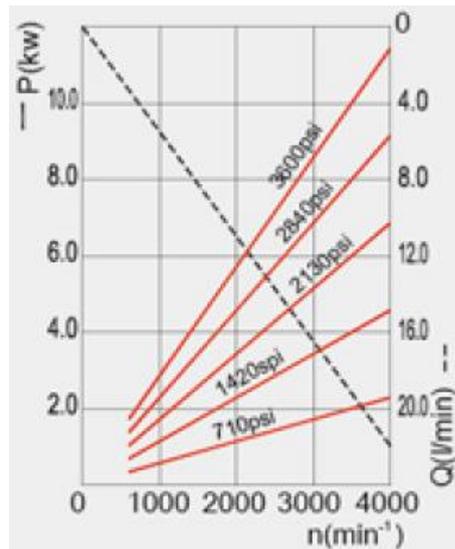


Gráfico 5-5: Curva potencia vs número de revoluciones
Fuente: (HONOR, 2008)

5.2. Realización de la toma de datos

Para realizar una adecuada toma de datos, el circuito oleohidráulico y el sistema de adquisición debe estar debidamente instalado y funcionando adecuadamente, esto ayudará a que se obtenga datos fiables en poco número de pruebas. Las señales físicas que son convertidas en tensiones eléctricas son digitalizadas por la tarjeta Arduino por lo que es necesario reducir toda perturbación eléctrica en el banco, teniendo todo a punto y siguiendo el manual de funcionamiento predeterminado para el manejo del banco y laboratorio remoto, se realizó la toma de datos de caudal, presión y potencia, de la siguiente manera:

1. Se tomaron los datos cada 100 rpm empezando en 100 rpm hasta llegar a 1720 rpm.
2. Los datos son tomados a presiones constantes, con valores de 500, 800, 1000 y 1200 psi. Para mantener la presión constante, ya que al subir la velocidad angular también aumenta la presión, se estrangula la válvula de flujo que controla el actuador, hasta obtener la presión constante requerida cada vez que se incrementa la velocidad angular de giro.
3. Se espera alrededor de 2 minutos por cada variación de velocidad, hasta alcanzar que el sistema se estabilice y obtener valores aceptables, al final de las pruebas se

obtiene una base de datos que es generada por el laboratorio remoto. Se realizó cinco tomas de datos experimentales con el fin de comparar la base de datos de cada prueba entre sí para ver si existe un margen de error considerable.

5.3. Resultados de la toma de datos

Para obtener los datos mediante el laboratorio remoto, luego de ingresar a la interfaz del mismo al mandar a correr el programa se genera de forma automática un archivo en formato Excel donde se muestran alrededor de 100 valores por cada ingreso de número de revoluciones por minuto, los datos que se obtiene son de caudal, presión, potencia y la presión a la cual el usuario realizo las pruebas.

Una vez cumpliendo con el proceso de adquisición de datos, y siguiendo la metodología antes descrita, se obtuvo como resultado los siguientes datos y las gráficas.

Tabla 3-5: Reporte del laboratorio remoto

RPM	CAUDAL [LPM]	PRESION [PSI]	PRESION [BAR]	POTENCIA [KW]	TORQUE [J]	TEMPERATURA
100	0,515	1200	82,7371	0,071	6,7815	28,7
200	1,079	1200	82,7371	0,149	7,1041	24,5
300	1,821	1200	82,7371	0,251	7,9930	24,5
400	1,828	1200	82,7371	0,252	6,0178	25,7
500	2,637	1200	82,7371	0,364	6,9448	25,7
600	2,837	1200	82,7371	0,391	6,2263	25,7
700	4,212	1200	82,7371	0,581	7,9234	27,2
800	4,786	1200	82,7371	0,660	7,8778	27,2
900	4,741	1200	82,7371	0,654	6,9366	27,7
1000	5,676	1200	82,7371	0,783	7,4742	26,9
1100	6,570	1200	82,7371	0,906	7,8649	26,8
1200	5,864	1200	82,7371	0,809	6,4348	27,8
1300	7,921	1200	82,7371	1,092	8,0234	29,1
1400	8,530	1200	82,7371	1,176	8,0231	29,1
1500	8,048	1200	82,7371	1,110	7,0651	30,1
1600	9,742	1200	82,7371	1,343	8,0177	36,8
1720	9,884	1200	82,7371	1,363	7,5670	39,8

Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

Fuente: Autores

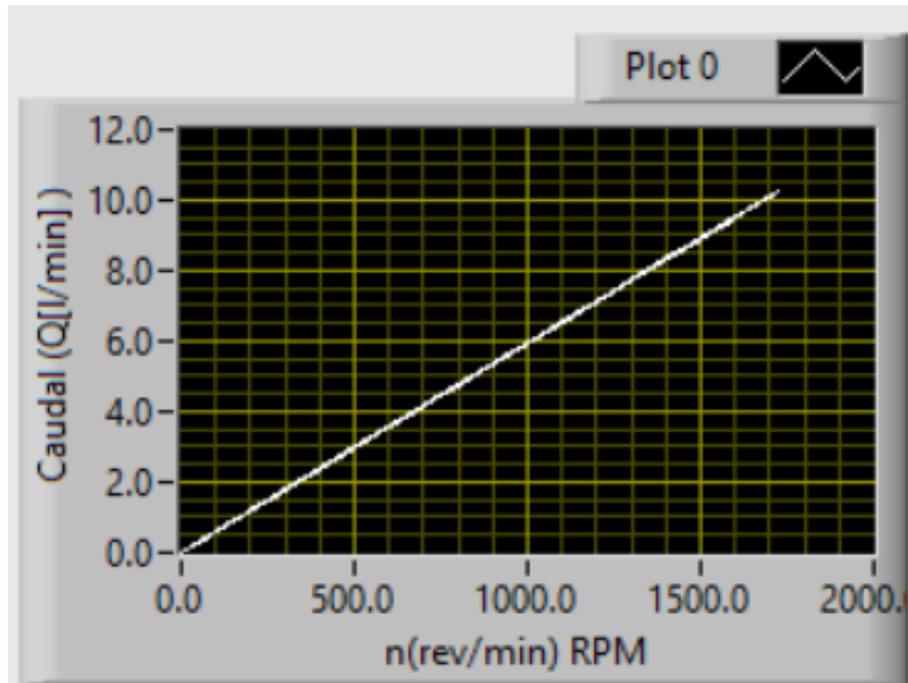


Gráfico 6-5: Curva caudal vs número de revoluciones
 Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

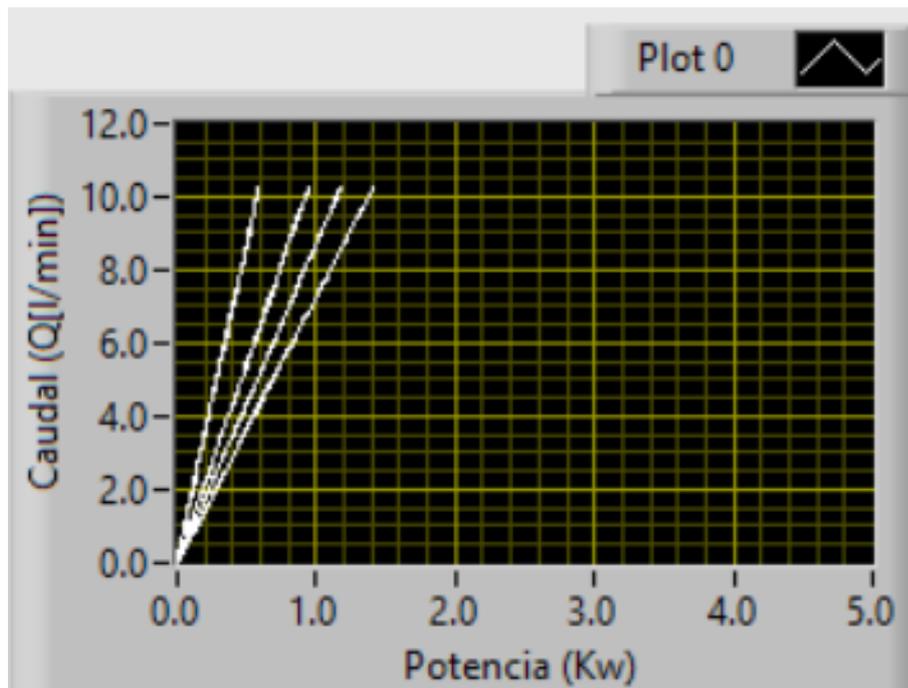


Gráfico 7-5: Curva caudal vs potencia
 Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

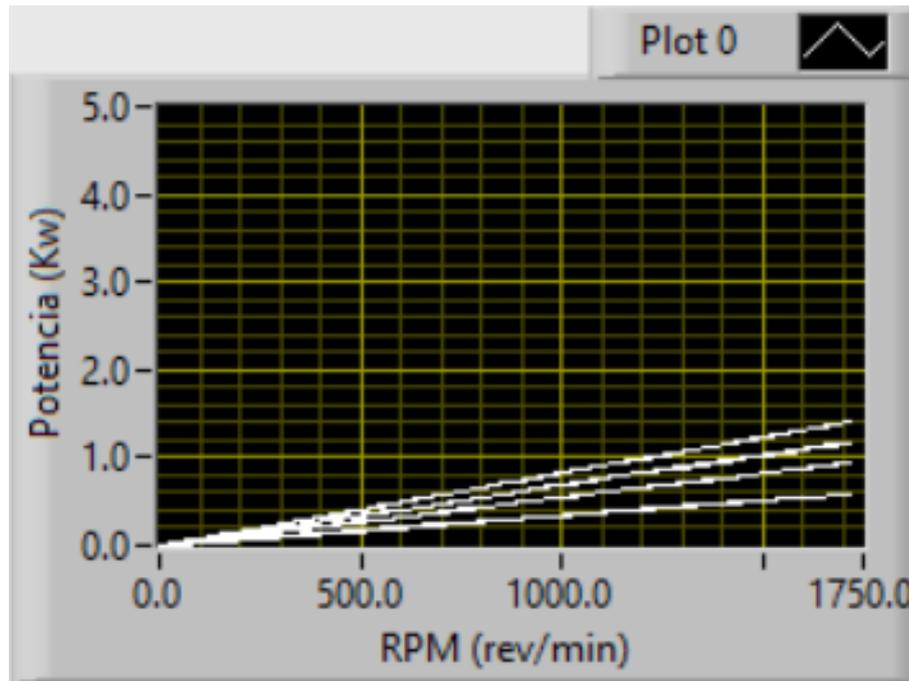


Gráfico 8-5: Curva potencia vs número de revoluciones
Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

5.4. Análisis e interpretación de resultados

Con los programas y equipos implementados al banco de pruebas se puede observar que la adquisición de datos es rápida y en tiempo real, los cuales nos permitieron apreciar con mayor exactitud y claridad las diferentes gráficas de curvas características de funcionamiento de la bomba de engranajes externos 1AG2U06R.

5.4.1. Análisis de los datos obtenidos

De los datos que brinda los reportes del laboratorio remoto se obtuvo gráficas con tendencia lineal marcada a pesar de la dispersión existente, mostradas desde las figuras 9-5 a 11-5, donde una vez linealizadas se puede apreciar el caudal volumétrico en función del número de revoluciones por minuto (Q vs n); el caudal en función de la potencia hidráulica (Q vs P); y la potencia en función del número de revoluciones por minuto (P vs n); todas esas a distintos valores de presión constante y a distinta velocidad angular.

5.4.2. Análisis de las curvas características de la bomba de engranajes externos IAG2U06R

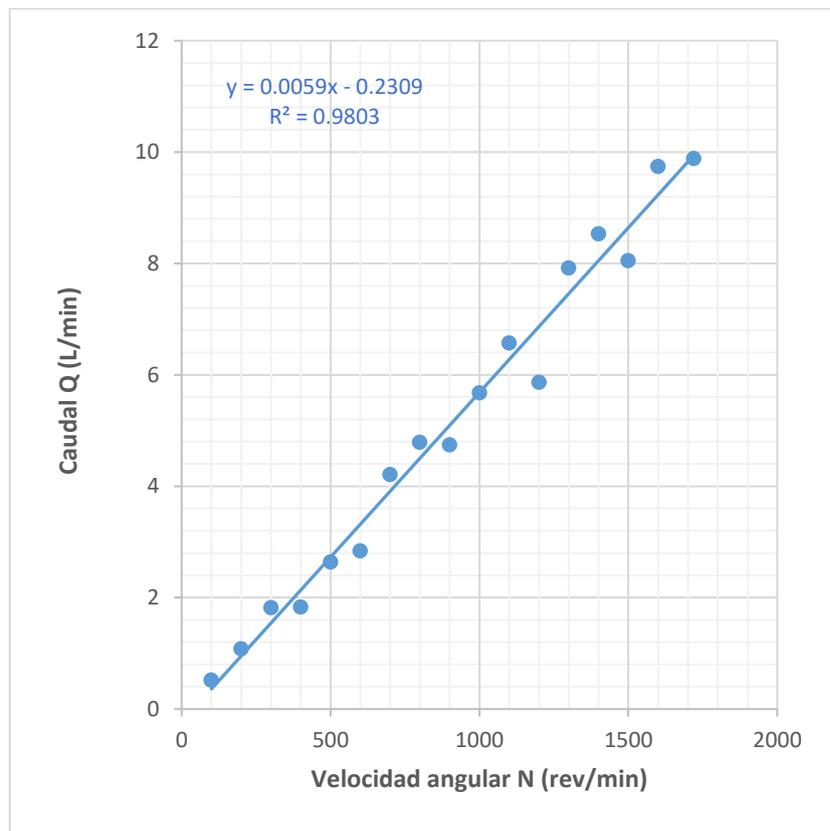


Gráfico 9-5: Curva caudal vs velocidad angular
Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

La gráfica 9-5, indica gráficamente el comportamiento del caudal en función de la velocidad angular, estos dos parámetros son directamente proporcionales entre si es por eso que se observa que a medida que se aumenta la velocidad angular también aumenta el caudal, obteniendo una tendencia lineal creciente, alcanzando un valor de caudal máximo de 9,884 LPM a 1720 RPM ya que no se puede tomar datos a velocidades mayores de la velocidad nominal del motor. Además, se observa que hasta antes de las 1000 RPM los valores de caudal son relativamente uniformes con poca distorsión, de ahí en adelante los valores tienden a distorsionarse porque la frecuencia del motor es alta, la vibración del motor es considerable por el aumento de presión y por ende existe más ruido, esto hace que los sensores, especialmente el sensor que mide el caudal tenga menos exactitud, sin embargo gracias al tiempo de estabilización que se tiene y las diferentes toma de datos se logra obtener datos de caudal adecuados hasta llegar a 1720 RPM.

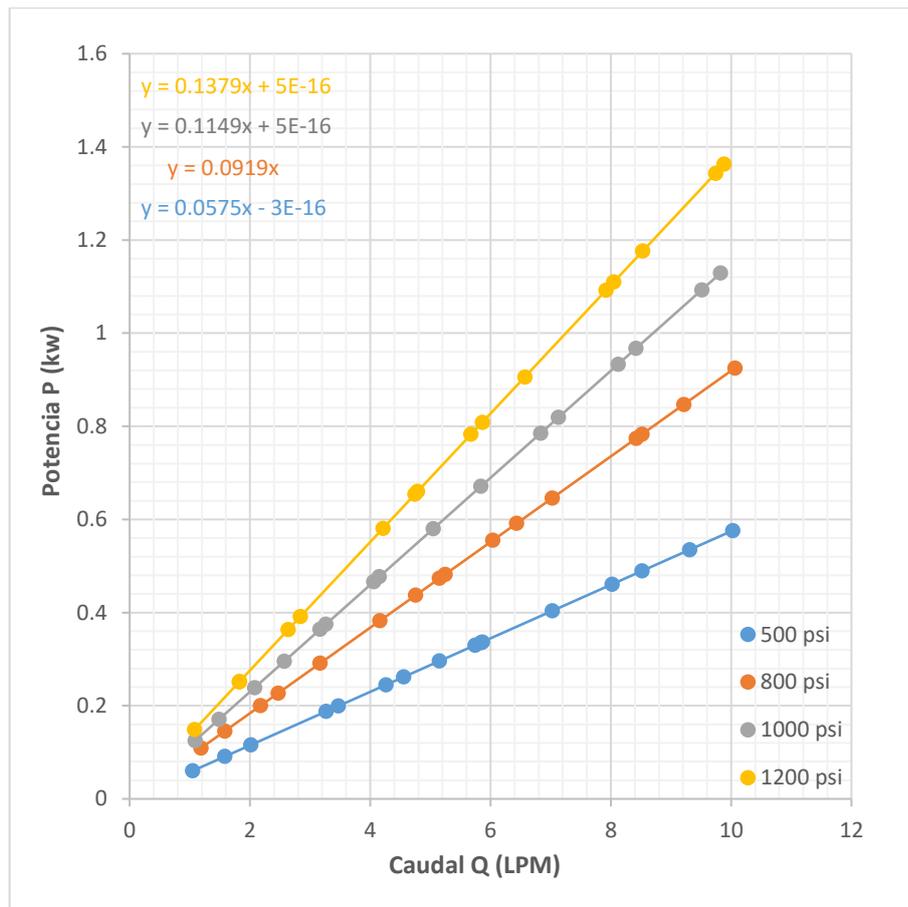


Gráfico 10-5: Curva potencia vs caudal
Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

En la gráfica 10-5, se muestra el comportamiento de la potencia hidráulica en función del caudal, donde se observa que a medida que aumenta el caudal aumenta la potencia que genera la bomba, esto se debe a que, al ser el caudal una de las variables para calcular la potencia se crea una relación de proporcionalidad entre los dos parámetros, acompañados de la presión del sistema que tiene que ser constante; la presión del sistema aumenta proporcionalmente al aumentar la velocidad angular de rotación del eje de la bomba y para mantenerla constante al valor de presión requerido se manipula la válvula de control de flujo que está antes del actuador, cerrándola o abriéndola según la presión que se tenga al subir la velocidad angular, hasta llegar a mantenerla en el valor constante, por lo que se determina si el valor de la presión del sistema es alto, el valor de la potencia aumenta sustantivamente como se puede ver en la gráfica donde con un caudal de 9,884 LPM a 500 psi se tiene una potencia de 0,576 KW, mientras que con el mismo caudal de 9,884 LPM a 1200 psi se tiene una potencia de 1,36 KW que ya es un valor de potencia considerable para las operaciones de trabajo que realiza el banco de pruebas.

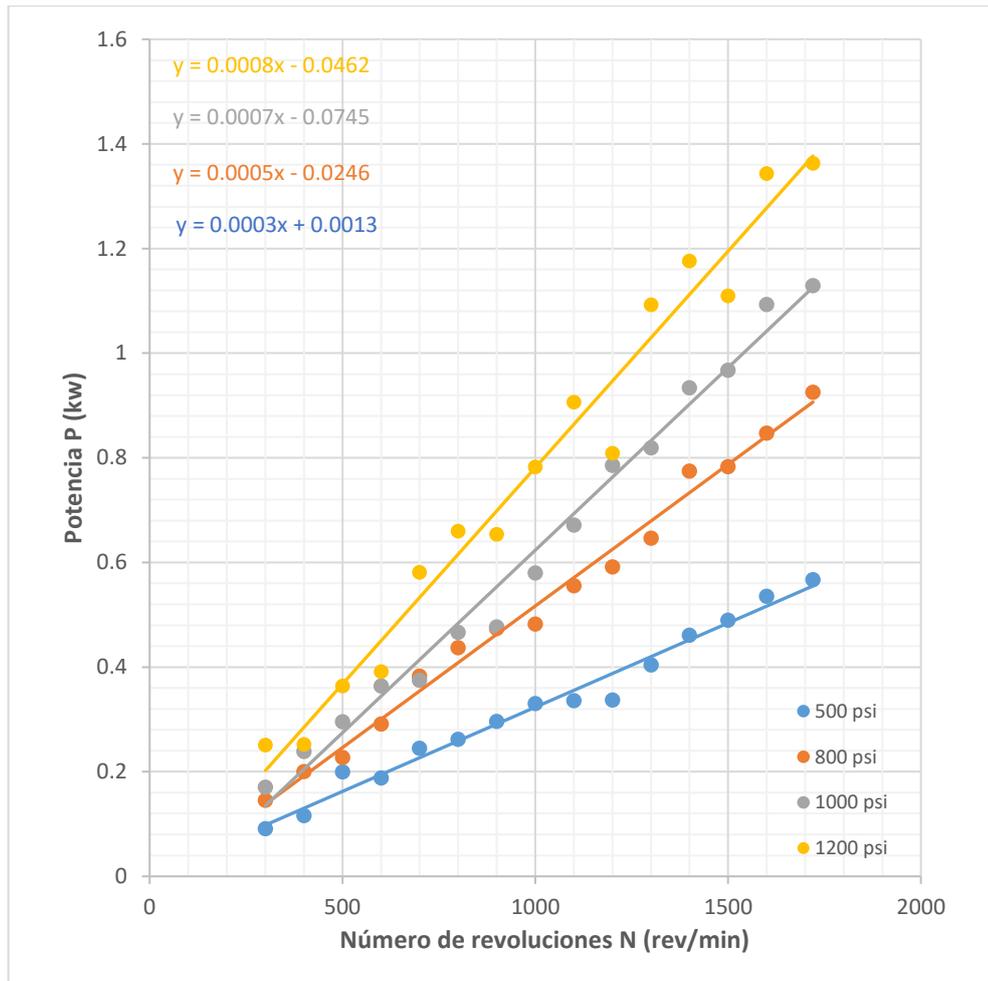


Gráfico 11-5: Curva potencia vs velocidad angular
 Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

La gráfica 11-5 se observa el comportamiento de la potencia en función de la velocidad angular al que gira el eje de la bomba, esta curva se deriva de la misma experimentación realizada para obtener la curva Potencia en función del caudal (P vs Q), es por eso que a 300 RPM que es la velocidad más baja donde se obtiene datos estables de potencia y a 500 PSI de presión se tiene una potencia de 0,09 KW, si se aumenta la velocidad aumenta el caudal, en este caso al llegar a 1720 RPM se alcanza una Potencia de 0,57 KW, que sigue siendo relativamente baja, el aumento de la potencia se debe al aumento de presión tal y como se indicó en el análisis de la anterior gráfica, todo va a depender de la carga que tenga la bomba de engranajes, mientras más carga tenga la bomba más potencia va a realizar.

5.4.3. *Análisis del comportamiento de la temperatura de fluido oleohidráulico en el sistema*

La temperatura del fluido oleohidráulico es un factor importante en un sistema de bomba de engranajes externos, tras realizar la toma de datos de temperatura en el fluido se puede considerar que la misma varía dependiendo del tiempo de trabajo, aumento de velocidad angular y presión del sistema. Para realizar un análisis de la variación de temperatura del fluido oleohidráulico se realiza la tabulación y se gráfica el aumento de temperatura en función del tiempo.

Los datos de temperatura son proporcionados por el laboratorio remoto a través de la base de datos que genera el mismo al igual que los demás parámetros, los cual se tabulan a continuación para obtener su respectiva curva y análisis de las mismas.

Tabla 4-5: Datos de temperatura

VELOCIDAD ANGULAR [RPM]	PRESIÓN [PSI]	TEMPERATURA [°C]	TIEMPO [MIN]
100	500	20,8	2
400	500	22,6	8
800	500	23,9	16
1200	500	24,9	24
1600	500	29,7	32
1720	500	30,3	36
100	800	30,3	40
400	800	30,8	46
800	800	32,1	54
1200	800	32,1	62
1600	800	34,1	70
1720	800	34,4	74
100	1000	34,5	78
400	1000	35,2	84
800	1000	37,4	92
1200	1000	39,8	100
1600	1000	42,2	104
1720	1000	43,1	106
100	1200	43,1	108
400	1200	44,4	111
800	1200	45,7	115
1200	1200	47,1	119
1600	1200	47,5	123
1720	1200	47,3	125

Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018
Fuente: Autores

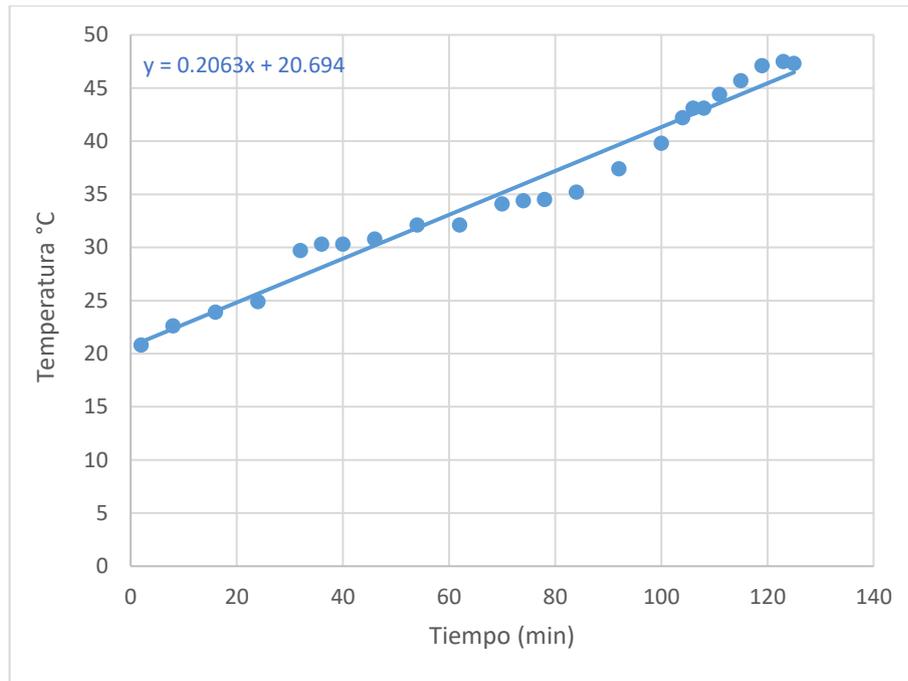


Gráfico 12-5: Curva temperatura vs tiempo
Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

La gráfica 12-5, nos indica el comportamiento de la temperatura del fluido oleohidráulico en función del tiempo, al inicio de la experimentación la temperatura del fluido es de 20.8°C que se considera es a temperatura ambiente del depósito, mientras se sigue aumentando la velocidad angular la temperatura aumenta, pero existe mayor aumento de temperatura del fluido cuando se aumenta el rango de presión de trabajo, a 500 PSI y 1720 RPM se tiene una temperatura de 30,3°C, y a la misma velocidad pero a 1200 PSI se obtiene una temperatura de 47,3°C, a pesar de que el depósito está diseñado para enfriar el fluido, este no logra enfriarlo del todo, es por eso que se tiene un aumento de temperatura considerable debido al tiempo de 2 minutos que se espera hasta que se estabilicen los datos en cada variación de presión, el cual genera un tiempo aproximado de 2 horas de práctica y trabajo continuo del sistema y a otro factor importante como el calentamiento del motor eléctrico.

El motor emite calor que transfiere directamente al depósito ya que están en contacto y no están aislados, para restar ese inconveniente las siguientes experimentaciones se la realizaron con una pausa de tiempo de 30 minutos antes de aumentar el valor de la presión, consiguiendo con eso que el depósito se enfrié y se tenga una temperatura menor, por ejemplo, a 1200 PSI y 1720 RPM la temperatura que alcanza el fluido es de 35,8°C, consiguiendo una disminución importante de temperatura.

5.4.4. Cálculo de la eficiencia volumétrica de la bomba de engranajes externos 1AG206UR

En la ecuación para el cálculo de la eficiencia volumétrica se ingresó el valor de caudal medido a una velocidad angular de 1720 RPM y a presión de 1200 PSI, sobre el caudal teórico de 10,492 LPM, donde se obtuvo una eficiencia volumétrica de 94,22%

$$\eta_v = \frac{Q_r}{Q_t} \quad (25)$$

$$\eta_v = \frac{1000 * 9,884 \left[\frac{lbs}{min} \right]}{6,1 \left[\frac{cm^3}{rev} \right] * 1720 \left[\frac{rev}{min} \right]}$$

$$\eta_v = 0,9422$$

Para obtener la gráfica de la eficiencia volumétrica de la bomba de engranajes externos 1AG206UR, se consideró tomar los valores de caudal a una velocidad angular constante de 1720 RPM a diferentes valores de presión tal como se indica en la tabla 5-5.

Tabla 5-5: Datos para la gráfica eficiencia volumétrica vs presión

PRESIÓN p [psi]	CAUDAL REAL [LPM]	CAUDAL TEORICO [LPM]	EFICIENCIA VOLUMETRICA η_v	EFICIENCIA VOLUMETRICA η_v [%]
100	9,801	10,492	0,9342	93
200	9,850	10,492	0,9388	94
300	10,011	10,492	0,9542	95
400	9,801	10,492	0,9341	93
500	9,871	10,492	0,9408	94
600	9,999	10,492	0,9530	95
700	10,075	10,492	0,9603	96
800	10,064	10,492	0,9592	96
900	9,631	10,492	0,9180	92
1000	9,825	10,492	0,9365	94
1100	9,813	10,492	0,9353	94
1200	9,884	10,492	0,9421	94

Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

Fuente: Autores

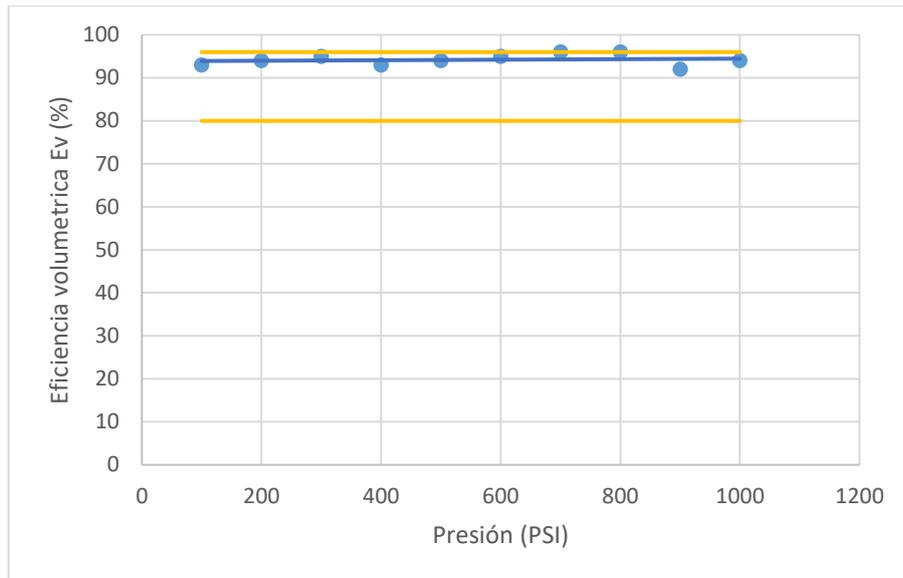


Gráfico 13-5: Curva eficiencia volumétrica vs presión
 Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

La gráfica 13-5 muestra la eficiencia volumétrica que tiene la bomba de engranajes externos 1AG206UR a una velocidad angular de 1720 RPM y a diferentes valores de presión hasta 1200 PSI, de donde realizando un promedio se obtiene una eficiencia volumétrica de 93,5% al cual se lo considera un valor de eficiencia volumétrica alto, ya los valores de eficiencia volumétrica que indica el catálogo de la bomba oscila entre el 85 – 95%, esto nos indica que la bomba tiene un desgaste y un tiempo de funcionamiento mínimos, también se puede determinar que está diseñada correctamente y bien empleada para este tipo de banco de pruebas oleohidráulico. Tras encontrar una eficiencia volumétrica alta también se debe considerar el factor de la bomba al momento de realizar la experimentación y toma de datos no está trabajando a toda su capacidad, ya que para encontrar la verdadera eficiencia de una bomba a esta se la debe hacer trabajar a condiciones máximas de trabajo, es decir con un valores aproximados a 3600 PSI y 4000 RPM, con los que también tendríamos un incremento considerable de temperatura en el fluido lo cual también influye en el rendimiento volumétrico de la bomba; en el caso de nuestro análisis por la disposición de los sensores para adquirir las señales y la capacidad del motor eléctrico, no se obtuvo un trabajo a máxima capacidad de la bomba, sin embargo a eso se puede adquirir los datos suficientes para encontrar un valor de eficiencia y probar que el sistema de laboratorio remoto empleado está funcionando adecuadamente con el que puede medir la eficiencia volumétrica y vida útil de cualquier bomba de engranajes externos que se requiera.

5.4.5. Cálculo de la eficiencia total de la bomba de engranajes externos IAG206UR

Para calcular la eficiencia total de la bomba de engranajes externos se necesitó medir la potencia eléctrica que se le entrega a la bomba por cada variación de carga que se le dio a la bomba, para ello se ubicó un vatímetro entre la entrada de la corriente y el motor eléctrico del banco, tomando los valores de potencia eléctrica cada vez que se incrementaba la presión, el valor de potencia de entrada que se ingresó en la ecuación es de 1,3630 KW que fue medida a 1200 PSI.

$$\eta_T = \frac{P_r}{P_e} \quad (26)$$

$$\eta_T = \frac{p_r * Q_r}{600 * P_e}$$

$$\eta_T = \frac{1,3630[kw]}{1,69[kw]}$$

$$\eta_T = 0,8064$$

Tabla 6-5: Datos para la gráfica eficiencia total vs presión

PRESIÓN p [psi]	PRESIÓN p [BAR]	CAUDAL [LPM]	POTENCIA Ph [kw]	POTENCIA ENTRADA Pe [kw]	EFICIENCIA TOTAL ηT	EFICIENCIA TOTAL ηT [%]
100	6,895	9,801	0,1126	0,141	0,79878	80
200	13,790	9,850	0,2264	0,2834	0,79879	80
300	20,684	10,011	0,3451	0,4117	0,83827	84
400	27,579	9,801	0,4505	0,5401	0,83411	83
500	34,474	9,871	0,5672	0,6981	0,81242	81
600	41,369	9,999	0,6894	0,8218	0,83892	84
700	48,263	10,075	0,8104	0,9801	0,82688	83
800	55,158	10,064	0,9252	1,091	0,84802	85
900	62,053	9,631	0,9961	1,2	0,83006	83
1000	68,948	9,825	1,1291	1,3901	0,81222	81
1100	75,842	9,813	1,2404	1,615	0,76805	77
1200	82,737	9,884	1,3630	1,69	0,80648	81

Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

Fuente: Autores

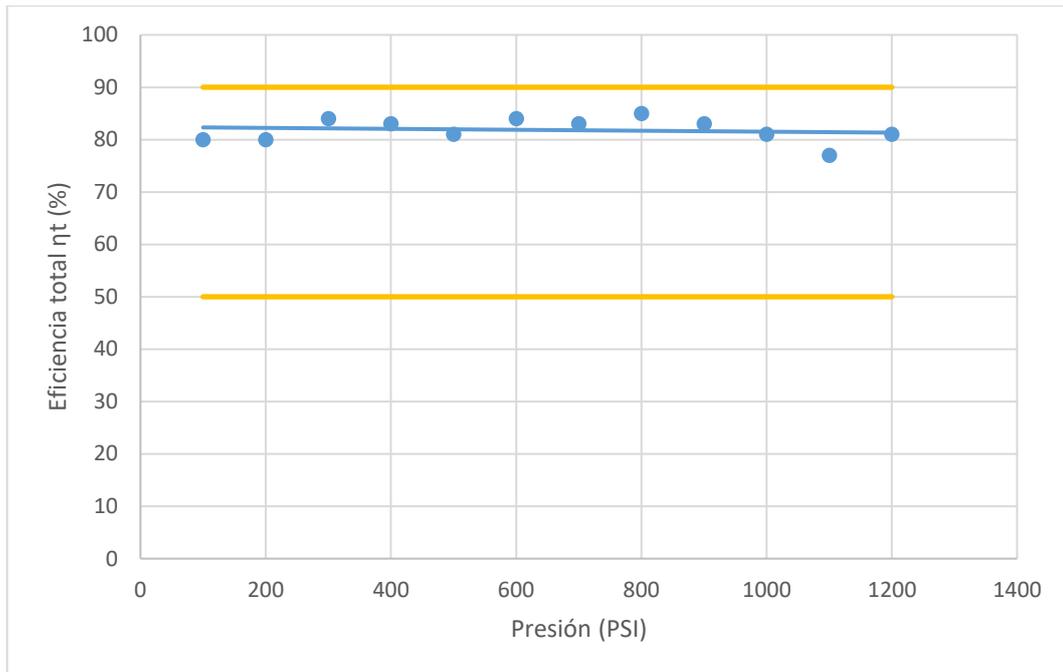


Gráfico 14-5: Curva eficiencia total vs presión
 Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

La gráfica 14-5 muestra la curva eficiencia total de la bomba de engranajes externos 1AG206UR en función de la presión, donde se observa que la bomba alcanza una eficiencia promedio de 81,16% que entra en el rango de eficiencia total que indica el catálogo de la bomba que es de 50-90%, utilizando el mismo concepto del análisis de la eficiencia volumétrica y considerando la condición de trabajo de la bomba al momento de medir los datos para obtener la eficiencia volumétrica y total, se determina que tras la evaluación de la bomba y el valor de eficiencias obtenidos, la bomba cumple con lo que el catálogo indica y cumple satisfactoriamente las operaciones de trabajo que se realicen.

5.5. Comparación de las curvas obtenidas experimentalmente con las obtenidas teóricamente.

Por medio de la adquisición de datos de parámetros hidráulicos de forma digital, se obtuvo las curvas características de manera experimental, las cuales se contrastaron con las curvas obtenidas teóricamente.

La tabla 7-5, indica los datos del caudal y potencia obtenidos teóricamente y el caudal y potencia obtenidos experimentalmente, para el caso de la potencia se considera los valores a 1200 PSI de presión y a distinto número de revoluciones de donde se realiza gráficamente la comparación entre las curvas teóricas y experimental.

Tabla 7-5: Datos teóricos y reales de caudal y potencia

RPM	CAUDAL TEÓRICO LPM	CAUDAL REAL LPM	POTENCIA TEÓRICA KW	POTENCIA REAL KW
			1200 PSI	
100	0,61	0,515	0,084	0,071
200	1,22	1,079	0,168	0,149
300	1,83	1,821	0,252	0,251
400	2,44	1,828	0,336	0,252
500	3,05	2,637	0,421	0,364
600	3,66	2,837	0,505	0,391
700	4,27	4,212	0,589	0,581
800	4,88	4,786	0,673	0,660
900	5,49	4,741	0,757	0,654
1000	6,1	5,676	0,841	0,783
1100	6,71	6,570	0,925	0,906
1200	7,32	5,864	1,009	0,809
1300	7,93	7,921	1,094	1,092
1400	8,54	8,530	1,178	1,176
1500	9,15	8,048	1,262	1,110
1600	9,76	9,742	1,346	1,343
1720	10,492	9,884	1,447	1,363

Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

Fuente: Autores

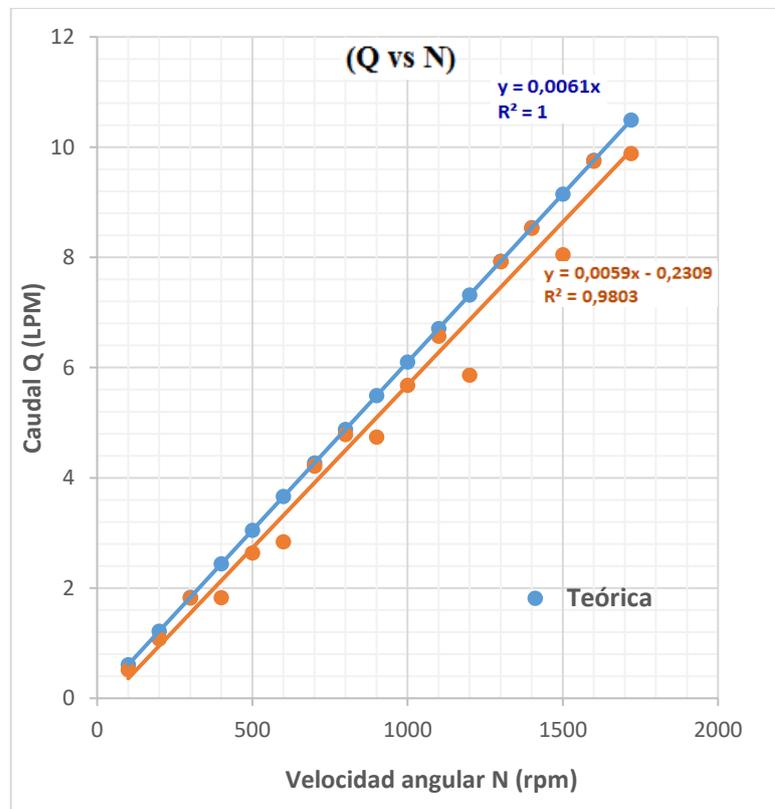


Gráfico 15-5: Curva caudal vs velocidad angular

Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

En la gráfica 15-5 puede observarse la comparación entre la curva (Q vs N) con un caudal real obtenido experimentalmente y la curva teórica con un caudal obtenido de la ecuación (22), en el caso del cálculo del caudal teórico como indica la ecuación no considera el escape de líquido que se produce al momento de que los engranajes transportan el fluido a la línea de salida, es por eso que el caudal real es inferior al teórico, es por eso que se tiene a 1720 rpm un caudal teórico de 10,49 LPM y un caudal real de 9,88 LPM, se puede observar que no existe una diferencia significativa, sin embargo se comprueba mediante un análisis estadístico cual es la variación y el error porcentual existente.

Comprobación

El método estadístico que se aplicó para valorar si existe diferencia significativa entre los datos experimentales con los teóricos es la prueba de bondad de ajuste de la estadística no paramétrica con lo que se compara las frecuencias observadas O_1, O_2, \dots, O_k (valores experimentales) con las frecuencias esperadas E_1, E_2, \dots, E_k (valores teóricos).

Para comprobarlo, haremos uso de un contraste de hipótesis usando la distribución Chi-cuadrado:

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (27)$$

Se reemplazo los valores del caudal teórico y caudal real (tabla 7-5) en la ecuación 26 donde se obtuvo un valor de Chi cuadrado X^2 calculado de:

$$X_c^2 = 1.020$$

De ahí la hipótesis nula (H_0) planteada fue:

$H_0 \rightarrow$ Son los datos experimentales = a los datos teóricos

$H_{\text{alternativa}} \rightarrow$ Los datos experimentales \neq a los datos teóricos

Para obtener un valor de Chi cuadrado X^2 tabulado se consideró un grado de significancia de 99 % es decir 0.99 y los grados de libertad que en nuestro caso es $n = 11$, con los que se ingresó a la tabla de Chi cuadrado (Anexo I), de donde se obtuvo un valor de:

$$X_t^2 = 3.053$$

Entonces se tiene que:

$$X_c^2 < X_t^2$$

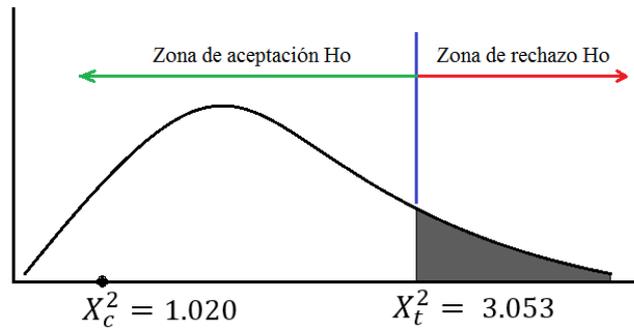


Gráfico 16-5: Campana del chi cuadrado
Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

Si el Chi cuadrado calculado es menor que el tabulado ($X_c^2 < X_t^2$) se acepta la hipótesis nula, es decir los datos experimentales son parecidos a los teóricos. Con un porcentaje de error del 3,68%.

Para el caso de la curva Potencia en función del Caudal (P vs Q) gráfico 17-5, se observa que la disminución de potencia que existe en las curvas experimentales, es por la disminución de caudal ya antes indicado con la misma variación y error.

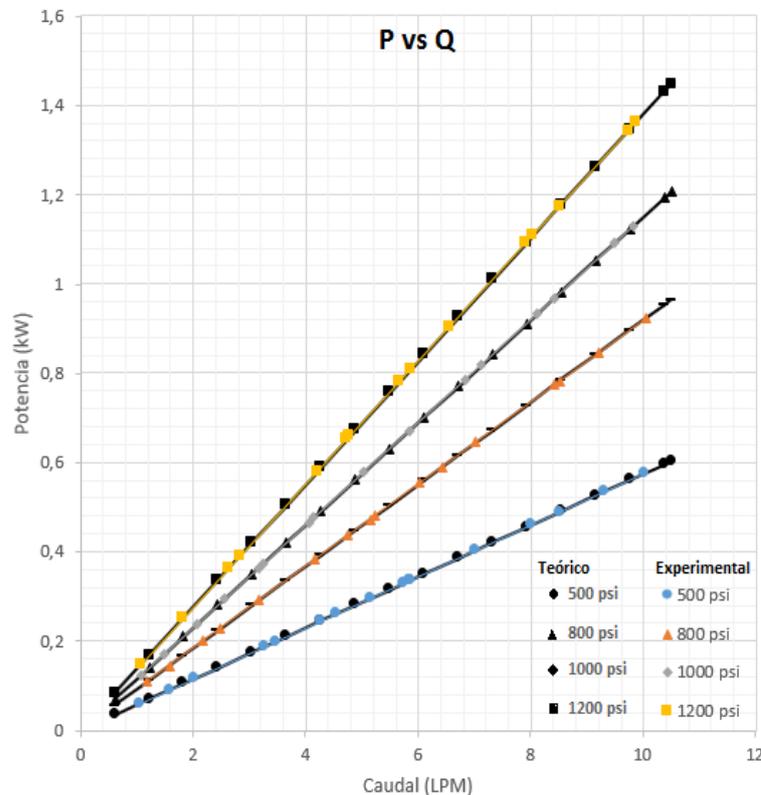


Gráfico 17-5: Curva potencia vs caudal
Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

De la misma manera se contrasta la curva Potencia en función de la velocidad angular (P vs N) encontrada experimentalmente con la teórica, como se observa en la gráfica 18-5.

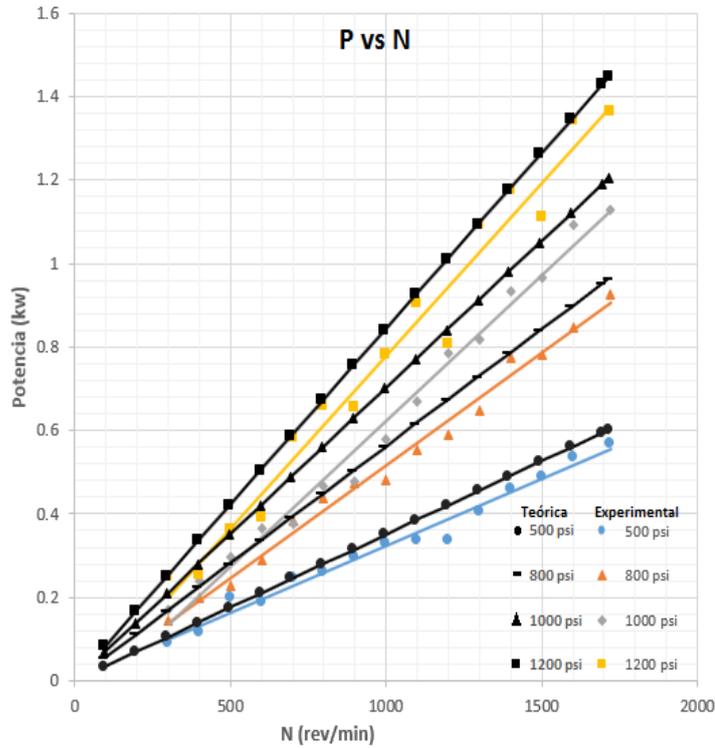


Gráfico 18-5: Curva potencia vs número de revoluciones
Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

El valor de Chi cuadrado calculado utilizando el valor de la potencia real y potencia teórica (tabla 7-5) es:

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

$$X_c^2 = 0.1407$$

Mientras que el Chi cuadrado tabulado con un grado de significancia de 0,99 y un grado de libertad de $n = 11$ es:

$$X_t^2 = 3.053$$

Determinándose que:

$$X_c^2 < X_t^2$$

$$0,1407 < 3,053$$

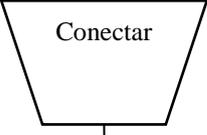
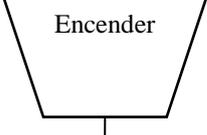
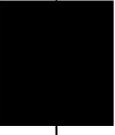
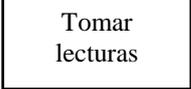
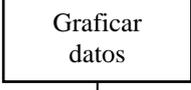
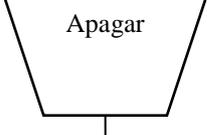
Por lo que también se acepta la hipótesis nula, es decir la potencia hidráulica experimental es parecida a la potencia hidráulica teórica, y el porcentaje de error que existe entre las dos curvas es de 4,36%.

Como se puede observar en las figuras la diferencia que existe entre los datos calculados teóricamente con los datos obtenidos experimentalmente tiene un porcentaje de variación relativamente bajo, esto se debe a que experimentalmente se toman datos de magnitudes físicas mediante sensores que tienen un cierto rango de precisión y transforman las magnitudes en señales eléctricas, sin embargo, por lo demostrado anteriormente se concluye que los datos experimentales son parecidos a los teóricos.

5.6. Guía de operación y guía de práctica de laboratorio

5.6.1. Manual de operación

	GUÍA DE OPERACIÓN PARA EL MONITOREO Y ANÁLISIS DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA DE ENGRANAJES EXTERNOS 1AG2U06R MEDIANTE UN LAB. REMOTO		Ficha: 1-1
	ESPOCH-FACULTAD DE MECÁNICA		Versión: 2018
	SECCIÓN: LAB. SIST. NEUMÁTICOS Y OLEOHIDRÁULICOS		
MÓDULO: Módulo didáctico del banco de pruebas oleohidráulicos.		CÓDIGO: FAME-HN-EN01	
DESCRIPCIÓN: Este módulo nos permite estudiar en comportamiento de las curvas características de una bomba de engranajes externos mediante el monitoreo de sus principales variables físicas.			
SEGURIDAD	PROCESO	DESCRIPCIÓN	CONTROL
<p>Durante la conexión de los distintos componentes que forman parte del tablero de control proceso de control y monitoreo se debe tener un borrador del circuito (circuito de potencia y control) para evitar errores durante las conexiones de los elementos y así no producir un daño o eventualidad durante la puesta en marcha.</p> <p>Antes de la conexión de los elementos tener en cuenta los datos técnicos de cada uno (voltaje, potencia, tiempo de trabajo, etc.)</p> <p>Para el montaje de los elementos y cableado de los mismo evitar golpes y realizar un debido ajuste de los cables en las borneras de cada entrada y salida de cada elemento.</p>		Familiarícese con los controles del equipo.	Es importante que antes de manipular el equipo se conozca el uso correcto del mismo
		Alimentar la fuente de alimentación del tablero de control y potencia.	Es importante conocer el voltaje con el que trabaja los elementos de potencia y control.
		Ir al tablero de control y accionar el interruptor de alimentación del banco de pruebas.	Antes de encender el banco se debe observar que no se encuentren elementos con los que pueda chocar.
		Conectar la tarjeta Raspberry Pi al cable de ethernet con acceso a la red de la politécnica.	Revisar que cada componente este energizado por medio de visualización de los leds de cada elemento.

<p>En la ejecución de la fase de pruebas hay que tener cuidado al momento de arrancar el banco de pruebas por la activación de las válvulas y actuadores, teniendo en cuenta que los mismos se van a poner en marcha al momento de comenzar a fluir el líquido a través del circuito oleohidráulico generando ruido y vibración durante el proceso o prácticas.</p> <p>Se puede trabajar con diferentes actuadores por lo cual se tiene que tener en cuenta la ubicación de los mismos para así evitar torceduras o dobles de las mangueras de conexión.</p> <p>El tablero de control consta de varios componentes electrónicos por lo que se debe de tener cuidado al momento de activarlo, en lo posible no tocar el mismo si se tiene alguna duda de su funcionamiento o conexión.</p> <p>Comprobar con el técnico docente a cargo de la práctica que los sensores (presión, revoluciones, caudal, y temperatura) se encuentren debidamente conectados a sus respectivas tarjetas para la toma de datos, asegurando la validez de la práctica.</p> <p>Revisar que el laboratorio remoto este enlazado a internet y pueda ejecutar las indicaciones ordenadas.</p>		Acceder mediante vía inalámbrica al laboratorio remoto por medio de una portátil.	Revisar y tener en cuenta con que presión va a trabajar el módulo de pruebas.	
		Interactuar con la interfaz de fácil acceso del laboratorio remoto.	El indicador o medidor de RPM debe de iniciar desde cero para evitar arranques abruptos en la bomba de estudio.	
		Accionar los actuadores hidráulicos a través del encendido de las válvulas.	Ejecutados los pasos previos para el encendido del banco de pruebas no debe presentar problemas en la toma de datos que dan los sensores.	
			<p>Guardar un archivo Excel con los datos que genera el banco de pruebas y monitorear el control de los sensores.</p>	La interfaz de fácil acceso nos mostrará como actúan los sensores a medida que modificamos los parámetros de medida y se grafican las curvas características de la bomba de engranajes externos.
				<p>Terminar la práctica interrumpiendo la transición de datos.</p>
				
				
	 Fin  Operación  Operación  Control al 100%			

5.6.2. Guía de prácticas de laboratorio

5.6.2.1. *Práctica de control del banco de pruebas oleohidráulico*



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**



FACULTAD: MECÁNICA

CARRERA: INGENIERÍA MECANICA

GUÍA DE LABORATORIO DE SIST. NEUMÁTICOS Y OLEOHIDRÁULICOS

**PRÁCTICA No.1 TOMA DE DATOS DE LA BOMBA DE ENGRANAJES
EXTERNOS MEDIANTE UN LABORATORIO REMOTO**

1. DATOS GENERALES

NOMBRE:

.....
.....

CODIGO(S):

.....
.....

GRUPO No.:

FECHA DE REALIZACIÓN:

.....

FECHA DE ENTREGA:

.....

2. OBJETIVO

Realizar la toma de datos de las señales que intervienen en el estudio de las curvas características de la bomba de engranajes externos 1AG2U06R mediante un laboratorio remoto.

3. INSTRUCCIONES

- Leer los manuales de los componentes del banco oleohidráulico y tablero.

- Inspeccionar la integridad del banco de pruebas y el tablero.
- Detectar las señales de entrada y salida de la bomba de engranajes externos.
- Determinar la secuencia para manipular el laboratorio remoto.
- Realizar pruebas de funcionamiento.

4. ACTIVIDADES POR DESARROLLAR

- Observación y reconocimiento del banco oleohidráulico y el tablero de control.
- Conectar las fuentes de energía del banco oleohidráulico y el tablero de control.
- Conectarse a la red de la politécnica vía Wi-Fi para enlazar el computador.
- Ejecutar el programa para realizar la toma de datos de la bomba de engranajes.
- Reconocer todas las señales de la bomba de engranajes externos 1AG2U06R.
- Programar el proceso de manipulación del laboratorio remoto.
- Realizar simulaciones para tener destrezas en el manejo del laboratorio remoto.
- Despejar el área de trabajo del banco de pruebas oleohidráulico.

5. RESULTADOS OBTENIDOS

Se introdujo al estudio del comportamiento de equipos que se encuentran en el sector industrial mediante el estudio de las señales de las variables físicas que se han estudiado en las materias de especialidad.

6. CONCLUSIONES

- Se identificó las señales de salida de la bomba de engranajes que permiten realizar el estudio de las curvas características.
- Se construyó una tabla automática que permite al estudiante observar el comportamiento de las señales de la bomba de engranajes.

7. RECOMENDACIONES

- Se debe realizar mantenimiento preventivo del equipo, dando prioridad a la bomba de engranajes externos y así evitar posibles fallas durante su funcionamiento.

5.6.2.2. *Práctica de las eficiencias de la bomba de engranajes externos*



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**



FACULTAD: MECÁNICA

CARRERA: INGENIERÍA MECANICA

GUÍA DE LABORATORIO DE SIST. NEUMÁTICOS Y OLEOHIDRÁULICOS

**PRÁCTICA No.2 CÁLCULO DE LA EFICIENCIA VOLUMETRIC Y
MECÁNICA DE LA BOMBA DE ENGRANAJES EXTERNOS 1AG2U06R**

1. DATOS GENERALES

NOMBRE:

.....
.....

CODIGO(S):

.....
.....

GRUPO No.:

FECHA DE REALIZACIÓN:

.....

FECHA DE ENTREGA:

.....

2. OBJETIVOS

Calcular la respectiva eficiencia volumétrica y mecánica de la bomba de engranajes externos a partir de la toma de datos realizada en la práctica anterior.

3. INSTRUCCIONES

- Leer los manuales de los componentes del tablero.
- Revisar las condiciones de la bomba de engranajes y banco de pruebas.
- Detectar los valores de alimentación de los diferentes equipos eléctricos.
- Determinar las ecuaciones a utilizar en el cálculo de eficiencias

4. ACTIVIDADES POR DESARROLLAR

- Leer los estudios sobre cálculo de eficiencias.
- Conectar las fuentes de energía del banco de pruebas y el tablero de control.
- Medir la potencia de entrada a la bomba eléctrica.
- Tomar datos a diferentes valores y tiempos establecidos.
- Crear tablas para calcular las variables derivadas que necesitemos.
- Utilizar los datos tomados en la práctica anterior
- Elaborar gráficas que permitan la fácil interpretación de datos.
- Comparar los resultados obtenidos con los datos proporcionados por el fabricante.
- Determinar si la bomba de engranajes externos está trabajando dentro de los parámetros óptimos de funcionamiento.

5. RESULTADOS OBTENIDOS

Ubicar posibles tareas de mantenimiento para mejorar el rendimiento de la bomba de engranajes externos y ver si esta puede seguir en funcionamiento o necesita de un cambio según el margen de error determinado.

6. CONCLUSIONES

- El estudio de las curvas características de la bomba de engranajes permite saber que variables están presentando un decremento en sus funciones.
- La lectura de las diferentes gráficas puede determinar cómo se está comportando el quipo y poder aplicarlo a otros similares.

7. RECOMENDACIONES

- Se debe realizar mantenimiento preventivo del equipo, dando prioridad a la bomba de engranajes externos y posteriormente a los elementos de control y regulación de flujo ya que estos también forman parte del sistema en general.

CAPÍTULO VI

6. ANÁLISIS DE COSTOS

Para la adecuación del banco de pruebas y la adquisición de datos hacia el laboratorio remoto se requirió de varios elementos, tanto mecánicos y eléctricos que generaron un costo tanto directo como indirecto al tomar en cuenta los materiales, equipos, herramientas y mano de obra.

6.1. Costos directos

Se detallan el valor de los principales elementos de funcionamiento del banco de pruebas para la adquisición de datos, desde los componentes del tablero de control como de los accesorios para el montaje de los sensores.

6.1.1. Costos de accesorios y materiales mecánicos

Tabla 1-6: Costos de accesorios y materiales mecánicos

Elemento	Cantidad	Precio unitario (USD)	Subtotal (USD)
Tornillos Fischer 3/8" x 2"	4	0,2	0,8
Tornillos estufa 5/32" x 3/4"	4	0,2	0,8
Tornillos estufa 5/32" x 1/2"	4	0,2	0,8
Taco Fischer de nylon M12	4	0,2	0,8
Riel DIN 1"	0,2	3	0,6
Engranajes de madera	2	3	6
Base de madera	1	1,5	1,5
Gabinete plástico con tapa transparente 0,5x0,4x0,2 m	1	70	70
Plancha de alucobond 0,7m x 0,5m	1	10	10
Rollo cinta doble faz	1	22	22
TOTAL			113,3

Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

Fuente: Autores

6.1.2. Costos de accesorios y materiales eléctricos

Tabla 2-6: Costos de accesorios y materiales eléctricos

Elemento	Cantidad	Precio unitario (USD)	Subtotal (USD)
Sensor de presión WIKA A-10	1	147.00	147.00
Cuadralímetro DGTT-015S	1	196.00	196.00
Sensor inductivo de proximidad PNP	1	12.45	12.45
Termocupla tipo K	1	9.80	9.80
Acondicionador de termocupla modulo MAX-6675	1	4.50	4.50
Gabinete plástico 40x40x25	1	30.00	30.00
Raspberry Pi3	1	67.50	67.50
Tarjeta Arduino UNO	1	32.00	32.00
Tarjeta Arduino MEGA	1	58.5	58.50
Módulo conversor de voltaje LM-2596	1	8.00	8.00
Disyuntor DIN trifásico	1	19.00	19.00
Fuente de poder LOGO 24V DC, 2.5 A	1	85.00	85.00
Variador de frecuencia G-110, 3 HP	1	456.00	456.00
Baquelas de cobre dimensiones 20x30 cm	2	4.50	9.00
Fundas de ácido férrico	2	0.75	1.50
Módulo de relés de 6 canales	1	10.00	10.00
Borneras de 2 terminales	25	0.40	10.00
Terminales punteros	60	0.05	3.00
Espadines macho/hembra	10	0.50	5.00
Cable USB tipo AB	1	5.00	5.00
Cable USB tipo AC	1	5.00	5.00
Tarjeta MicroSD 8 GB	1	12.00	12.00
Metros de manguera de 1 pulgada	5	1.00	5.00
Metros de cable de red categoría 5E	15	0.45	6.75
Metros de cable de control 4x22 AWG	13	1.80	23.40
Metros de cable 2x12 AWG	7	1.00	7
Metros de cable flexible azul 18 AWG	18	0.70	12.6
Metros de cable 12 AWG	6	0.80	4.8
Metros de canaleta	4	2.50	10
Metros de riel DIN	1.5	3.00	4.5
Switch ethernet 5 puertos LAN	1	13.00	13
Servomotor Tower-Pro 13 Kg.cm	1	18.00	18
Luz piloto color verde	1	1.75	1.75
Componentes electrónicos varios (resistencias, capacitores, potenciómetros, transistores)	1	45.00	45
TOTAL:			1338.05

Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

Fuente: Autores

6.1.3. Costos de accesorios y materiales hidráulicos

Tabla 3-6: Costos de accesorios y materiales hidráulicos

Elemento	Cantidad	Precio unitario (USD)	Subtotal (USD)
Teflón Amarillo	3	0,8	2,4
Fluido oleohidráulico ISO 68	2	6	12
Niple PT 5/8"	2	3,5	7
Reducción bushing 1/2"	2	3	6
Tuerca unión 1/2"	2	2,8	5,6
TOTAL			33

Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

Fuente: Autores

6.1.4. Costos de equipos y herramientas

Tabla 4-6: Costos de equipos y herramientas

Máquinas/Herramientas	Costo/Hora (USD)	Horas Equipo	Subtotal (USD)
Taladro de mano	3	6	18
Torno	15	1	15
Entenalla	3	2	6
Tacómetro digital	3	8	24
Pirómetro óptico	3	4	12
Vatímetro digital	2	4	8
Otros equipos			20
TOTAL			103

Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

Fuente: Autores

6.1.5. Costos de la mano de obra

Tabla 5-6: Costos de la mano de obra

Mano de obra	Cantidad	Precio unitario (USD)	Subtotal (USD)
Diseño y fabricación placa electrónica PCB de control 29x18 cm	1	100.00	100.00
Diseño y fabricación placa electrónica PCB de filtros 11x4 cm	1	40.00	40.00
Horas de corte láser	3	1.00	3.00
TOTAL			143.00

Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018

Fuente: Autores

6.1.6. Costo total directo

El costo total directo es la suma de todos los gastos realizados con anterioridad y se mostrará en la siguiente tabla.

Tabla 6-6: Costo total directo

Descripción	Subtotal (USD)
Accesorios y materiales mecánicos	113.30
Accesorios y materiales eléctricos	1338.05
Accesorios y materiales hidráulicos	33
Equipos y herramientas	103
Mano de obra	143
TOTAL	1730.35

Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018
Fuente: Autores

6.2. Costos indirectos

Los costos indirectos se consideran a los costos imprevistos, utilidad y costo de ingeniería que van entre en 8 y 15 % donde involucra a la supervisión y diseño, adecuación y construcción del sistema.

Tabla 7-6: Costos indirectos

Detalle	Cantidad (%)	Subtotal (USD)
Ingenieriles (Supervisión y diseño)	10	173.03
Imprevistos	5	86.52
Utilidad	0	0
TOTAL		259.55

Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018
Fuente: Autores

6.3. Costos totales

Los costos totales se obtienen de la suma de los costos directos más los indirectos.

Tabla 8-6: Costos totales

Costos	Subtotal (USD)
Directos	1730.35
Indirectos	259.55
TOTAL	1989.90

Realizado por: Masabanda Alvaro, Pulla Alex. 2018
Fuente: Autores

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Se obtuvo correctamente los valores de caudal, velocidad angular y presión que sirvieron para graficar las curvas características de funcionamiento de la bomba y los valores de temperatura del fluido para analizar su comportamiento en función del tiempo.

Los datos, así como las curvas características se obtuvieron en tiempo real de una manera rápida desde la interfaz didáctica y de fácil acceso del laboratorio remoto.

Se logró monitorear y controlar la bomba, es decir encender, apagar y variar la velocidad de la bomba de engranajes externos 1AG2U06R, mediante el laboratorio remoto, comprobando que el sistema funciona correctamente y la experimentación se la puede realizar remotamente desde cualquier lugar diferente al laboratorio donde está ubicado el banco, considerando siempre la configuración del servidor al cual se enlaza el sistema.

Las curvas características obtenidas experimentalmente son similares a las curvas que brinda el catálogo, todas tienen tendencia lineal, y van variando de acuerdo al aumento o disminución de la presión de trabajo y velocidad angular.

Tras la evaluación de la bomba de engranajes externos 1AG2U06R mediante el análisis de sus curvas características se puede decir que la bomba cumple satisfactoriamente con las características técnicas presentadas por el fabricante.

Con una velocidad angular constante de 1720 RPM y a una presión de 1200 PSI se obtuvo un caudal de 9,884 LPM lo que genera una potencia hidráulica de 1,36 KW, que se aproxima al valor que indica el catálogo y que se lo considera aceptable para las operaciones de trabajo que realiza el banco de pruebas oleohidráulico.

Se obtuvo una eficiencia volumétrica de 93,5% a 1200 PSI y 1720 RPM, el cual se lo considera un valor de eficiencia alto ya que el fabricante de la bomba indica que el rango de eficiencia volumétrica que va de 80% a 96%, esto se debe a que la bomba no

está trabajando a condiciones máximas de trabajo y tiene poco tiempo de uso, sin embargo con los datos adquiridos se puede encontrar un valor de eficiencia con lo que se prueba que el sistema de adquisición de datos utilizado funciona correctamente y se puede aplicar en cualquier sistema de bomba de engranajes y encontrar su eficiencia volumétrica y vida útil de a bomba.

Con la potencia entregada a la bomba de engranajes se logró determinar la eficiencia total de la misma, teniendo un valor promedio de 81,16%, valor aceptable según los rangos que oscilan entre 50% a 90% de las especificaciones del catálogo.

Recomendaciones

Conociéndose que al banco se lo puede controlar desde otros lugares fuera del laboratorio, se tiene como recomendación principal que, para el manejo del banco de pruebas oleohidráulico a través del laboratorio remoto es que siempre debe haber una persona supervisando el banco, esta persona debe conocer sobre el funcionamiento del banco y debe permanecer desde que se pide energizar el banco, hasta que se termine de realizar el monitoreo por el laboratorio remoto y las pruebas y adquisición de datos necesarios.

Para monitorear la bomba a través del laboratorio remoto y adquirir datos de los parámetros hidráulicos de buena manera es necesario seguir los pasos de manual de funcionamiento proporcionado para el manejo del mismo.

Antes de energizar el banco de pruebas el operario debe revisar todos los elementos que estén conectados correctamente, así mismo luego que se le comunique que se terminó con las pruebas debe des energizar el banco de pruebas.

El operario que esté en el banco de pruebas debe ir controlando que todo este funcionando correctamente, si observa alguna anomalía o avería, debe informar inmediatamente a la persona que está enviando los mandos desde el laboratorio remoto.

Se recomienda aislar el motor eléctrico del depósito con el fin de conseguir que no se transfiera el calor que genera el motor hacía el depósito del fluido.

BIBLIOGRAFÍA

Casoli, et al. A numerical model for the simulation of external gear pumps. *The six JFPS international symposium on fluid power*. 2005. pp. 151-160.

Bailey Beng, David; Wright, Edwin. Practical SCADA for Industry. *IDC Technologies*. 2003.

Calvo, et al. Laboratorio de control remoto de un sistema de Ball & Hoop. *ResearchGate*. 2008. pp. 3-4.

Frith, R.; Scott, W. Comparison of an external gear pump wear model with test data. *Elseiver*. 1996. pp. 64-71.

Delmaestro, Elver J. *Oleohidráulica aplicada a sistemas móviles*. [En línea] 2005. [Consultado el: 2017-02-21]. Disponible en: http://sisinfo.unrc.edu.ar/repositorio/sial/programas/facu3/3_2015_346_1115710.pdf

Nagamura, et al. Design and performance of gear pumps with a non-involute tooth profile. *Journal of Engineering*. 2004. pp. 699–710.

Digital Flow: Turbine Flow Meter. [En línea] 2015. [Consultado el: 2017-01-25]. Disponible en: http://www.dgflow.co.kr/comm/shop/item.php?it_id=1458269201

Dilnero, Juan Sebastian. *Oleohidráulica-Circuitos de Presión*. [En línea] 2007. [Consultado el: 2017-05-25]. Disponible en: <http://www.ing.unlp.edu.ar/aeron/laclyfa/Carpetas/Catedra/Archivos/Hidraulica%20A>

Martinez, P.; Arzola, N. Estado del arte sobre perfiles de dientes para engranajes. *Prospect*, Vol.12. 2014. pp. 29-40.

MAX6675: Módulo interfaz. [En línea] México: Geekfactory, 2015. [Consultado el: 2017-06-25]. Disponible en: <http://www.geekfactory.mx/tienda/modulos-para-desarrollo/max-6675-modulo-interfaz-termopar/>

González Currillo, Milton Eduardo, & Rodríguez Currillo, Luis Eduardo. *Diseño e implementación de un banco de pruebas de circuitos oleohidráulicos industriales para el laboratorio de sistemas oleohidráulicos de la escuela de ingeniería mecánica* (tesis). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Mecánica. Riobamba, Ecuador. 2016. pp. 68-75

Gulf Hidráulico ISO 68. [En línea] 2009. [Consultado el: 2017-05-10]. Disponible en: <http://gulfcolumbia.com/fichas-tecnicas-y-hojas-de-seguridad-gulf/2.lineaconvencional/ficha-tecnica-linea-convencional/gulf-hidraulico-iso-68.pdf>

Hidrafoil. *Funcionamiento de las bombas de engranajes externos.* [En línea] España: Hidraoil, 2012. [Consultado el: 2016-10-14]. Disponible en: <http://www.hidraoil.es/articulo/funcionamiento-de-las-bombas-de-engranajes-externos/>

Modular Check Thottle Valve. [En línea] China: International, 2011. [Consultado el: 2017-05-26]. Disponible en: http://www.chia-wang.com/upload_files/modular/C128131_MTC-03P.pdf

Huang, K.; Chuan, W. Kinematic flowrate characteristics of external spur gear pumps using an exact closed solution. *Mechanism and Machine Theory*, Vol.44. 2009. pp. 1121-1131.

Klapper, Francisco. *¿Qué es y cómo se interpretan el Torque y la Potencia de un motor?* [En línea] 2009. [Consultado el: 2017-07-18]. Disponible en: <http://www.automotriz.net/cms/tecnica/que-es-y-como-se-interpretan-el-torque-y-la-potencia-de-un-motor/>

Manring, N.D.; Kasaragadda, S.B. The Theoretical Flow Ripple of an External Gear Pump. *ASME*, Vol. 125. 2003. pp. 396-404.

Martín Domingo, Agustín. *Apuntes de Mecánica de Fluidos*. [En línea] España: CC, 2011. [Consultado el: 2017-09-03]. Disponible en: <http://oa.upm.es/6531/1/amd-apuntes-fluidos.pdf>

Martínez, Elizabeth. *Curvas características de una bomba*. [En línea] 2011. [Consultado el: 2017-06-15]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/yuricomartinez/labo-3-curvas-caractersticas-de-una-bomba>

Mataix, Claudio. *Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas*. Madrid-España: Ediciones del Castillo S.A., 1986, pp 125-156.

Vacca, A; Guidetti, M. Modelling and experimental validation of external spur gear machines for fluid power applications. *Simulation Modelling Practice and Theory*, Vol. 19. 2011. pp. 2007-2031.

Moreno Romero, Telmo Jesús, y otros. *Adquisición De Datos De Magnitudes En Un Sistema Oleohidráulico Para Su Control Y Monitoreo En Un Laboratorio Remoto De Instrumentación Virtual De Código Abierto*. [En línea] 2017. [Consultado el: 2017-11-15]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/deref/http%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.19044%2Fesj.2017.v13n9p111>

Mott, Robert L. *Mecánica de fluidos*. 6ª ed. México DF.: Pearson Educación, 2006, pp 274-301

Olagorta. *Bomba de engranajes*. [En línea] 2015. [Consultado el: 2017-04-26]. Disponible en: http://www.olagorta.com/bombas_de_engranes.htm

Ortega, Edwin J. *Clasificación de sensores*. [En línea] 2013. [Consultado el: 2017-05-21]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/Edw1a/clasificacion-de-sensores>

Pérez López, Esteban. Los sistemas SCADA en la automatización industrial. *Tecnología en Marcha*, Vol. 28, n° 4. 2015. pp. 3-14.

Pérez Porto, Julián; Gardey, Ana. *Definición de Monitoreo*. [En línea] 2013. [Consultado el: 2017-05-17]. Disponible en: <https://definicion.de/monitoreo/>.

Potter, Merle C.; & Wiggert, David C. *Mecánica de fluidos*. 3ª. ed. Mexico: THOMSON, 2003, pp 102-111.

Raspbian. [En línea] 2012. [Consultado el: 2016-11-05]. Disponible en: <http://www.raspbian.org/>.

Rodríguez Penin, Aquilino. *Sistemas SCADA*. 2ª. ed. Barcelona: Marcombo, 2007, pp 76-83.

Soluciones y Servicios. [En línea] 2016. [Consultado el: 2017-03-23]. Disponible en: https://www.solucionesyservicios.biz/epages/64466233.sf/es_ES/?ObjectPath=/Shops/64466233/Products/6SL3211-0AB22-2AA1

Svishchev, A.; Aistov, P. The theoretical and experimental studies comparison of the pressure pulsation in the discharge chamber of the gear pump. *Procedia Engineering 113*. 2015. pp. 186 – 191.

Uscanga González, Luis Antonio. *Diagnóstico, mantenimiento y puesta en marcha del equipo grupo prueba bomba de engrabajes* (tesis). Universidad Veracruzana, Mecánica Electronica. Xalapa, México. 2012.

Sevillano Calvo, Fernando. Variadores de frecuencia. *Dto. Electricidad-Electrónica*. 2011. pp. 143-145.

Villa, Jorge. *Mecanica de fluidos*. [En línea] 2013. [Consultado el: 2017-05-13]. Disponible en: <http://mecanicadefluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/medidores/manometro/manometro.html>

Transmisor de presión. [En línea] España: Wika, 2015. [Consultado el: 2017-08-29]. Disponible en: http://www.wika.es/a_10_es_es.WIKA

Zamora Parra, Blas; & Viedma Robles, Antonio. *Máquinas Hidráulicas Teoría y Problemas* [En línea]. Cartagena-Colombia: CRAI, 2016. [Consultado el: 2016-12-17]. Disponible en: <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/5476/isbn9788416325191.pdf?sequence=4>

ANEXOS