

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA, PARA
EL EQUIPO DE ENSAYO CON BOMBA CENTRÍFUGA DEL
LABORATORIO DE FLUIDOS DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA MECÁNICA DE LA ESCUELA POLITÉCNICA
NACIONAL**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

DAVID ALFONSO ENRÍQUEZ MASACHE

(enrquez.david@gmail.com)

JULIÁN ALBERTO SIMBAÑA GUAÑUNA

(nailujzul@hotmail.com)

DIRECTOR: Dr. PhD. ÁLVARO AGUINAGA

(subdecano.mecanica@epn.edu.ec)

Quito, octubre 2011

DECLARACIÓN

Nosotros, Enríquez Masache David Alfonso y Simbaña Guañuna Julián Alberto, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

David Alfonso Enríquez Masache

Julián Alberto Simbaña Guañuna

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por David Alfonso EnríquezMasache y Julián AlbertoSimbañaGuañuna, bajo mi supervisión.

PhD. Álvaro Aguinaga
DIRECTOR DEL PROYECTO

DEDICATORIA

A la mujer que sola Ha sacado adelante a sus cuatro hijos.

El presente trabajo está dedicado a ti, madre amorosa, tus dulces palabras lograron que no baje las manos y continúe adelante sin decaer en ningún momento.

David

DEDICATORIA

A la memoria de mi abuelito Andrés quien me enseñó el valor de tener una familia, y a quien extraño todos los días.

Julián.

AGRADECIMIENTO

Gratitud al Doctor Álvaro Aguinaga por una correcta dirección, al Ingeniero Carlos Valladares por ofrecernos todas las facilidades y solventar las diversas inquietudes que se fueron presentando, al ingeniero Iván Sola por su diligente corrección de los errores por nosotros cometidos; finalmente a todas las personas que tomaron parte en la elaboración de este proyecto, de corazón, gracias.

David y Julián

CONTENIDO

DECLARACIÓN.....	i
RESUMEN	xix
CAPITULO 1 CAPÍTULO 1.....	1
1. FUNDAMENTO TEÓRICO DEL PROYECTO	1
1.1. SISTEMAS DE CONTROL	1
1.1.1. TIPOS DE CONTROL DE PROCESOS.....	1
1.1.2. SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICO	3
1.1.3. COMPARACIÓN ENTRE ESTOS DOS TIPOS DE SISTEMAS	9
1.2. SENSORES.....	10
1.2.1. SENSORES DE NIVEL	12
1.2.2. ENCODERS	17
1.2.3. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC).....	19
1.2.4. CICLO DE OPERACIÓN DE UN PLC	20
1.2.5. ESTRUCTURA EXTERNA	21
1.2.6. ESTRUCTURA INTERNA.....	21
1.3. ACTUADORES.....	22
1.4. SISTEMAS SCADA	23
1.5. EQUIPO A CONSTRUIR	25
CAPITULO 2 CAPÍTULO 2.....	26
2. GENERALIDADES DE LA BOMBA CENTRÍFUGA.....	26
2.1. ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS Y SUBSISTEMAS DEL EQUIPO DE PRUEBAS CON BOMBA CENTRÍFUGA	28
2.1.1. BOMBA CENTRÍFUGA Y MOTOR	29
2.1.2. TANQUES	30
2.1.3. VENTURI Y TUBERÍAS.....	31
2.1.4. EQUIPOS DE MEDIDA PARA LA PRESIÓN.....	32
2.2. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS ACTUALES DE FUNCIONAMIENTO	34
2.2.1. PAR MOTOR TRASMITIDO A LA BOMBA.....	34
2.2.2. VELOCIDAD EN EL EJE DE LA BOMBA	34
2.2.3. FLUJO DE LA BOMBA.	34
2.2.4. PRESIÓN HIDROSTÁTICA DIFERENCIAL	34
2.2.5. CALIBRACIÓN DEL TUBO VENTURI.....	35
CAPITULO 3 CAPÍTULO 3.....	36

3.ANÁLISIS DE LAS OPERACIONES PARA OBTENER LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA CENTRÍFUGA.....	36
3.1. PROPIEDADES FÍSICAS PERTINENTES AL SISTEMA	36
3.1.1. CONDICIONES DE TRABAJO	36
3.1.2. SECCIÓN TRANSVERSAL DE LOS TANQUES	37
3.1.3. SECCIÓN TRANSVERSAL DEL TUBO VENTURI.....	37
3.1.4. RODETE.....	39
3.2. CALIBRACIÓN DEL TUBO VENTURI	39
3.2.1. PESO ESPECÍFICO Y DENSIDAD ESPECÍFICA.....	40
3.2.2. VOLUMEN DE CONTROL	41
3.2.3. FLUJO A TRAVÉS DEL TUBO VENTURI.....	44
3.3. CAUDAL EN FUNCIÓN DE LA ALTURA MANOMÉTRICA.....	46
3.3.1. TRIÁNGULO DE VELOCIDADES DEL RODETE	46
3.3.2. ECUACIÓN GENERAL DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS	50
3.3.3. CURVA CARACTERÍSTICA IDEAL	52
3.3.4. CURVA CARACTERÍSTICA REAL.....	53
3.4. RENDIMIENTO APROXIMADO DE LA BOMBA CENTRÍFUGA	54
3.5. PRUEBAS HIDRÁULICAS REALIZADAS	57
3.5.1. PROCEDIMIENTO PARA LA CALIBRACIÓN DEL TUBO VENTURI.....	57
3.5.2. PROCEDIMIENTO PARA LA CONSTRUCCION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE ALTURA vs CAUDAL Y RENDIMINETO vs CAUDAL A DIFERENTES REVOLUCVIONES.....	60
CAPITULO 4 CAPÍTULO 4.....	80
4. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL.....	80
4.1. DISEÑO DEL SISTEMA	80
4.1.1. ESPECIFICACIONES PARA EL DISEÑO Y LA CONSTRUCCIÓN	80
4.2. SELECCIÓN DE LAS MEJORES ALTERNATIVAS PARA EL SISTEMA DE CONTROL.....	82
4.2.1. SELECCIÓN DEL SENSOR DE NIVEL	82
4.2.2. SELECCIÓN DEL ENCODER.....	87
4.2.3. SELECCIÓN DEL CONTROLADOR PROGRAMABLE.....	92
4.2.4. SELECCIÓN DE LA PANTALLA HMI.....	99
4.3. COSTOS DEL PROYECTO.....	107
CAPITULO 5 CAPÍTULO 5.....	109
5. PROGRAMACIÓN DEL CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE: SIMATIC S7 – 1200 SIEMENS.....	109
5.1. INFORMACIÓN BÁSICA DE LA CPU	109

5.1.1.	ÁREAS DE MEMORIA DEL S7-1200	110
5.2.	FUNCIONES BÁSICAS DE STEP 7 BASIC	111
5.2.1.	CREAR UN PROYECTO PARA EL PROGRAMA DE USUARIO	113
5.2.2.	PRINCIPIOS BÁSICOS DE PROGRAMACIÓN	115
5.2.3.	INSTRUCCIONES DE PROGRAMACIÓN	119
5.3.	PROGRAMACIÓN DEL MÓDULO DIDÁCTICO.....	128
5.3.1.	DESIGNACIÓN DE ELEMENTOS EMPLEADOS EN LA PROGRAMACIÓN.....	128
5.3.2.	ANÁLISIS DEL PROGRAMA.....	129
5.4.	CONFIGURACIÓN DE LA CPU	134
5.4.1.	CARGAR LA CONFIGURACIÓN DE LA CPU	134
5.4.2.	CARGAR EL PROGRAMA DE USUARIO EN LA CPU.....	135
5.5.	PC - ACCESS.....	135
5.5.1.	COMPONENTES DE LA VENTANA	135
5.5.2.	VISTA DETALLADA DE LOS COMPONENTES DE LA VENTANA ...	138
5.5.3.	DETALLES DE LA VISTA DE ÍTEMS.....	138
5.5.4.	DETALLES DE LA VISTA DE ESTADO (CLIENTE DE PRUEBA)	140
5.5.5.	COMUNICACIÓN ETHERNET	141
5.5.6.	AÑADIR UN NUEVO ELEMENTO.....	142
	CAPITULO 6 CAPÍTULO 6.....	144
6.	PROGRAMACIÓN EN LABVIEW.....	144
6.1.	INTRODUCCIÓN A LABVIEW.....	144
6.1.1.	PARTES DE UN VI	144
6.2.	INICIANDO UN VI.....	146
6.2.1.	PANEL FRONTAL	146
6.2.2.	DIAGRAMA DE BLOQUES.....	148
6.3.	IMPLEMENTACIÓN DE UN VI	150
6.3.1.	ARREGLOS	150
6.3.2.	CLÚSTERES	152
6.3.3.	CICLO WHILE.....	155
6.3.4.	REGISTROS DE DESPLAZAMIENTO	157
6.3.5.	GRÁFICAS EN LABVIEW	159
6.3.6.	ESTRUCTURA CASE.....	161
6.3.7.	CREACIÓN DE SUBVI'S	164
6.3.8.	ANALIZANDO Y GUARDANDO DATOS DE MEDICIÓN.....	167
6.4.	PROGRAMACIÓN EN EL LABVIEW.....	169
6.4.1.	DISEÑO DE LA INTERFAZ HMI	169
6.4.2.	SUBROUTINAS DEL PROGRAMA SUBVI.....	176
6.4.3.	DESARROLLO DEL DIAGRAMA DE BLOQUE GENERAL	179

CAPITULO 7	CAPÍTULO 7	182
7.1.	CONCLUSIONES	182
7.2.	RECOMENDACIONES	183
7.3.	BIBLIOGRAFÍA	185
7.3.1.	BIBLIOGRAFÍA TEXTOS	185
7.3.2.	DIRECCIONES CONSULTADAS EN INTERNET	187
ANEXOS		188
A	HOJAS DE DATOS TÉCNICOS DE HARDWARE	189
B	DETALLES DE LA CONSTRUCCIÓN	185
C	GUÍA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS – EQUIPO PARA PRUEBAS DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA OPERACIÓN MANUAL (PROPUESTA)	186
CAPITULO 8		2
CAPITULO 9		2
CAPITULO 10		2
3.1	BOMBA CENTRÍFUGA	2
3.1.1.	INTRODUCCIÓN	2
3.1.2.	PARTES PRINCIPALES	3
4.1.	ESQUEMA DEL EQUIPO PARA PRUEBAS DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA	1
6.1.	PROCEDIMIENTO PARA LA CALIBRACIÓN DEL TUBO VENTURI	5
1.	Cebiar la bomba	5
2.	Llenar el tanque principal hasta que un nivel superior de la válvula de pie	5
D	GUÍA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS – EQUIPO PARA PRUEBAS DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA OPERACIÓN AUTOMÁTICA (PROPUESTA)	187
3.1.	BOMBA CENTRÍFUGA	2
3.1.1.	INTRODUCCIÓN	2
3.1.2.	PARTES PRINCIPALES	3
4.1.	ESQUEMA DEL EQUIPO PARA PRUEBAS DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA	1
E	PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS – EQUIPO PARA PRUEBAS DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA (PROPUESTA) – DESARROLLADA	0
F	PLANOS	203

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 3.1: CONDICIONES AMBIENTALES DE TRABAJO. FUENTE PROPIA.	36
TABLA 3.2: RESUMEN DEL CÁLCULO DEL ÁREA TRANSVERSAL DE LOS TANQUES. FUENTE PROPIA.....	37
TABLA 3.3: RESUMEN DEL CÁLCULO DEL ÁREA TRANSVERSAL DE LA SECCIÓN DEL TUBO VENTURI. FUENTE PROPIA.....	38
TABLA 3.4: RESUMEN DE LAS DIMENSIONES DEL RODETE. FUENTE PROPIA.....	39
TABLA 3.5: RESUMEN DE LA CALIBRACIÓN DEL TUBO VENTURI. FUENTE PROPIA. ..	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 3.6: RESUMEN DEL SALTO A 1500 RPM. FUENTE PROPIA. ...	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 3.7: RESUMEN DEL SALTO A 1600 RPM	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 3.8: RESUMEN DEL SALTO A 1700 RPM. FUENTE PROPIA. ...	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 3.9: RESUMEN DEL SALTO A 1800 RPM. FUENTE PROPIA. ...	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 3.10: RESUMEN DEL SALTO A 1900 RPM. FUENTE PROPIA. .	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 3.11: RESUMEN DEL RENDIMIENTO A 1500 RPM. FUENTE PROPIA.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 3.12: RESUMEN DEL RENDIMIENTO A 1600 RPM. FUENTE PROPIA.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 3.13: RESUMEN DEL RENDIMIENTO A 1700 RPM. FUENTE PROPIA.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 3.14: RESUMEN DEL RENDIMIENTO A 1800 RPM. FUENTE PROPIA.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 3.15: RESUMEN DEL RENDIMIENTO A 1900 RPM. FUENTE PROPIA.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 4.1: TABLA DE ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA DE CONTROL. FUENTE PROPIA.	80
TABLA 4.2: EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DE LOS CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DEL SENSOR DE NIVEL. FUENTE PROPIA.....	85
TABLA 4.3: CONCLUSIÓN DE LA EVALUACIÓN (RESUMEN DE RESULTADOS EN BASE A TABLAS DE EVALUACIÓN SUBSIGUIENTES). FUENTE PROPIA.....	85
TABLA 4.4: EVALUACIÓN DE CANDIDATOS DE ACUERDO AL CRITERIO: COSTO. FUENTE PROPIA.....	86
TABLA 4.5: EVALUACIÓN DE CANDIDATOS DE ACUERDO AL CRITERIO: MANTENIMIENTO. FUENTE PROPIA	86
TABLA 4.6: EVALUACIÓN DE CANDIDATOS DE ACUERDO AL CRITERIO: PRECISIÓN. FUENTE PROPIA	86
TABLA 4.7: EVALUACIÓN DE CANDIDATOS DE ACUERDO AL CRITERIO: RESISTENCIA AL DESGASTE. FUENTE PROPIA.....	86
TABLA 4.8: EVALUACIÓN DE CANDIDATOS DE ACUERDO AL CRITERIO: RESISTENCIA A LA CORROSIÓN. FUENTE PROPIA.....	87

TABLA 4.9: EVALUACIÓN DE CANDIDATOS DE ACUERDO AL CRITERIO: TOMA DE DATOS CONTINUOS. FUENTE PROPIA.....	87
TABLA 4.10: EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DE LOS CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DEL ENCODER. FUENTE PROPIA.....	90
TABLA 4.11. CONCLUSIÓN DE LA EVALUACIÓN (RESUMEN DE RESULTADOS EN BASE A TABLAS DE EVALUACIÓN SUBSIGUIENTES). FUENTE PROPIA.....	90
TABLA 4.12: EVALUACIÓN DE CANDIDATOS DE ACUERDO AL CRITERIO: CAMBIO DE GIRO. FUENTE PROPIA.....	91
TABLA 4.13: EVALUACIÓN DE CANDIDATOS DE ACUERDO AL CRITERIO: COSTO. FUENTE PROPIA.....	91
TABLA 4.14: EVALUACIÓN DE CANDIDATOS DE ACUERDO AL CRITERIO: MANTENIMIENTO. FUENTE PROPIA.....	91
TABLA 4.15: EVALUACIÓN DE CANDIDATOS DE ACUERDO AL CRITERIO: PRECISIÓN. FUENTE PROPIA ..	91
TABLA 4.16: EVALUACIÓN DE CANDIDATOS DE ACUERDO AL CRITERIO: RESOLUCIÓN. FUENTE PROPIA	92
TABLA 4.17: EVALUACIÓN DE CANDIDATOS DE ACUERDO AL CRITERIO: ROBUSTEZ. FUENTE PROPIA ..	92
TABLA 4.18: CARACTERÍSTICAS DE PLCALLEN BRADLEY 1763-L16BBB.....	94
TABLA 4.19: CARACTERÍSTICAS DE PLC SIEMENS S7-1200.....	95
TABLA 4.20: CARACTERÍSTICAS DE PLC THINGET XC3 -14.	96
TABLA 4.21. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DE LOS CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DEL CONTROLADOR PROGRAMABLE. FUENTE PROPIA.	97
TABLA 4.22: CONCLUSIÓN DE LA EVALUACIÓN (RESUMEN DE RESULTADOS EN BASE A TABLAS DE EVALUACIÓN SUBSIGUIENTES). FUENTE PROPIA.....	97
TABLA 4.23: EVALUACIÓN DE CANDIDATOS DE ACUERDO AL CRITERIO: ACCESO A LA INFORMACIÓN PARA PROGRAMAR EL PLC. FUENTE PROPIA.....	98
TABLA 4.24: EVALUACIÓN DE CANDIDATOS DE ACUERDO AL CRITERIO: CANTIDAD ENTRADAS Y SALIDAS. FUENTE PROPIA.....	98
TABLA 4.25: EVALUACIÓN DE CANDIDATOS DE ACUERDO AL CRITERIO: CAPACIDAD DE MEMORIA. FUENTE PROPIA.....	98
TABLA 4.26: EVALUACIÓN DE CANDIDATOS DE ACUERDO AL CRITERIO: COMPATIBILIDAD CON EL HMI. FUENTE PROPIA.....	98
TABLA 4.27: EVALUACIÓN DE CANDIDATOS DE ACUERDO AL CRITERIO: COSTO. FUENTE PROPIA.....	99
TABLA 4.28: EVALUACIÓN DE CANDIDATOS DE ACUERDO AL CRITERIO: INTEGRACIÓN MÓDULOS ADICIONALES. FUENTE PROPIA.	99
TABLA 4.29: TABLA DE ESPECIFICACIONES GENERALES HMI THINGET, MODELO: MP 760.....	101
TABLA 4.30: TABLA DE ESPECIFICACIONES GENERALES HMI SIMATIC IPC277D.....	102
TABLA 4.31. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DE LOS CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LA PANTALLA HMI. FUENTE PROPIA.	104
TABLA 4.32: CONCLUSIÓN DE LA EVALUACIÓN (RESUMEN DE RESULTADOS EN BASE A TABLAS DE EVALUACIÓN SUBSIGUIENTES). FUENTE PROPIA.....	104
TABLA 4.33: EVALUACIÓN DE CANDIDATOS DE ACUERDO AL CRITERIO: ACCESO A LA INFORMACIÓN PARA PROGRAMAR LA PANTALLA HMI. FUENTE PROPIA.	105

TABLA 4.34: EVALUACIÓN DE CANDIDATOS DE ACUERDO AL CRITERIO: CONECTIVIDAD. FUENTE PROPIA.	105
TABLA 4.35: EVALUACIÓN DE CANDIDATOS DE ACUERDO AL CRITERIO: COSTO. FUENTE PROPIA.....	105
TABLA 4.36: EVALUACIÓN DE CANDIDATOS DE ACUERDO AL CRITERIO: INTERFAZ AMIGABLE CON EL USUARIO. FUENTE PROPIA.....	105
TABLA 4.37: EVALUACIÓN DE CANDIDATOS DE ACUERDO AL CRITERIO: VISUALIZACIÓN DE CURVAS OBTENIDAS. FUENTE PROPIA.	106
TABLA 4.38: TABLA DE COSTOS DE HERRAMIENTAS, MATERIALES E INSUMOS. FUENTE PROPIA.	107
TABLA 4.39: GASTOS ADMINISTRATIVOS. FUENTE PROPIA.....	108
TABLA 4.40: COSTOS TOTALES. FUENTE PROPIA.....	108
TABLA 5.1: ÁREAS DE MEMORIA EN EL PLC S7 1200. FUENTE PROPIA.	110
TABLA 5.2: ENTRADAS Y SALIDAS DE UN TEMPORIZADOR. FUENTE PROPIA.	122
TABLA 5.3: ENTRADAS Y SALIDAS DE UN CONTADOR CTUD. FUENTE PROPIA.	123
TABLA 5.4: ENTRADAS Y SALIDAS DEL BLOQUE CTRL_HSC. FUENTE PROPIA.....	124
TABLA 5.5: ENTRADAS Y SALIDAS DEL BLOQUE SCALE_X Y NORM_X. FUENTE PROPIA.....	127
TABLA 5.6: TABLA DE RESUMEN DE ETIQUETAS DE LOS ELEMENTOS DE LA PROGRAMACIÓN DEL MÓDULO DIDÁCTICO. FUENTE PROPIA.....	128
TABLA 5.7: TABLA DE RESUMEN DE ETIQUETAS DE LOS ELEMENTOS DEL PC ACCESS. FUENTE PROPIA.	143

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1: PRINCIPALES PARÁMETROS EXISTENTES EN UN CONTROL DE VARIABLES. FUENTE PROPIA.	2
FIGURA 1.2: CONTROL DE LAZO ABIERTO.	4
FIGURA 1.3: CONTROL DE LAZO CERRADO. ²	4
FIGURA 1.4: ESQUEMA SISTEMA DE CONTROL EN LAZO CERRADO. ²	5
FIGURA 1.5: ESQUEMA CONTROL DE LAZO CERRADO CON PERTURBACIONES. ²	5
FIGURA 1.6: SISTEMA DE CONTROL EN LAZO ABIERTO. ²	8
FIGURA 1.7: REPRESENTACIÓN DEL ERROR POR HISTÉRESIS. FUENTE: PROPIA.	12
FIGURA 1.8: ESQUEMA SENSORES DE NIVEL TUBULAR.	13
FIGURA 1.9: MEDIDORES DE FLOTADOR Y CINTA. A) INDICADOR DE TABLA A ESCALA B) MEDIDOR DE LECTURA EN TIERRA.	14
FIGURA 1.10: ESQUEMA INTERRUPTOR TIPO FLOTADOR. ⁴	15
FIGURA 1.11: ESQUEMA NIVEL POR BURBUJEO.	15
FIGURA 1.12: ESQUEMA MEDIDOR DE TIPO CONDUCTIVÍMETRO.	17
FIGURA 1.13: ENCODER INCREMENTAL.	18
FIGURA 1.14: SEÑAL DEL ENCODER. ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
FIGURA 1.15: ENCODER ABSOLUTO.	18
FIGURA 1.16: ESQUEMA BÁSICO DE UN PLC.	19
FIGURA 1.17: CICLO DE OPERACIÓN DE UN PLC.	20
FIGURA 1.18: ESTRUCTURA INTERNA Y EXTERNA DE UN PLC.	20
FIGURA 1.19: RACKS DE UN PLC.	22
FIGURA 1.20: SISTEMA DE INFORMACIÓN. FUENTE PROPIA.	24
FIGURA 1.21: DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE CONTROL. FUENTE PROPIA.	25
FIGURA 2.1: BOMBA CENTRÍFUGA, DISPOSICIÓN, ESQUEMA Y PERSPECTIVA.	27
FIGURA 2.2: ESQUEMA BOMBA CENTRÍFUGA. FUENTE PROPIA.	28

FIGURA 2.3: ESQUEMA BOMBA CENTRIFUGA Y MOTOR. FUENTE PROPIA.	29
FIGURA 2.4: ESQUEMA DE LOS TANQUES. FUENTE PROPIA.	31
FIGURA 2.5: ESQUEMA TUBO VENTURI Y CONEXIONES. FUENTE PROPIA.	32
FIGURA 2.6: ESQUEMA EQUIPO DE MEDIDA DE PRESIÓN. FUENTE PROPIA.	33
FIGURA 3.1: ESQUEMA TUBO VENTURI. FUENTE PROPIA.	38
FIGURA 3.2: ESQUEMA DEL RODETE. FUENTE PROPIA.	39
FIGURA 3.3: ESQUEMA TUBO VENTURI. FUENTE PROPIA.	40
FIGURA 3.4: TUBO DE CORRIENTE.	42
FIGURA 3.5: REPRESENTACIÓN DE LA LEY DE LA CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA.	44
FIGURA 3.6: REPRESENTACIÓN DEL FLUJO A TRAVÉS DEL TUBO VENTURI. FUENTE PROPIA.	45
FIGURA 3.7: TRIÁNGULO DE VELOCIDADES EN EL RODETE. FUENTE PROPIA.	47
FIGURA 3.8: ALTURAS EN UNA INSTALACIÓN CON BOMBA CENTRÍFUGA.	48
FIGURA 3.9: TRIÁNGULO DE VELOCIDADES EN LA SALIDA DEL RODETE. FUENTE PROPIA.	50
FIGURA 3.10: LA ECUACIÓN IDEAL DE LAS BOMBAS. FUENTE PROPIA.	53
FIGURA 3.11: SALTO EN FUNCIÓN DEL CAUDAL EN EL TUBO VENTURI. FUENTE PROPIA.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 3.12: SALTO EN FUNCIÓN DEL CAUDAL PARA 1500 RPM. FUENTE PROPIA.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 3.13: SALTO EN FUNCIÓN DEL CAUDAL PARA 1600 RPM. FUENTE PROPIA.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 3.14: SALTO EN FUNCIÓN DEL CAUDAL PARA 1700 RPM. FUENTE PROPIA.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 3.15: SALTO EN FUNCIÓN DEL CAUDAL PARA 1800 RPM. FUENTE PROPIA.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 3.16: SALTO EN FUNCIÓN DEL CAUDAL PARA 1900 RPM. FUENTE PROPIA.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 3.17: COMPARACIÓN ENTRE LAS DIFERENTES REVOLUCIONES. FUENTE PROPIA.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 3.18: RENDIMIENTO EN FUNCIÓN DEL CAUDAL. FUENTE PROPIA.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 3.19: RENDIMIENTO EN FUNCIÓN DEL CAUDAL. FUENTE PROPIA.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

FIGURA 3.20: RENDIMIENTO EN FUNCIÓN DEL CAUDAL. FUENTE PROPIA.....	¡ERROR!
MARCADOR NO DEFINIDO.	
FIGURA 3.21: RENDIMIENTO EN FUNCIÓN DEL CAUDAL. FUENTE PROPIA.....	¡ERROR!
MARCADOR NO DEFINIDO.	
FIGURA 3.22: RENDIMIENTO EN FUNCIÓN DEL CAUDAL. FUENTE PROPIA.....	¡ERROR!
MARCADOR NO DEFINIDO.	
FIGURA 3.23: RENDIMIENTO EN FUNCIÓN DEL CAUDAL PARA DIFERENTES VELOCIDADES. FUENTE PROPIA.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 4.1: SENSOR FLOTANTE DE NIVEL.....	83
FIGURA 4.2: DESPLAZADORES.....	84
FIGURA 4.3: ENCODER ABSOLUTO. FUENTE PROPIA.....	88
FIGURA 4.4: ENCODER INCREMENTAL. FUENTE PROPIA.....	89
FIGURA 4.5: PLCALLEN BRADLEY 1763-L16BBB.....	94
FIGURA 4.6: PLC SIEMENS S7-1200.....	95
FIGURA 4.7: PLCTHINGET XC3 -16.....	96
FIGURA 4.8 HMI THINGET, MODELO: MP 760.....	100
FIGURA 4.9: SIMATIC HMI IPC277D.....	102
FIGURA 5.1: SIMATIC S7 – 1200. FUENTE PROPIA.....	109
FIGURA 5.2: FUNCIONES BÁSICA DE STEP 7 BASIC. FUENTE PROPIA.....	111
FIGURA 5.3: PANTALLA DE PROYECTOS EN S7-1200. FUENTE PROPIA.....	112
FIGURA 5.4: CREAR PROYECTO EN S7-1200. FUENTE PROPIA.....	113
FIGURA 5.5: UBICACIÓN DE UN MAIN. FUENTE PROPIA.....	113
FIGURA 5.6: CREACIÓN BLOQUE LÓGICO MAIN. FUENTE PROPIA.....	114
FIGURA 5.7: ARRASTRE DE INSTRUCCIONES HASTA UN SEGMENTO. FUENTE PROPIA.	114
FIGURA 5.8: PERSONALIZADO LOS INSTRUCCIONES A TRAVÉS DE LA OPCIÓN FAVORITOS. FUENTE PROPIA.....	115
FIGURA 5.9: INSTRUCCIONES PARA AGREGAR UN NUEVO BLOQUE. FUENTE PROPIA.....	117
FIGURA 5.10: CONTACTO NORMALMENTE ABIERTO. FUENTE PROPIA.....	119
FIGURA 5.11: CONTACTO NORMALMENTE CERRADO. FUENTE PROPIA.....	119
FIGURA 5.12: BOBINA DE RELÉ, SALIDA. FUENTE PROPIA.....	120
FIGURA 5.13: BOBINA DE RELÉ NEGADA. FUENTE PROPIA.....	120
FIGURA 5.14: BLOQUE TP. FUENTE PROPIA.....	121

FIGURA 5.15: BLOQUE TONR. FUENTE PROPIA.	122
FIGURA 5.16: BLOQUE CTUD CONTADOR. FUENTE PROPIA.	123
FIGURA 5.17: BLOQUE CTRL_HSC CONTADOR RÁPIDO. FUENTE PROPIA.....	124
FIGURA 5.18: FUNCIÓN SCALE_X. FUENTE PROPIA.	126
FIGURA 5.19: FUNCIÓN NORM_X. FUENTE PROPIA.....	126
FIGURA 5.20: LA LÍNEA 0 INDICA UN CIRCUITO EN SERIE. LA LÍNEA 1 INDICA UN CIRCUITO EN PARALELO. FUENTE PROPIA.	127
FIGURA 5.21: ESCALERA DE PROGRAMACIÓN. FUENTE PROPIA.	130
FIGURA 5.22: PRIMER SEGMENTO DE PROGRAMACIÓN. FUENTE PROPIA.....	131
FIGURA 5.23: SEGUNDO SEGMENTO DE PROGRAMACIÓN. FUENTE PROPIA.	131
FIGURA 5.24: TERCER SEGMENTO DE PROGRAMACIÓN. FUENTE PROPIA.	131
FIGURA 5.25: CUARTO SEGMENTO DE PROGRAMACIÓN. FUENTE PROPIA.....	132
FIGURA 5.26: QUINTO SEGMENTO DE PROGRAMACIÓN. FUENTE PROPIA.	132
FIGURA 5.27: SEXTO SEGMENTO DE PROGRAMACIÓN. FUENTE PROPIA.	133
FIGURA 5.28: SÉPTIMO SEGMENTO DE PROGRAMACIÓN. FUENTE PROPIA.....	133
FIGURA 5.29: DETECCIÓN DE HARDWARE. FUENTE PROPIA.....	134
FIGURA 5.30: CONFIGURACIÓN DE LA CPU EN EL PROYECTO. FUENTE PROPIA.....	134
FIGURA 5.31: CUADRO DE DIÁLOGO "CARGAR VISTA PRELIMINAR". FUENTE PROPIA.	135
FIGURA 5.32: COMPONENTES BÁSICOS DE S7-200 PC ACCESS. FUENTE PROPIA.	136
FIGURA 5.33: DETALLES DE LA VISTA DE ÁRBOL. FUENTE PROPIA.	138
FIGURA 5.34: VISTA DE ÍTEMS. FUENTE PROPIA.	139
FIGURA 5.35: AJUSTAR INTERFACE PG/PC. FUENTE PROPIA.	141
FIGURA 5.36: PROPIEDADES DEL PLC PARA LA COMUNICACIÓN ETHERNET. FUENTE PROPIA.....	142
FIGURA 5.37: VENTANA PARA AÑADIR UN ELEMENTO. FUENTE PROPIA.	143
FIGURA 6.1: VISTA DEL PANEL FRONTAL. FUENTE PROPIA.	144
FIGURA 6.2: VISTA DEL DIAGRAMA DE BLOQUES. FUENTE PROPIA.	145
FIGURA 6.3: ÍCONO DEL VI. FUENTE PROPIA.	145
FIGURA 6.4: VISTA DE PANTALLA DE PROYECTOS. FUENTE PROPIA.	146
FIGURA 6.5: VISTA SUBPALETA "MODERN". FUENTE PROPIA.....	147
FIGURA 6.6: MENÚ RÁPIDO. FUENTE PROPIA.	147

FIGURA 6.7: VISTA ÍCONO O COMO TIPO DE DATO. FUENTE PROPIA.	148
FIGURA 6.8: REPRESENTACIÓN DE LAS FUNCIONES DEL VI. FUENTE PROPIA.	148
FIGURA 6.9: REPRESENTACIÓN DE DATOS USADOS EN LABVIEW. FUENTE PROPIA.	149
FIGURA 6.10: SUBPALETA “PROGRAMMING”. FUENTE PROPIA.	149
FIGURA 6.11: VISTA DE ARREGLOS. FUENTE PROPIA.	150
FIGURA 6.12: ARREGLO EN EL DIAGRAMA DE BLOQUES. FUENTE PROPIA.....	151
FIGURA 6.13: ADD DIMENSION. FUENTE PROPIA.	151
FIGURA 6.14: INICIO DE UN ARREGLO. FUENTE PROPIA.	151
FIGURA 6.15: ENCONTRAR UN ELEMENTO EN UN ARRAY. FUENTE PROPIA.	152
FIGURA 6.16: CLÚSTERES. FUENTE PROPIA.....	152
FIGURA 6.17: UBICACIÓN ELEMENTOS EN EL ARMAZÓN. FUENTE PROPIA.....	153
FIGURA 6.18: FUNCIÓN “BUNDLE”. FUENTE PROPIA.....	154
FIGURA 6.19: FUNCIÓN “BUNDLE BY NAME”. FUENTE PROPIA.....	154
FIGURA 6.20: FUNCIÓN “UNBUNDLE BY NAME”. FUENTE PROPIA.	155
FIGURA 6.21: CICLO WHILE. FUENTE PROPIA.	155
FIGURA 6.22: CICLO FINITO CON WHILE LOOP. FUENTE PROPIA.	156
FIGURA 6.23: TÚNELES DE DATOS. FUENTE PROPIA.....	156
FIGURA 6.24: FRECUENCIA DE EJECUCIÓN. FUENTE PROPIA.	157
FIGURA 6.25: REGISTRO DE DESPLAZAMIENTO. FUENTE PROPIA.	158
FIGURA 6.26: INICIALIZACIÓN DE UN REGISTRO DE DESPLAZAMIENTO. FUENTE PROPIA.	158
FIGURA 6.27: GRÁFICA “WAVEFORM CHART”. FUENTE PROPIA.....	159
FIGURA 6.28: GRÁFICA “WAVEFORM GRAPH”. FUENTE PROPIA.	160
FIGURA 6.29: “FUNCIÓN XY GRAPH”. FUENTE PROPIA.	160
FIGURA 6.30: ESTRUCTURA CASE. FUENTE PROPIA.....	161
FIGURA 6.31: TÚNELES DE ENTRADA Y SALIDA. FUENTE PROPIA.	162
FIGURA 6.32: SELECTOR BOOLEANO. FUENTE PROPIA.....	162
FIGURA 6.33: SELECTOR ENTERO. FUENTE PROPIA.....	163
FIGURA 6.34: SELECTOR STRING. FUENTE PROPIA.....	163
FIGURA 6.35: SELECTOR DE ENUM. FUENTE PROPIA.	164
FIGURA 6.36: ÍCONO DE UN NUEVO VI. FUENTE PROPIA.	165

FIGURA 6.37: PANEL CONECTOR A TODO VI. FUENTE PROPIA.....	165
FIGURA 6.38: PANEL CONECTOR. FUENTE PROPIA.....	166
FIGURA 6.39: TERMINALES PARA LOS CONTROLES EN SUBVI. FUENTE PROPIA.	166
FIGURA 6.40: EDITAR UN SUBVI. FUENTE PROPIA.....	167
FIGURA 6.41: NO VERTIMIENTO A DISCO. FUENTE PROPIA.....	168
FIGURA 6.42: VERTIMIENTO A DISCO. FUENTE PROPIA.....	169
FIGURA 6.43: PANTALLA INICIAL DEL PROGRAMA. FUENTE PROPIA.....	170
FIGURA 6.44: VENTANA DE INICIO DE PROGRAMA. FUENTE PROPIA.	170
FIGURA 6.45: PANTALLA GENERAL DE DATOS. FUENTE PROPIA.....	171
FIGURA 6.46: PANTALLA DE ADQUISICIÓN DE DATOS. FUENTE PROPIA.....	172
FIGURA 6.47: PANTALLA DE PARO DE CICLO Y LLENADO DE TANQUE DE MEDIDA. FUENTE PROPIA.	172
FIGURA 6.48: GRÁFICA ALTURA EN FUNCIÓN DEL CAUDAL DEL TUBO VENTUARI. FUENTE PROPIA.	173
FIGURA 6.49: GRÁFICA ALTURA MANOMÉTRICA DE MERCURIO EN FUNCIÓN DEL CAUDAL. FUENTE PROPIA.	173
FIGURA 6.50: GRÁFICA DE RENDIMIENTO DE LA BOMBA EN FUNCIÓN DEL CAUDAL. FUENTE PROPIA.	174
FIGURA 6.51: GRÁFICA COMPROBATORIAS <i>salto velocidad2 vscaudal velocidad</i> . FUENTE PROPIA.	174
FIGURA 6.52: GRÁFICAS COMPARATIVAS DE SALTOS Y RENDIMIENTOS EN FUNCIÓN DEL CAUDAL A DIFERENTES RPM. FUENTE PROPIA.....	175
FIGURA 6.53: ENLACE CON LABVIEW – EXEL PARA GUARDAR DATOS. FUENTE PROPIA.....	175
FIGURA 6.54: DIAGRAMA DE BLOQUES PRINCIPAL. FUENTE PROPIA.....	176
FIGURA 6.55: SUBVI DE CÁLCULOS. FUENTE PROPIA.....	177
FIGURA 6.56: SUBVI DE GRÁFICAS. FUENTE PROPIA.....	178
FIGURA 6.57: SUBVI DE DATOS. FUENTE PROPIA.	178
FIGURA 6.58: DIAGRAMA DE DATOS. FUENTE PROPIA.	179
FIGURA 6.59: PANTALLA INICIO. FUENTE PROPIA.....	180
FIGURA 6.60: PANTALLA ADQUIRIR. FUENTE PROPIA.	180
FIGURA 6.61: ESTRUCTURA “CASE” ANÁLISIS. FUENTE PROPIA.....	181
FIGURA 6.62: ESTRUCTURA “CASE” DE GRÁFICAS. FUENTE PROPIA.	181

RESUMEN

En la actualidad, uno de los objetivos de las empresas es optimizar los sistemas de control, que permita aligerar las tareas de mando y supervisión mediante aparatos más sofisticados, utilizando sistemas de comunicación y herramientas de visualización que permitan efectivizar el proceso de control.

El fin de este proyecto es implementar un sistema SCADA para el equipo de ensayo con bomba centrífuga del Laboratorio de Fluidos de la Facultad de Ingeniería Mecánica de La Escuela Politécnica Nacional que servirá para que los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Mecánica se familiaricen con las características del sistema SCADA a través de prácticas demostrativas, que permitan al usuario en base a datos obtenidos poder supervisar y controlar el proceso.

La característica fundamental de estos sistemas es que permiten, en todo momento, conocer el estado del proceso. Las empresas aprovechan esta característica incorporando a sus sistemas de control plataformas SCADA esta situación obliga al egresado de la especialidad de Ingeniería Mecánica a tener una buena formación tanto de conocimientos teóricos como prácticos, de cómo configurar y utilizar software y hardware en una serie de aplicaciones industriales.

A nivel industrial, se han venido incorporando sistemas de procesamiento que concentran las funciones de los circuitos electromecánicos como relés, temporizadores y contadores, entre otros con un computador PLC (Controlador Lógico Programable) que puede funcionar en los ambientes de trabajo más hostiles.

Los PLC's pueden ser programados en varios lenguajes, pero el lenguaje "Ladder" o escalera es ampliamente utilizado ya que permite la escritura de programas siguiendo una lógica sencilla con tiempos cortos de realización, lo que repercute en una reducción del total tiempo para el desarrollo del sistema de control.

Para alcanzar el objetivo de este proyecto primero se realiza una investigación de los principales conceptos del control y funcionamiento de la bomba centrífuga abarcando temas de Monitoreo y Sistemas SCADA.

Mediante un análisis minucioso de las variables que intervienen en el proceso se procede a reunir los parámetros de selección adecuados para que los subsistemas puedan ser monitoreados y controlados efectivamente.

El proceso de programación del controlador lógico programable PLC se desarrollará a la par del diseño de la interfaz hombre máquina HMI para solventar las dificultades que podrían presentar a causa de incompatibilidades.

Se hará una descripción de los sistemas de comunicación y de supervisión del prototipo SCADA con sus funciones de control, supervisión y adquisición de datos.

Por último se realizan diferentes pruebas de funcionamiento del sistema en conjunto, se examinan los resultados que nos permiten sacar conclusiones y proporcionar recomendaciones que sirvan en trabajos afines futuros.

PRESENTACIÓN

Para satisfacer la necesidad de contar con equipos didácticos con tecnología de punta en el Laboratorio de Fluidos de la Facultad de Ingeniería Mecánica de La Escuela Politécnica Nacional se presenta este proyecto, el cuál desarrolla un sistema de control comunicado mediante un PLC que permite supervisar el funcionamiento del equipo de ensayo con bomba centrífuga.

La visualización y control de los procesos en tiempo real se realiza a través de las interfaces hombre-máquina (HMI) desarrolladas con el software seleccionado de acuerdo a las necesidades del sistema.

El presente proyecto de Titulación está conformado por siete capítulos, desarrollados de la siguiente manera:

En el Capítulo 1 se presenta una revisión general a la concepción del proyecto, se hace un estudio formal de cada uno de los temas más importantes en lo referente a un sistema SCADA, sin entrar en detalles profundos de los mismos.

En el Capítulo 2 se describe el equipo al cual se le realizará la automatización siendo el caso de la bomba centrífuga y características generales de la misma como los parámetros de funcionamiento.

En el Capítulo 3 se describe el proceso y las variables que son necesarias para el entendimiento y la obtención de las curvas características de la bomba.

En el Capítulo 4 se desarrollan las soluciones o alternativas propuestas para realizar un óptimo control dentro del presupuesto estimado.

En el Capítulo 5 se realiza la descripción de la programación y diferentes subrutinas del PLC SIEMENS S7 – 1200.

En el Capítulo 6 se desarrolla la interfaz gráfica para el operador, creando pantallas globales e individuales del prototipo para el manejo de consignas, lectura de variables, presentaciones gráficas, almacenamiento de datos en el programa LABVIEW.

Por último en el Capítulo 7 se señalan las conclusiones y recomendaciones sustentadas en los resultados de las pruebas obtenidas de forma manual y con la utilización del software desarrollado.

CAPÍTULO 1

1. FUNDAMENTO TEÓRICO DEL PROYECTO

El presente proyecto de titulación toma como punto de partida el Diseño y Construcción de un Sistema SCADA para controlar el caudal de agua que sale desde un tanque¹; Aquí se realiza un estudio de los Sistemas de Supervisión SCADA se complementa esta tarea con visualización HMI, para realizar las tareas de mando y supervisión, garantizando la adquisición de datos del nivel como se lo haría en forma real.

Se diseñará la Interfaz Hombre Máquina (HMI) que permita al usuario la visualización remota de las variables de funcionamiento de la bomba. Se estudiarán las diferentes alternativas de comunicación para escoger la que mejor se acople en el ambiente de laboratorio, procurando que los equipos no representen un gasto económico considerable.

1.1. SISTEMAS DE CONTROL

Un sistema de control es un conjunto de elementos que actúan sobre otro sistema (de planta) para que este cumpla con sus objetivos determinados o tareas requeridas.

1.1.1. TIPOS DE CONTROL DE PROCESOS

- Según la forma de operar el sistema de control se clasifican en:
 - Control Manual: Cuando un operador humano es el que efectúa el control sobre el sistema.

¹BARRERA Laura, LUZURIAGA Daniel, (2007), “Diseño y construcción de un sistema SCADA sobre wi-fi para controlar el caudal de agua que sale desde un tanque”, Politécnica Nacional, Ecuador, Pág. 31.

- Control Semiautomático: Cuando parte del proceso de control es automático y otra parte es manual.
- Control Automático: Cuando no interviene un operador humano, sino que son elementos artificiales los que efectúan el control.
- Según la forma en que este sistema controla otros sistemas, se clasifica en:
 - Control Secuencial: Como su nombre lo indica, este tipo de control establece una secuencia para la ejecución de distintos procesos. Dependiendo del sistema a controlar, esta secuencia puede o no ser cíclica. Son ejemplos de control secuencial: el control de plantas envasadoras, dosificadoras de líquidos, el arranque de quemadores en unidades de generación de vapor (calderas), etc.
 - Control de Variables: Este tipo de control actúa sobre los parámetros de salida de un sistema físico para que converjan con los valores requeridos o de referencia. Son ejemplos de control de variables: el control de la altura de un fluido en un recipiente, del caudal de un líquido, el control de la temperatura a la cual debe llegar un horno, etc.

En el control de variables se pueden reconocer las siguientes definiciones:

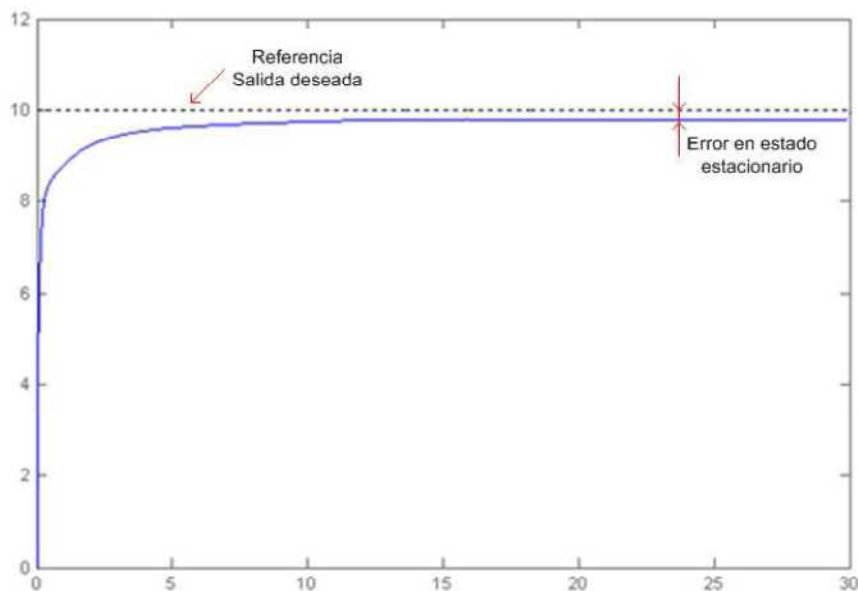


Figura 1-1: Principales parámetros existentes en un control de variables. Fuente Propia.

Un sistema es “estable” cuando la respuesta del sistema converge con el tiempo al valor de referencia y se mantiene cercana a este valor dentro de un rango de error establecido como se observa en la Figura 1.1.

Hay casos en que el sistema no converge, o luego de acercarse se aleja nuevamente (a veces cíclicamente), entonces, se dice que el sistema es “inestable” y por tanto el control falla.

1.1.2. SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICO

El control automático desempeña un papel importante en los procesos de manufactura, industriales, navales, aeroespaciales, robótica, biológicos, etc. Va ligado a prácticamente todas las ingenierías (eléctrica, electrónica, mecánica, sistemas, industrial, química, etc.)

Son sistemas que pretenden la ausencia de operadores para que se realicen las operaciones necesarias dentro de un proceso cualesquiera.

1.1.2.1. ELEMENTOS DE LOS SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICO

El sistema de control presenta los elementos necesarios para que el sistema de planta (a controlar) pueda cumplir con sus objetivos.

Los elementos principales de un sistema de control son:

Sensores: Son dispositivos cuyas funciones son las siguientes:

- Detectar o captar parámetros emitidos por los sistemas de planta.
- Enviar esta información al controlador determinado.

Controlador: Este dispositivo funciona como el eje central o cerebro del sistema de control. Sus funciones son:

- Almacenar información(sea por su programación, o por datos adquiridos).
- Recibir la información proveniente de los sensores.
- Procesar esta información.
- Enviar órdenes a los actuadores según el análisis de la información recibida para que estos actúen sobre el sistema de planta para que cumpla con sus objetivos. Es decir estas órdenes según la información procesada, provocarán la apertura o cierre de válvulas, encendido o apagado de motores, bombas, etc.

Actuadores: Estos dispositivos cuando reciben órdenes (señales) provenientes del controlador, accionan o actúan sobre el sistema de planta para controlarlo las partes principales de un sistema de control se encuentran representadas en la figura 1.2 ejemplo de un sistema de control en lazo abierto.

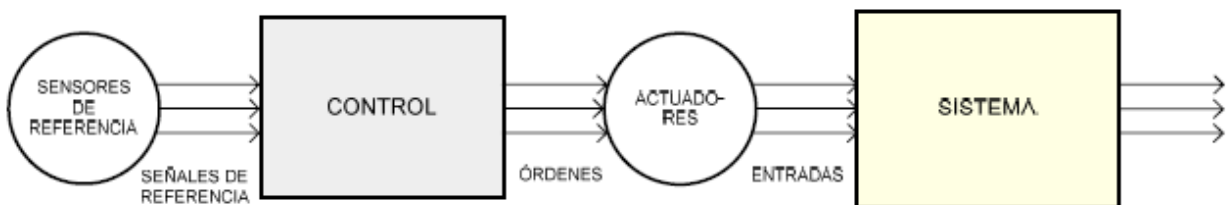


Figura 1-2: Control de lazo abierto.²

1.1.2.2. SISTEMAS DE CONTROL EN LAZO CERRADO

También llamado sistema de control realimentado, es aquel que compara la salida del sistema con la entrada de referencia y usa la diferencia como medio de control para poder obtener una salida deseada. Dicha señal de error es llevada al controlador a fin de reducir el error y llevar al sistema a un valor conveniente.

Tienen además la característica de que no requieren de un operador al poseer un sistema de medición y actuación, por lo que también se los llama sistemas de control automático ejemplo del funcionamiento para el control lazo se cerrado se tiene en la figura 1.3.

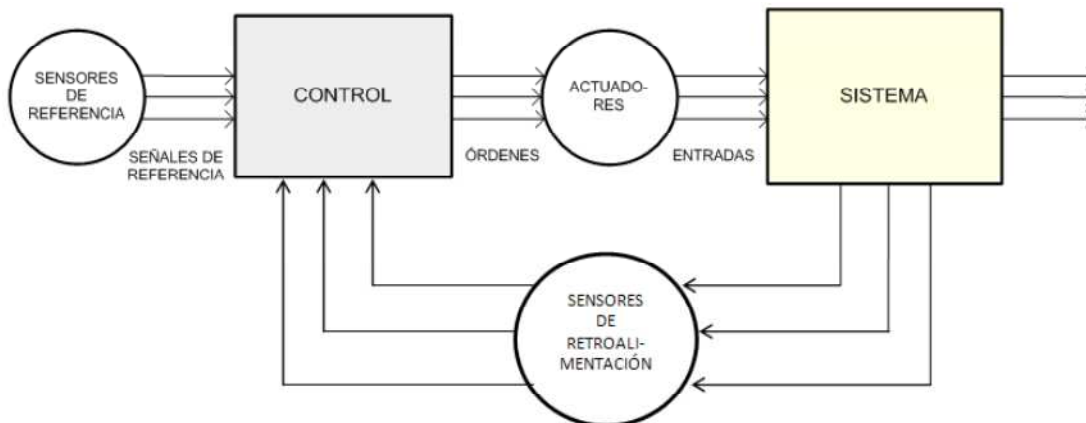


Figura 1-3: Control de lazo cerrado.²

²AGUINAGA, CRUZ, (2006), "Folleto de Control Automático"; E.P.N, Pág. 10 -12.

Son sistemas de tipo robusto que resisten perturbaciones internas y externas por lo que debido a la realimentación la salida se mantendrá en valores convenientes.

El diagrama de bloques de un sistema de control en lazo cerrado se muestra en la figura 1-4.

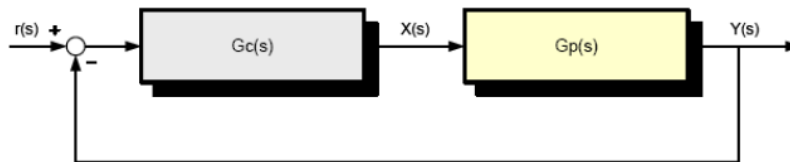


Figura 1-4: Esquema Sistema De Control En Lazo Cerrado.²

$$H(s) = \frac{Y(s)}{r(s)} = \frac{G_p(s) \cdot G_c(s)}{1 + G_p(s) \cdot G_c(s)} \quad (1)$$

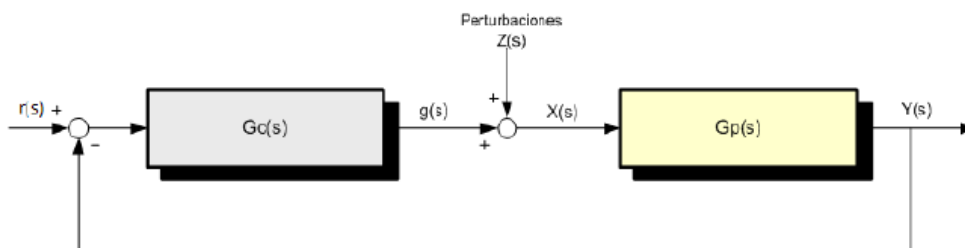


Figura 1-5: Esquema control de lazo cerrado con perturbaciones.²

$$Y(s) = \frac{G_p(s) \cdot G_c(s)}{1 + G_p(s) \cdot G_c(s)} r(s) + \frac{G_p(s) \cdot G_c(s)}{1 + G_p(s) \cdot G_c(s)} Z(s) \quad (2)$$

Donde:

$H(s)$ es la función de transferencia global.

$Y(s)$ es la salida del sistema de planta.

$r(s)$ es la referencia.

$G_p(s)$ es la función de transferencia del sistema de planta.

$G_c(s)$ es la función de transferencia del sistema de control.

$Z(s)$ representa las perturbaciones.

1.1.2.2.1. Acciones de control en lazo cerrado o retroalimentado

Existen básicamente 4 tipos de acciones de control: todo – nada (on – off), proporcional, derivativo, integral. Estos interaccionan unos con otros para crear acciones de control más precisas según lo requiera la aplicación, pero de la suma de estos últimos tres nace la acción de control PID.

- Todo – nada: Es la acción más sencilla ya que consiste en un pulsador que generalmente solo prende o apaga un actuador. Es decir permanece en un valor máximo o mínimo dependiendo de la información de retroalimentación.
- Proporcional (P): Este tipo de acción de control trata de encontrar el valor de una constante denominada ganancia proporcional, que permite cumplir con el requerimiento del tiempo de subida. Es decir este tipo de control se asemeja a un amplificador (cuya constante puede ser cambiada según el requerimiento).

La relación entre las señales de entrada y salida en el controlador está dada por la siguiente ecuación:

$$u(t) = K_p \cdot e(t) \quad (3)$$

Donde:

K_p = Ganancia proporcional.

$u(t)$ es señal de salida del controlador.

$e(t)$ es señal de error.

Aplicando Laplace en la función anterior se obtiene la función de transferencia para este tipo de acción de controles :

$$G_c(s) = K_p = \frac{U(s)}{r(s)-Y(s)} = \frac{U(s)}{e(s)} \quad (4)$$

Por tanto la función de transferencia del control proporcional es igual a la constante K_p .

- Derivativo (D): Gracias al control derivativo es posible controlar los sobrepicos, es decir podemos regular el máximo valor que puede llegar a tener un sobrepico.

Este tipo de acción es muy importante ya que si no podemos controlar los sobrepicos en el funcionamiento de un sistema, estos pueden llegar a provocar rápidamente el colapso del sistema.

En el controlador se tiene:

$$u(t) = K_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \quad (5)$$

Donde:

K_d = constante de acción derivativa.

Aplicando Laplace en la ecuación anterior se tiene:

$$U(s) = K_d \cdot s \cdot E(s) \quad (6)$$

La función de transferencia del controlador derivativo es:

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_d \cdot s \quad (7)$$

- Integral (I): Mediante este control, es posible reducir el error en estado estacionario al introducir en la acción de control una constante K_i .

Este tipo de control es integral, ya que el valor de la salida del controlador varía en relación proporcional con la señal del error.

$$\frac{du(t)}{dt} = K_i \cdot e(t) \quad (8)$$

Donde:

K_i es la constante a sintonizar

Si despejamos la $u(t)$ de la ecuación anterior, obtenemos:

$$\int du(t) = K_i \int_0^t e(t) \cdot dt \quad (9)$$

Si se aplica la transformada de Laplace en la anterior ecuación, tenemos:

$$U(s) = \frac{K_i}{s} \cdot E(s) \quad (10)$$

La función de transferencia resultante para una acción integral es:

$$G_c = \frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s} \quad (11)$$

1.1.2.3. SISTEMA DE CONTROL EN LAZO ABIERTO

Son sistemas en los cuales la salida no afecta la señal de control, es decir, que el sistema de control en lazo abierto no mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada.

En cualquier sistema de control en lazo abierto, la salida no se compara con la entrada de referencia, por tanto a cada entrada de referencia, le corresponde una condición operativa fija; como resultado, la precisión del sistema depende de la calibración. Ante la presencia de perturbaciones, este sistema de control no realiza la tarea deseada. En la práctica, este tipo de sistema de control solo se usa si se conoce la relación entre la entrada y la salida y si no hay perturbaciones externas e internas.

El diagrama de bloques de un sistema de control en lazo abierto se muestra en la figura 1.6:

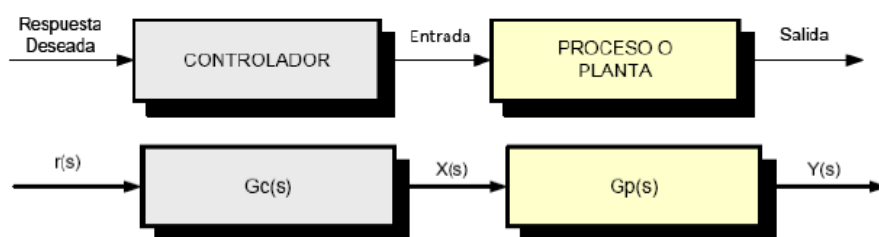


Figura 1-6: Sistema De Control En Lazo Abierto.²

$$H(s) = \frac{Y(s)}{r(s)} = G_p(s) \cdot G_c(s) \quad (12)$$

1.1.3. COMPARACIÓN ENTRE ESTOS DOS TIPOS DE SISTEMAS

Una ventaja del sistema de control en lazo cerrado es que el uso de la realimentación vuelve la respuesta del sistema relativamente insensible a las perturbaciones externas y a las variaciones internas en los parámetros del sistema. Por tanto, es posible usar componentes en general más precisos para obtener el control adecuado de una planta determinada, en tanto que hacer eso es imposible en el caso de un sistema en lazo abierto.

Desde el punto de vista de la estabilidad, el sistema de control en lazo abierto, es más fácil de desarrollar, porque la estabilidad del sistema no es un problema importante. Por otra parte, la estabilidad es una función principal en el sistema de control en lazo cerrado, lo cual puede conducir a corregir en exceso errores que producen oscilaciones de amplitud constante o cambiante.³

Para los sistemas en los que se conocen con anticipación las entradas y en los cuales no hay perturbaciones, es aconsejable usar un control en lazo abierto. Los sistemas de control en lazo cerrado solo tienen ventajas cuando se presentan perturbaciones impredecibles en los componentes del sistema.

La cantidad de elementos utilizados en un sistema de control en lazo cerrado es mayor que la que se utiliza para un sistema de control en lazo abierto equivalente. Por lo tanto, el sistema de control en lazo cerrado suele tener costos y potencias más grandes. Para disminuir la energía requerida de un sistema, se emplea un control en lazo abierto cuando puede aplicarse. Por lo general, una combinación adecuada de controles en lazo abierto y lazo cerrado es menos costosa y ofrecerá un desempeño satisfactorio del sistema en general.

En un sistema de control automático en lazo cerrado intervienen:

- Proceso: Operación que conduce a un resultado determinado.

³OGATA K, (1987), "*Ingeniería de Control Moderna*", Tercera edición, Prentice Hall Hispanoamericana, México, Páginas 7 y 8.

- **Planta:** Es el elemento físico que se desea controlar. Planta puede ser: un motor, un horno, un sistema de disparo, un sistema de navegación, un tanque de combustible, etc.
- **Sistema:** Consiste en un conjunto de elementos que actúan coordinadamente para realizar un objetivo determinado.
- **Señal de salida:** Es la variable que se desea controlar (posición, velocidad, presión, temperatura, etc.). También se denomina variable controlada.
- **Señal de referencia.** Es el valor que se desea que alcance la señal de salida.
- **Señal de control:** Es la señal que produce el controlador para modificar la variable controlada de tal forma que se disminuya o elimine el error.
- **Señal análoga:** Es una señal continua en el tiempo.
- **Señal digital:** Es una señal que solo toma valores de 1 o 0.
- **Convertor análogo/digital:** Es un dispositivo que convierte una señal analógica en una señal digital (1 o 0).
- **Convertor digital/análogo:** Es un dispositivo que convierte una señal digital en una señal analógica (corriente o voltaje).
- **Perturbación:** Es una señal que tiende a afectar la salida del sistema, desviándola del valor deseado.
- **Transmisor:** Es en conjunto un sensor que convierte el valor de una magnitud física, en una señal eléctrica normalizada, sea esta digital o análoga, mediante circuito de acondicionamiento que permite su manejo.

1.2. SENSORES

Sensor es un dispositivo o transductor que convierte un tipo de señal o condición física (que se quiere medir) en otro tipo de señal (que facilita su medición), generalmente eléctrica para ser usada por un controlador como por ejemplo un PLC.

Los sensores están conectados a la entrada del controlador.

Existen varias características técnicas que definen el funcionamiento de un sensor, entre las más importantes se encuentran las siguientes:

- Rango de medida: Corresponde al rango entre el límite superior e inferior de la magnitud medida que el sensor puede detectar.
- Alcance o span: Al rango se lo divide en un número determinado de escalas para poder observar valores intermedios. El alcance es la distancia entre el mayor y el menor valor de la escala.
- Desviación de cero (Offset): Representa el valor medido en la variable de salida siempre y cuando la variable de entrada sea nula. (En el caso de que los valores de la variable de entrada no lleguen a cero, se debe establecer otro punto de referencia).
- Linealidad: No todo sensor tiene un comportamiento aproximadamente lineal. Para un análisis matemático, lo mejor para simplificar los cálculos y la modelación, es recomendable linealizar su comportamiento.
- Sensibilidad: Representa la relación entre la variación de la magnitud de salida y la variación de la magnitud de entrada. Es decir nos indica que tan grande y rápida es la variación de la respuesta o salida cuando hay una variación en la entrada.
- Resolución: Representa la mínima variación de la magnitud de la entrada que puede ser captada por la respuesta del sistema o salida.
- Velocidad de respuesta: Representa el tiempo necesario para que luego de aplicada una señal de entrada en el sensor, este produzca la señal de salida correspondiente.
- Repetitividad: Capacidad de obtener la misma respuesta o salida al repetir varias veces la misma medida de la entrada.
- Zona muerta: La zona muerta representa un rango de valores de la señal de entrada para los cuales el sensor no es capaz de enviar señales de salida.
- Tiempo muerto: Es el tiempo que debe transcurrir desde el momento de la llegada de la señal de entrada hasta que el sensor es capaz de responder.
- Error: Corresponde al resultado de la diferencia entre el valor verdadero de la magnitud a medir menos el valor que el sensor logra captar.
- Error por histéresis: Diferencia entre el valor obtenido por un incremento de la magnitud a medir menos el valor obtenido por una reducción de la misma magnitud el error por histéresis se observa en la figura 1.7.

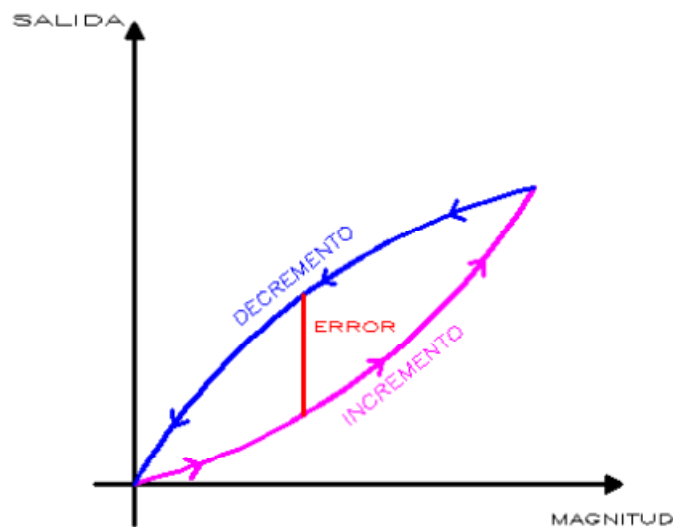


Figura 1-7: Representación del error por histéresis. Fuente: propia.

- **Precisión:** Se traduce como el error de medida determinado, o también como el grado de error que se presenta siempre entre el valor medido y el valor real. Depende del tipo de sensor y de la casa fabricante.

Generalmente, la señal de salida de los sensores no puede ser leída directamente, sino que se requiere de un controlador o procesador de señales. Existen sensores que debido a su aplicación envían señales que requieren ser amplificadas (y posteriormente acondicionadas con un filtro electrónico), por ejemplo mediante un puente de Wheatstone o amplificadores operacionales que modifican y adaptan la señal a los niveles apropiados para que el controlador sea capaz de detectarlos.

1.2.1. SENSORES DE NIVEL

- **Nivel tubular:** Consiste en un tubo de vidrio con sus extremos conectados a bloques metálicos y cerrados por prensaestopas que están unidos al depósito generalmente mediante tres válvulas, dos de cierre de seguridad en los extremos del tubo para impedir el escape del líquido en caso de rotura del cristal y una de purga en la figura 1.8 se observa un sensor de nivel tipo tubular.

El líquido sube por el tubo hasta igualar al nivel del depósito.

Limitaciones:

- No soportan mucha presión (máximo 7 bares).
- No soportan mucha temperatura.
- No son resistentes a los impactos.
- No se pueden usar líquidos que manchen el interior del tubo.
- Para presiones elevadas el cristal es grueso, de sección rectangular y está protegido por una armadura metálica.

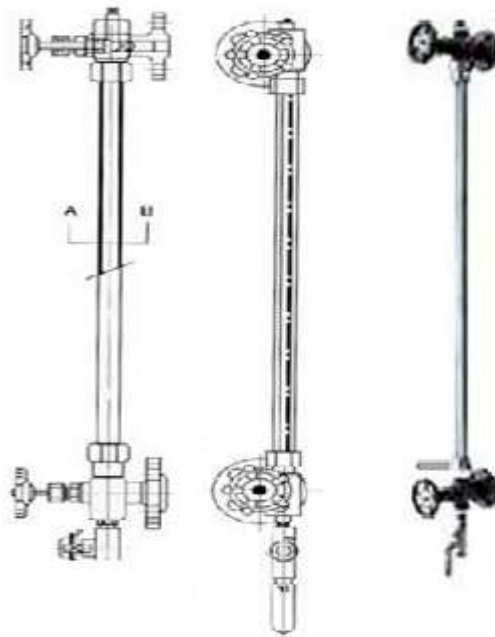


Figura 1-8: Esquema sensores de nivel tubular.⁴

- Medidor de nivel flotador: Consiste en un flotador ubicado en contacto con el fluido y conectado al exterior del depósito indicando directamente el nivel sobre una escala graduada ejemplo de medidores del tipo flotador se observan en la figura 1.9.

⁴<http://snoresdenivel.com/>

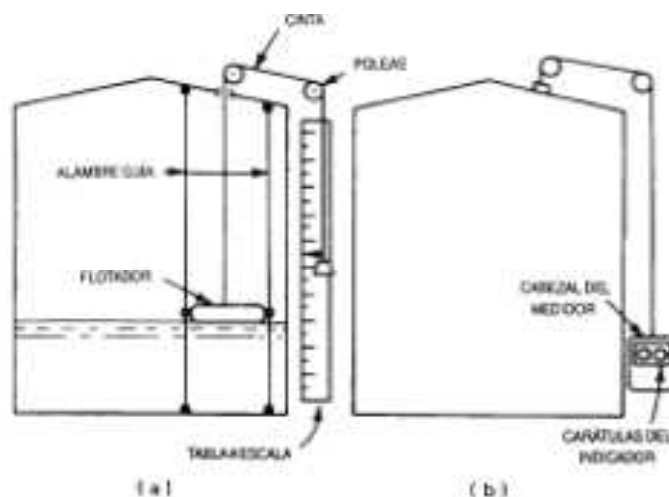


Figura 1-9: Medidores de flotador y cinta. a) Indicador de tabla a escala b) Medidor de lectura en tierra.⁵

Existen distintos modelos:

- De regleta: el contrapeso se mueve en sentido contrario al flotador por una regleta calibrada.
- De unión magnética: el flotador hueco, que lleva en su interior un imán, se desplaza a lo largo de un tubo guía vertical no magnético. Es fácil instalar contactos a lo largo de la regleta para fijar alarmas de nivel.
- Interruptor de nivel tipo flotador: Consta de un flotador pendiente del techo del depósito por una barra a través de la cual transmite su movimiento a un ampolla de mercurio (la hace bascular) con un interruptor, el medidor de nivel tipo flotador interruptor se observa en la figura 1.10.

Si el nivel alcanza al flotador lo empuja en sentido ascendente, ascendiendo si la fuerza supera al peso del flotador. Este movimiento es transmitido por la barra y el interruptor cambia de posición. La ampolla es de acero inoxidable no magnético. Tiene una señal del tipo todo-nada (0 ó 1).

⁵<http://instrumentacionindustrial2007-1.com/>

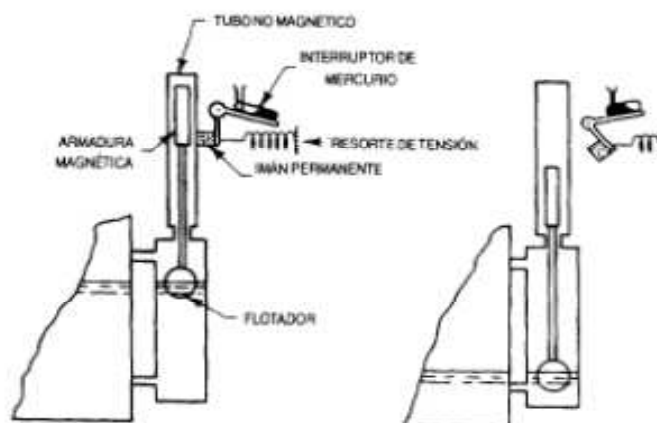


Figura 1-10: Esquema interruptor tipo flotador.⁴

- Medidor de nivel por burbujeo: Se emplea un tubo sumergido en el líquido por el que se hace burbujear aire o gas mediante un rotámetro con un regulador de caudal incorporado hasta producir una corriente continua de burbujas, la figura 1.11 corresponde a un medidor de nivel por burbujeo.

La presión requerida para producir el flujo continuo de burbujas es una medida de la columna de líquido (La presión del gas en la tubería equivale a la presión hidrostática ejercida por la columna de líquido equivale al nivel del depósito).

Sistema muy ventajoso en aplicaciones con líquidos corrosivos o con materiales en suspensión.

No se recomienda su empleo cuando el fluido purga y para fluidos altamente viscosos donde las burbujas formadas del gas de purga presentan el riesgo de no separarse rápidamente del tubo.

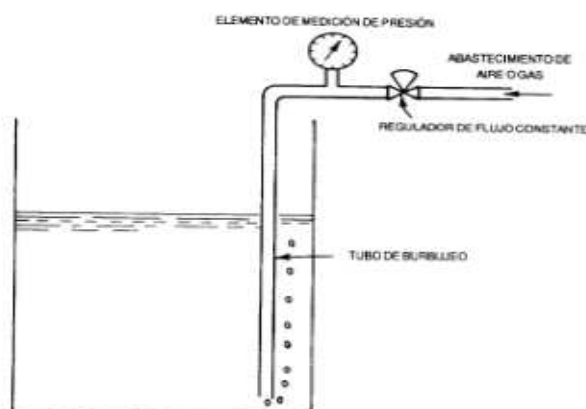


Figura 1-11: Esquema nivel por burbujeo.⁶

⁶<http://instrumentacionunexpo.com>

- Medidor capacitivo: Se basa en medir la variación de capacitancia de un condensador cuando va variando el medio dieléctrico entre sus placas.

Con el depósito metálico e introduciendo una sonda metálica sin contacto entre ambos, se forma un condensador. Al variar el nivel de líquido varía proporcionalmente la capacidad. Si el depósito no es metálico se introducen dos sondas.

En fluidos no conductores se emplea un electrodo normal y la capacidad total del sistema se compone de la del líquido, la del gas superior y la de las conexiones superiores. En fluidos conductores el electrodo está aislado usualmente con teflón interviniendo las capacidades adicionales entre el material aislante y el electrodo en la zona del líquido y del gas.

La precisión de los transductores de capacidad es de ± 1 %. Se caracterizan por no tener partes móviles, son ligeros, presentan una buena resistencia a la corrosión y son de fácil limpieza.

Tiene el inconveniente de que la temperatura puede afectar las constantes dieléctricas (0,1 % de aumento de la constante dieléctrica/°C) y de que los posibles contaminantes contenidos en el líquido puedan adherirse al electrodo variando su capacidad y falseando la lectura, en particular en el caso de líquidos conductores. También se usan como interruptores de nivel.

- Medidor de tipo conductímetro: Consta de una sonda con uno, dos o más electrodos. Cuando estos entran en contacto con el líquido conductor se cierra un circuito eléctrico, que a través de la unidad amplificadora conmuta un contacto, en la figura 1.12 se observa un medidor de nivel tipo conductímetro.

Se usa como interruptores de nivel en recipientes de líquidos conductores que no sean ni muy viscosos ni corrosivos.

El líquido debe ser lo suficientemente conductor como para excitar el circuito electrónico.

Cuando el líquido moja los electrodos se cierra el circuito electrónico y circula una corriente segura del orden de los 2mA, el relé electrónico dispone de un temporizador de retardo que impide su enclavamiento ante una ola del nivel del líquido o ante cualquier perturbación momentánea o

bien en su lugar se disponen dos electrodos poco separados enclavados eléctricamente en el circuito.

El instrumento se emplea como alarma o control de nivel alto y bajo, utiliza relés eléctricos para líquidos con buena conductividad y relés electrónicos para líquidos con baja conductividad.

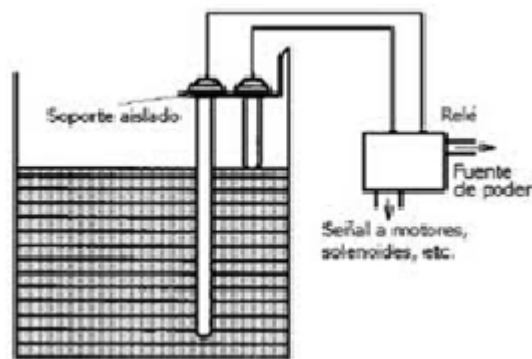


Figura 1-12: Esquema medidor de tipo conductivímetro.⁷

1.2.2. ENCODERS

Los Encoders son sensores que generan señales digitales en respuesta al movimiento.

Están disponibles en dos tipos, uno que responde a la rotación, y el otro al movimiento lineal. Cuando son usados en conjunto con dispositivos mecánicos tales como engranajes, ruedas de medición o flechas de motores, estos pueden ser utilizados para medir movimientos lineales, velocidad y posición.

1.2.2.1. TIPOS DE ENCODERS

- Encoder incremental: Este tipo de encoder se caracteriza porque determina su posición, contando el número de impulsos que se generan cuando un rayo de luz, es atravesado por marcas opacas en la superficie de un disco unido al eje en la figura 1.13 se observa el encoder de tipo incremental.

⁷<http://www.solostocks.com>

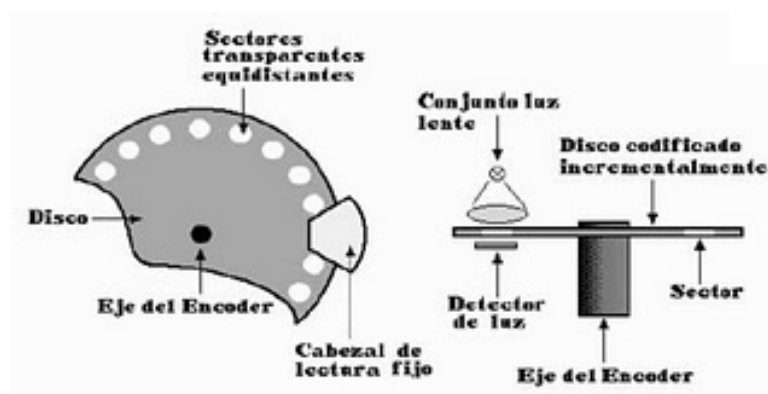


Figura 1-13: Encoder incremental.⁸

Un simple sistema lógico permite determinar desplazamientos a partir de un origen, a base de contar impulsos de un canal y determinar el sentido de giro a partir del desfase entre los dos canales. Algunos encoders pueden disponer de un canal adicional que genere un pulso por vuelta y la lógica puede dar número de vueltas más fracción de vuelta.

La resolución del encoder depende del número de impulsos por revolución.

- Encoder absoluto: En el encoder absoluto, el disco contiene varias bandas dispuestas en forma de coronas circulares concéntricas, dispuestas de tal forma que en sentido radial el rotor queda dividido en sectores, con marcas opacas y transparentes codificadas en código Gray (sistema de numeración binario en el que dos valores sucesivos difieren solamente en uno de sus dígitos), ejemplo del encoder absoluto se observa en la figura 1.15.

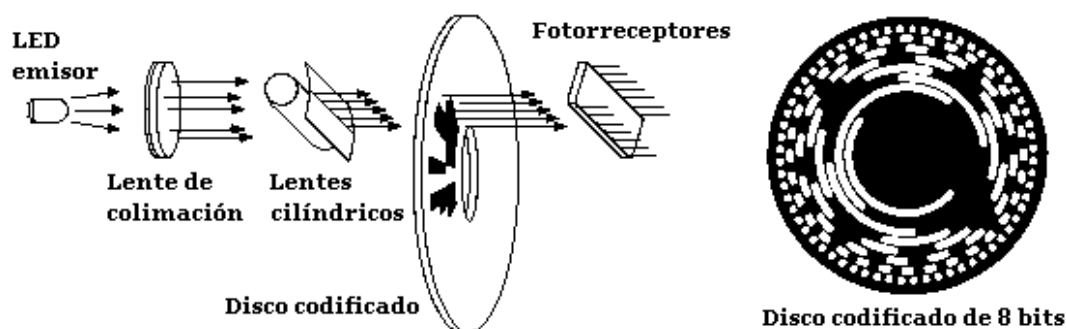


Figura 1-14: Encoder absoluto.⁹

⁸<http://thedenneys.org>

⁹<http://www.info-ab.uclm.es>

Según la posición del disco, la luz emitida por cada emisor se enfrentará a un sector opaco o transparente.

Si se enfrenta a un sector opaco, la luz se refleja y el receptor recibe la señal como se observa en la figura 1.15., si se enfrenta a un sector transparente, la luz no se refleja y el receptor no recibe la señal.

Las diferentes combinaciones posibles de sectores dan origen a una señal de salida digital formada por cuatro bits que puede ser procesada.

Generalmente, los encoders incrementales proporcionan mayor resolución a un costo más bajo que los encoders absolutos. Además, su electrónica es más simple ya que tienen menos líneas de salida.

1.2.3. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC).

Es un elemento de estado sólido que controla elementos de salida basados en el estado de las entradas, y un programa desarrollado por el usuario. Fueron originalmente desarrollados para reemplazar a los relés usados para control discreto. Son ampliamente utilizados en la industria para automatizar procesos, por ejemplo en las envasadoras de agua, en donde el PLC recibe las señales de los sensores de nivel, posición, contadores; y de acuerdo de éstas, habilita actuadores que llenan las botellas, mueven bandas trasportadoras, etc. La figura 1.16 muestra el esquema básico de un PLC.

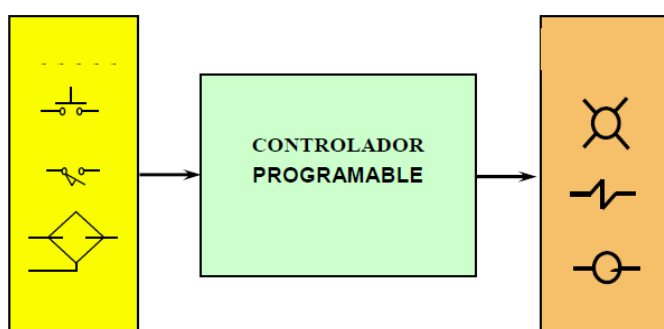


Figura 1-15: Esquema Básico De Un PLC.¹⁰

¹⁰<http://www.utvm.edu.mx>

1.2.4. CICLO DE OPERACIÓN DE UN PLC

El ciclo de operación de un PLC consiste, como se muestra en la figura 1.17, en un chequeo de las entradas para ejecutar, de acuerdo a esta información, el programa y actualizar las salidas.

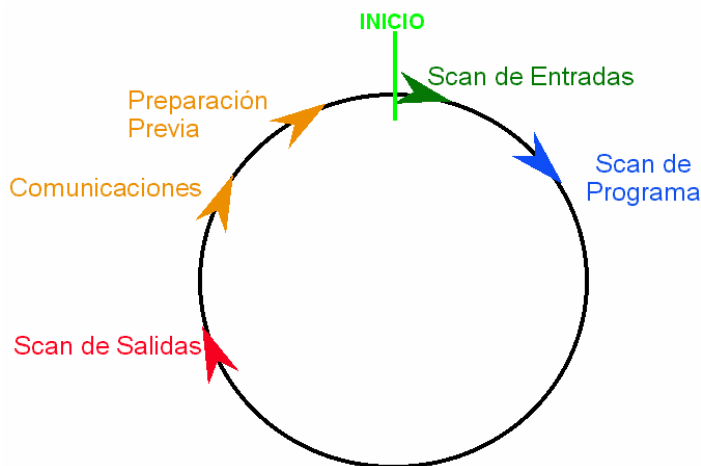


Figura 1-16: Ciclo De Operación De Un PLC.¹¹

La figura 1.18 muestra la estructura interna y externa de un PLC.

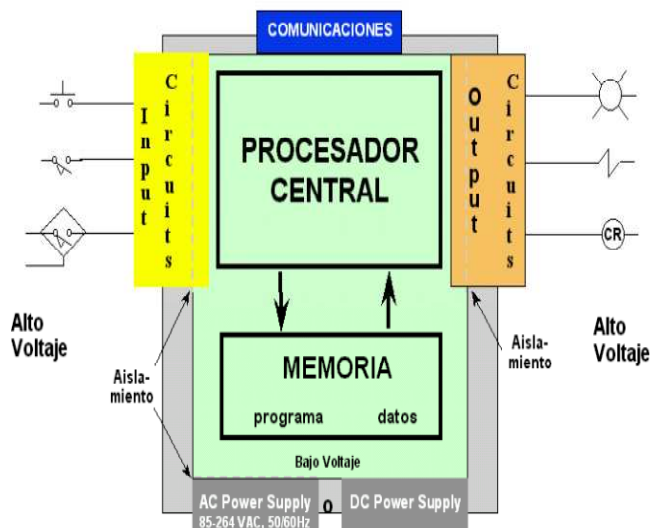


Figura 1-17: Estructura Interna Y Externa De Un PLC.¹²

¹¹<http://www.profesores.frc.utn.edu.ar>

¹²<http://www.el.bqto.unexpo.edu>

1.2.5. ESTRUCTURA EXTERNA

1.2.5.1. ELEMENTOS DE ENTRADA

- Pulsantes
- Switches Selectores
- Contactos Auxiliares
- Contactos de Relé
- 120 VAC
- 240 VAC
- 12 VDC
- 24 VAC/VDC

1.2.5.2. ELEMENTOS DE SALIDA

- Arrancadores de Motores
- Relés de Control
- Luces
- Relés
- 120 VAC/VDC
- 240 VAC/VDC
- 24 VAC/VDC

1.2.6. ESTRUCTURA INTERNA

Los PLC vienen en tamaños como:

- Micro con menos de 32 I/O
- Pequeño con menos de 128 I/O
- Mediano con menos de 1024 I/O
- Grande con más de 1024 I/O
- PLC fijos que tienen: Fuente de poder, Entradas, Salidas y pórtico de comunicaciones que están contenidos en un solo chasis. Los elementos de Entrada y Salida están cableados individualmente al controlador fijo.

- PLC fijos con expansión: la base es idéntica al PLC fijo estándar, pero además tiene la habilidad de manejar I/O adicionales.
- Modulares (sin rack – o con rack), que tienen procesadores, fuentes de poder y módulos de I/O enchufadas en un rack o chasis. Y
- Distribuidos en el cual todas las I/O son conectadas al procesador mediante un enlace de datos de “alta velocidad”.

Los Racks de entradas y salidas de un PLC se representan como se observa en la figura 1.19.

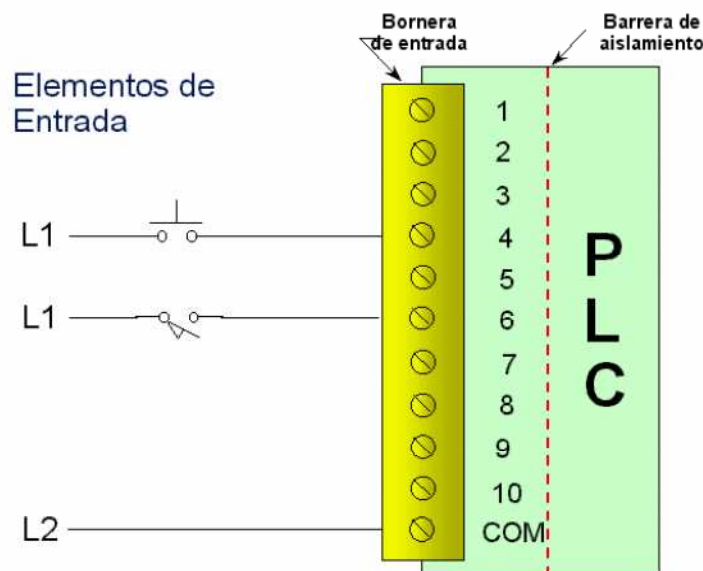


Figura 1-18:Racks De Un PLC.¹³

1.3. ACTUADORES

Son dispositivos cuyo objetivo es causar una reacción o efecto sobre un sistema o proceso debido a que son elementos que pueden generar una fuerza a partir de una señal enviada por el controlador del sistema. Es decir tiene la capacidad de transformar una señal del controlador en una acción o efecto físico.

En general los actuadores se pueden clasificar en tres tipos:

¹³<http://www.plctutor.com/plc-components.html>

- Hidráulicos: Son los actuadores más antiguos. Su funcionamiento se basa en la presión que se puede ejercer sobre los líquidos y a su vez en la presión que estos pueden transmitir.
- Neumáticos: Funcionan en base a la conversión de la energía del aire comprimido. En general, estos actuadores neumáticos son principalmente cilindros, con lo cual, su principal aplicación se relaciona con movimientos lineales cortos.
- Eléctricos: La energía necesaria para su funcionamiento es la electricidad. Por ejemplo: válvulas eléctricas, motores eléctricos (velocidad variable y velocidad fija). En general, los motores eléctricos son los actuadores más adecuados cuando se requieren movimientos angulares y sobre todo son determinantes para el control preciso de la velocidad de ejes.

Frecuentemente, los actuadores hidráulicos son empleados para aplicaciones de gran potencia, mientras que los neumáticos generalmente se los emplea para posicionamientos.

1.4. SISTEMAS SCADA

SCADA es el acrónimo de “Supervisory Control And Data Acquisition” (Supervisión, Control y Adquisición de Datos). Un SCADA es un sistema basado en computadores personales (PC’s) que permite supervisar y controlar una instalación de cualquier tipo.

Un Sistema de Control Distribuido es un conjunto de lazos automáticos de control entre los cuales se establecen jerarquías en la toma de las decisiones intrínsecas del sistema.

En los sistemas SCADA, el lazo de control es generalmente cerrado por el operador. Los Sistemas de Control Distribuido se caracterizan por realizar las acciones de control en forma automática. Hoy en día es fácil hallar un sistema SCADA realizando labores de control automático en cualquiera de sus niveles, aunque su labor principal sea de supervisión y control por parte del operador.

1.4.1.1. FUNCIONES

Dentro de las funciones básicas realizadas por un sistema SCADA están las siguientes:

- Recabar, almacenar y mostrar información, en forma continua y confiable, correspondiente a la señalización de campo: estados de dispositivos, mediciones, alarmas, etc.
- Ejecutar acciones de control iniciadas por el operador, tales como: abrir o cerrar válvulas, arrancar o parar bombas, etc.
- Alertar al operador de cambios detectados en la planta, tanto aquellos que no se consideren normales (alarmas) como cambios que se produzcan en la operación diaria de la planta (eventos). Estos cambios son almacenados en el sistema para su posterior análisis.
- Aplicaciones en general, basadas en la información obtenida por el sistema, tales como: reportes, gráficos de tendencia, historia de variables, cálculos, predicciones, detección de fugas, etc.

1.4.1.2. INTERFAZ

Un ordenador ayudado de un sistema de información consiste en tres principales componentes: hardware, software y usuario, como se muestra en la figura 1.20.

La interacción de estos componentes es una de las más importantes partes del sistema: el interfaz hombre-máquina.

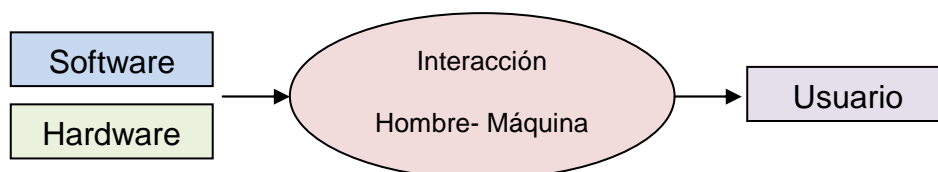


Figura 1-19: Sistema De Información. Fuente Propia.

La interfaz hombre – máquina es un canal comunicativo entre el usuario y el ordenador.

1.5. EQUIPO A CONSTRUIR

El Módulo del Sistema SCADA para el equipo de ensayo con bomba centrífuga, tiene como objetivo fundamental el dotar al Laboratorio de Fluidos de un equipo nuevo con el cual los estudiantes puedan capacitarse mediante la realización de prácticas de laboratorio.

La bomba consta de dos tanques: uno principal cuya capacidad es de 0,45 metros cúbicos y un tanque de medida cuya capacidad es 0,085 metros cúbicos, que es el tanque en el cual se realiza la medición y control del nivel de agua. El elemento que realiza el control es un PLC (Controlador Lógico Programable), en el cual se procesan los datos y de acuerdo a éstos se realizan los cálculos respectivos.

El equipo posee una bomba, con la cual el agua es llevada del tanque principal al tanque reservorio a través de una tubería con caudal constante. El caudal de salida del tanque de medida es llevado al tanque principal a través de un mecanismo que se activa manualmente mediante una válvula que permite evacuar el depósito, formando así un circuito cerrado de agua¹⁴.

La medición de nivel se realiza mediante tres electrosondas; estas señales son transmitidas al PLC, la medida de las revoluciones se realiza con el Encoder y todas las señales son enviadas al programa LABVIEW para la obtención de las curvas características de la bomba centrífuga en una pantalla, como se esquematiza en la figura 1.21.

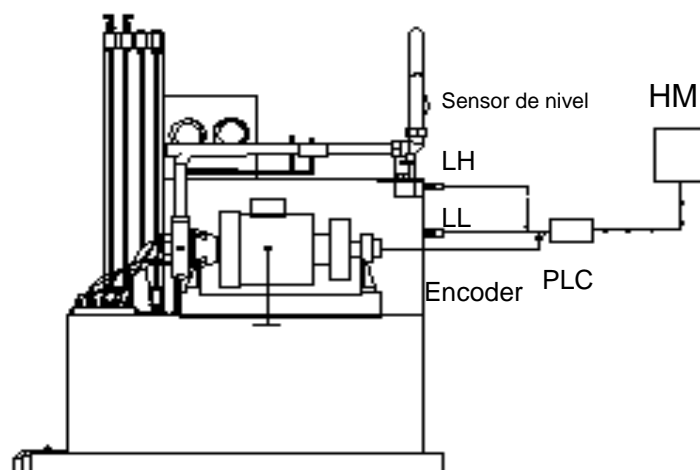


Figura 1-20: Diagrama de bloques del sistema de control. Fuente Propia.

¹⁴La descripción de las partes y funcionamiento del equipo se encuentra ampliada en el ítem 2.1, de esta tesis.

CAPÍTULO 2

2. GENERALIDADES DE LA BOMBA CENTRÍFUGA

Las bombas centrífugas mueven un cierto volumen de líquido entre dos niveles, son máquinas hidráulicas que transforman un trabajo mecánico en otro de tipo hidráulico en la figura 2.1 se observa las partes principales de una bomba centrífuga.

Los elementos de que consta una instalación son:

- a) Una tubería de aspiración, que concluye prácticamente en la brida de aspiración.
- b) El impulsor o rodete, formado por un conjunto de álabes que pueden adoptar diversas formas, es accionado por un motor y va unido solidariamente al eje, siendo la parte móvil de la bomba.

El líquido penetra axialmente por la tubería de aspiración hasta la entrada del rodete, experimentando un cambio de dirección más o menos brusco, pasando a radial.

Los álabes del rodete someten a las partículas de líquido a un movimiento de rotación muy rápido, siendo proyectadas hacia el exterior por la fuerza centrífuga, creando una altura dinámica de forma que abandonan el rodete hacia la voluta a gran velocidad, aumentando también su presión en el impulsor según la distancia al eje. La elevación del líquido se produce por la reacción entre éste y el rodete sometido al movimiento de rotación al interior de una carcasa circular.

- c) La voluta es un órgano fijo que está dispuesta en forma de caracol alrededor del rodete, a su salida, de tal manera que la separación entre ella y el rodete es mínima en la parte superior, y va aumentando hasta que las partículas líquidas se encuentran frente a la abertura de impulsión.

La voluta es también un transformador de energía, ya que transforma la velocidad del líquido, transformando parte de la energía dinámica creada en el rodete en energía de presión, que crece a medida que el espacio entre el rodete y la carcasa aumenta, presión que se suma a la alcanzada por el

líquido en el rodete. En algunas bombas existe, a la salida del rodete, una corona directriz de álabes que guía el líquido antes de introducirlo en la voluta.

- d) Una tubería de impulsión, instalada a la salida de la voluta, por la que el líquido es evacuado a la presión y velocidad creadas en la bomba.

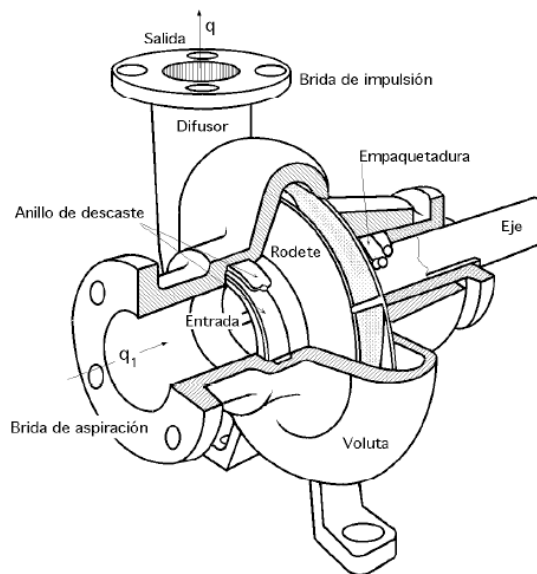


Figura 2-1: Bomba centrífuga, disposición, esquema y perspectiva.¹⁵

Estos son, en general, los componentes de una bomba centrífuga aunque existen distintos tipos y variantes. La estructura de las bombas centrífugas es análoga a la de las turbinas hidráulicas de reacción (Turbina Francis), salvo que el proceso energético es inverso; en las turbinas se aprovecha la altura de un salto hidráulico para generar una velocidad de rotación en la rueda, mientras que en las bombas centrífugas la velocidad comunicada por el rodete al líquido se transforma, en parte, en presión, lográndose así su desplazamiento y posterior elevación.

¹⁵<http://www.doschivos.com/display>.

2.1. ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS Y SUBSISTEMAS DEL EQUIPO DE PRUEBAS CON BOMBA CENTRÍFUGA

El sistema de control será instalado en un equipo para pruebas de una bomba centrífuga cuya función principal es permitir el estudio de las características de operación de la bomba.

El equipo para pruebas de una bomba centrífuga se halla formado por cuatro sistemas fundamentales que se pueden considerar como piezas independientes y que han sido concebidas por separado para su análisis y estudio.

Todas y cada una de sus partes se pueden apreciar con claridad en la figura 2.2 que se muestra a continuación.

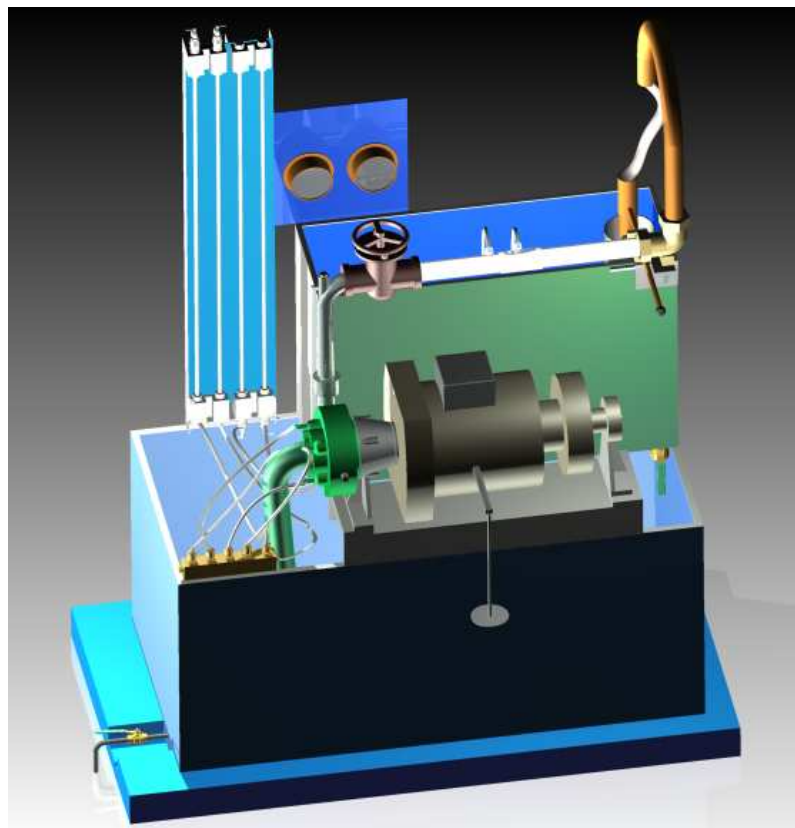


Figura 2-2: Esquema bomba centrífuga. Fuente Propia.

2.1.1. BOMBA CENTRÍFUGA Y MOTOR

La bomba centrífuga que se tiene en el equipo es del tipo impulsor semi abierto con un rodete de 0,13 metros de diámetro exterior, en la cubierta de la bomba existen conexiones de salida de presión a distintos radios que permiten determinar el incremento de presión a través del impulsor mediante una conexión a un múltiple provisto de las llaves de control necesarias para medir la presión como se requiera.

La característica principal de la bomba centrífuga de impulsores abiertos es que tiene álabes unidos únicamente al eje de giro y se mueven entre dos paredes laterales fijas, cuenta con tolerancias laterales lo más cerradas posibles para evitar fugas, estos impulsores cuentan con una pared posterior para dar la rigidez necesaria a los álabes. La bomba se encuentra accionada por un motor de tipo polo de repulsión de velocidad variable con una potencia de 2 HP, la velocidad del eje es de 400 a 2800 rpm con un brazo del par – motor de 0,3048 metros.

2.1.1.1. ESPECIFICACIÓN

Su forma se puede apreciar en la figura 2.3 y se halla constituido por

1. Bomba
2. Múltiple
3. Motor eléctrico.

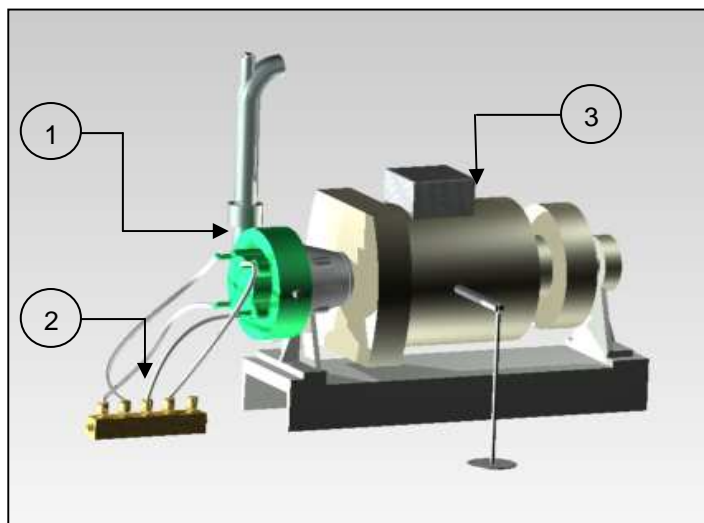


Figura 2-3: Esquema bomba centrífuga y motor. Fuente Propia.

2.1.2. TANQUES

El tanque de depósito principal es de medidas aproximadas de 1,145 x 0,573 x 0,573 metros fabricado en acero dúctil y provisto de una llave de drenaje en la parte inferior izquierda, sobre este tanque se encuentra montado el tanque de medición volumétrica.

En la parte superior derecha del tanque de medición volumétrica se ubica una válvula de drenaje rápido, junto con un tubo rebosadero de emergencia. Para la medida del caudal se emplea un método volumétrico, es decir, se dispone de un depósito con planta rectangular de 0.286 x 0.764 metros, que lleva adosado en uno de sus laterales una escala graduada en pulgadas mediante la cual se determina la altura de agua en el depósito. De este modo, se determina el volumen de fluido en el depósito, de forma que midiendo el tiempo necesario para alcanzar un determinado volumen, se obtiene el caudal de circulación de agua en la instalación.

2.1.2.1. ESPECIFICACIÓN

Su forma se puede apreciar en la figura 2.4 y se halla constituido por.

1. Tanque depósito principal.
2. Tanque de medición volumétrica.
3. Tubo rebosadero.
4. Válvula de drenaje rápido.
5. Válvula drenaje tanque depósito principal.

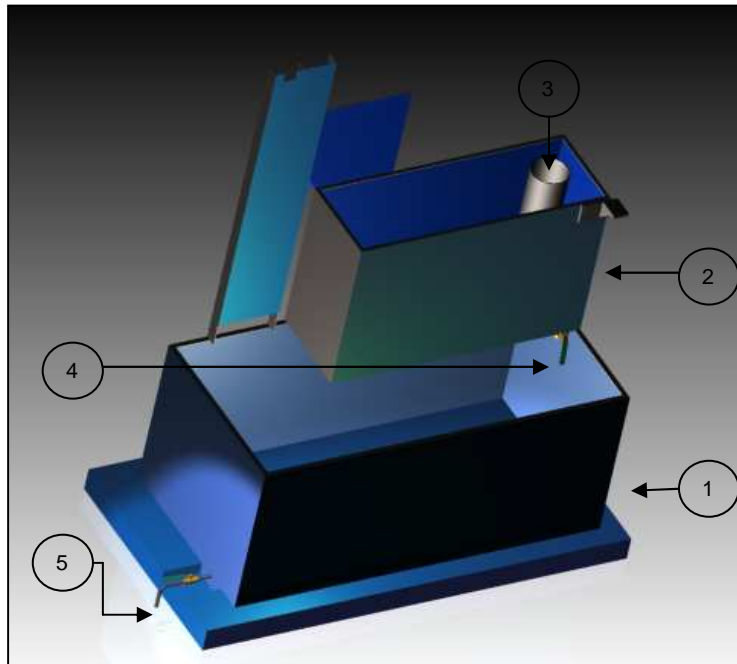


Figura 2-4: Esquema de los tanques. Fuente Propia.

2.1.3. VENTURI Y TUBERÍAS

La tubería de succión de la bomba es normalizada de hierro dúctil cuenta con una válvula de pie y una conexión para medir la presión. La tubería de salida de la bomba incorpora una válvula de estrangulación tipo compuerta que permiten variar el caudal de agua circulante.

El tubo Venturi tiene una sección de entrada tiene un diámetro inicial igual al diámetro de la tubería y una sección cónica convergente que termina con un diámetro igual al de la garganta, está diseñado con una abertura normal de 0.0358 metros y un diámetro en la garganta de 0.0305 metros.

A la salida del tubo Venturi se incluye un desvío de operación manual, de manera que el agua que descarga la bomba al tanque de depósito principal a través del sumidero o al tanque de medición según se requiera.

2.1.3.1. ESPECIFICACIÓN

Su forma se puede apreciar en la figura 2.5 y se halla constituido por las siguientes partes.

1. Válvula de pie.
2. Tubería de succión.
3. Tubería descarga.
4. Válvula de compuerta.
5. Tubo Venturi.
6. Desvió de operación manual.

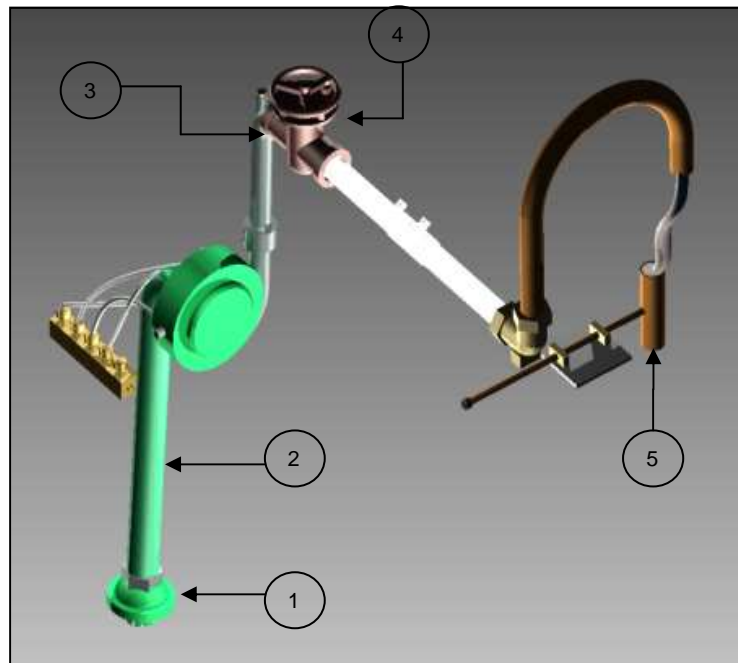


Figura 2-5: Esquema Tubo Venturi y Conexiones. Fuente Propia.

2.1.4. EQUIPOS DE MEDIDA PARA LA PRESIÓN

Manómetro de mercurio este instrumento permite determinar las presiones hidrostáticas diferenciales desarrolladas por la bomba, hasta 9 metros para lo cual se cuenta con derivaciones en la bomba y se han previsto todas las conexiones y uniones necesarias.

Manómetro diferencial de agua permite realizar la calibración real del tubo Venturi.

Medidor de presión en la succión y medidor de presión descarga de la bomba tienen una capacidad de medida de 0 – 45 y 0 – 300kPa respectivamente.

2.1.4.1. ESPECIFICACIÓN

Su forma se puede apreciar en la figura 2.6 y se halla constituido por las siguientes partes.

1. Manómetro de mercurio.
2. Manómetro diferencial de agua.
3. Medidores de presión.

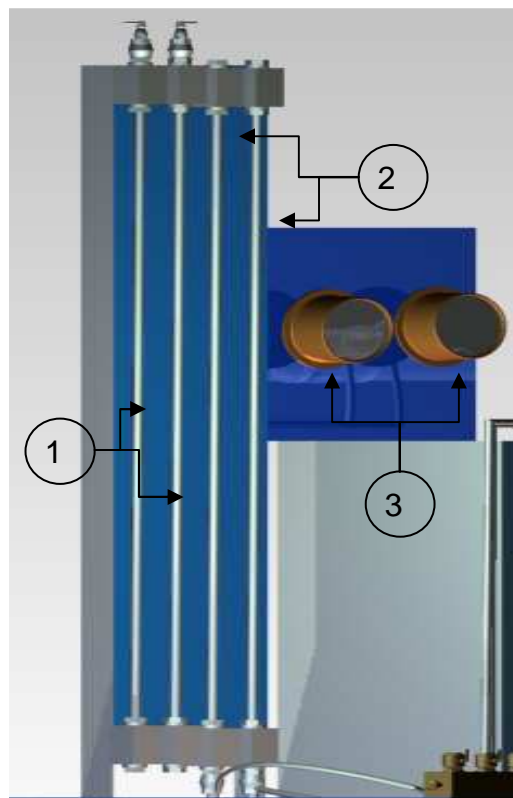


Figura 2-6: Esquema equipo de medida de presión. Fuente Propia.

2.2. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS ACTUALES DE FUNCIONAMIENTO

2.2.1. PAR MOTOR TRASMITIDO A LA BOMBA

Se determina por la medición de la reacción en el estator del motor eléctrico de accionamiento. El estator está provisto de un soporte para pesos a un radio de 0,3048 metros. Para determinar el par-motor de reacción se añaden pesos hasta obtener el equilibrio mediante la muesca que posee el motor.

2.2.2. VELOCIDAD EN EL EJE DE LA BOMBA

Se determina por medio de un tacómetro manual, el cual se apoya en el extremo del eje expuesto del motor.

2.2.3. FLUJO DE LA BOMBA.

Se determina volumétricamente por medio de un tanque para medición de flujo y un sistema de desvío. El flujo se desvía al sumidero, conservando cerrada la válvula de drenaje en el tanque de medición volumétrica, luego de haber añadido suficiente agua que permita tomar una lectura de nivel inicial. Cuando se obtienen mediciones constantes, se dirige el agua del tanque de medida volumétrica, durante un tiempo medio se toma la lectura de nivel final y finalmente se calcula el caudal.

2.2.4. PRESIÓN HIDROSTÁTICA DIFERENCIAL

El método básico para determinar la presión hidrostática generada por la bomba consiste en un par de medidores de presión. Uno de los cuales determina el valor de presión en la succión de la bomba y el otro la presión en la salida.

Un método alternativo de medición de la presión hidrostática es con ayuda del manómetro diferencial de mercurio. Este instrumento solamente permite determinar presiones equivalentes a 90 kPa.

2.2.5. CALIBRACIÓN DEL TUBO VENTURI.

Se realiza mediante medidas volumétricas de caudal, para lo cual previamente se deberá obtener el valor de la sección transversal del tanque y medir la diferencia de alturas en el manómetro diferencial del agua.¹⁶

¹⁶ El proceso de calibración del Tubo Venturi se expone ampliamente en el capítulo 3.2 de esta tesis.

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DE LAS OPERACIONES PARA OBTENER LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA CENTRÍFUGA

El objetivo de la práctica que se realiza en el Laboratorio de Fluidos es obtener experimentalmente las curvas características de una bomba centrífuga, en base a los resultados experimentales las leyes de afinidad para bombas.

El desempeño de una bomba, para una velocidad de rotación del impulsor y viscosidad del líquido dado, involucra tres parámetros básicos:

- Capacidad, expresada en unidades de volumen por unidad de tiempo.
- Diferencia de altura total, expresado en unidades de longitud de una columna del líquido a ser bombeado.
- La velocidad a la que opera la bomba, expresada en revoluciones por minuto.

3.1. PROPIEDADES FÍSICAS PERTINENTES AL SISTEMA

Las propiedades físicas a determinar son aquellas que caracterizan el comportamiento del sistema.

3.1.1. CONDICIONES DE TRABAJO

En la tabla 3.1, se presenta un resumen de las condiciones ambientales de trabajo asumidas para el cálculo.

Tabla 3.1: Condiciones ambientales de trabajo. Fuente Propia.

Condiciones ambientales de trabajo	
Temperatura ambiente (°C)	20
Gravedad (m/s ²)	9,78
Presión atmosférica en Quito (kPa)	102,6
Densidad del Mercurio (g/cm ³)	13,579

3.1.2. SECCIÓN TRANSVERSAL DE LOS TANQUES

La capacidad de los tanques permite establecer una relación de volumen y así determinar el caudal circulante.

La sección transversal interna de los tanques constituyen variables propias del sistema para construir las curvas características de la bomba centrífuga.

Tabla 3.2: Resumen del cálculo del área transversal de los tanques. Fuente Propia.

Tanque de medición volumétrica	a ₁	0,3 m	11,81 pulg.	Área de la sección transversal	A _{T1}	0,24 m ²
	b ₁	0,815 m	32,09 pulg			378,98 pulg ²
Tanque principal de depósito	a ₂	1,22 m	48 pulg	Área de la sección transversal	A _{T2}	0,74 m ²
	b ₂	0,61 m	24 pulg			1152 pulg ²

En la tabla 3.2 se presenta un resumen del área transversal interna de los tanques que constituyen el sistema.

3.1.3. SECCIÓN TRANSVERSAL DEL TUBO VENTURI

El medidor Venturi es uno de los dispositivos más precisos para medir el gasto en tuberías. Causa una pérdida baja de carga y, con las precauciones debidas, se puede usar para líquidos con determinadas concentraciones de sólidos. El tubo Venturi se compone de tres secciones, que se observan en la figura 3.1.

1. Entrada
2. Garganta
3. Salida

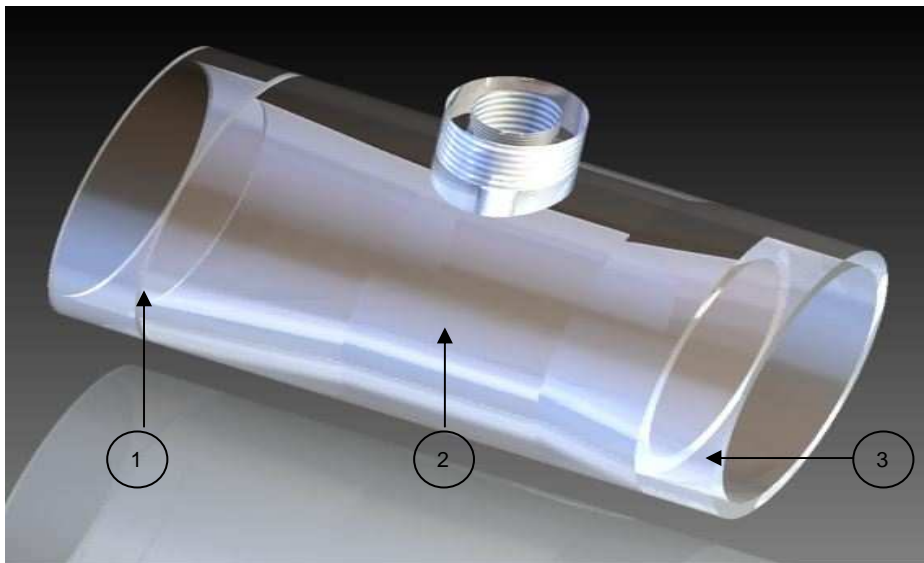


Figura 3-1: Esquema tuboVenturi.Fuente Propia.

La sección de entrada tiene un diámetro inicial igual al diámetro de la tubería y una sección cónica convergente que termina con un diámetro igual al de la garganta, la salida consiste en una sección cónica divergente que concluye con el diámetro de la tubería.

$$a = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (13)$$

Donde:

a es área de la sección transversal a la entrada (a_1) y en la garganta (a_2).

d es diámetro de la entrada (d_1) y la garganta (d_2).

En la tabla 3-3, se presenta un resumen del área transversal interna de las secciones del tubo Venturi, y en los anexos se tiene el plano del mismo.

Tabla 3.3: Resumen del cálculo del área transversal de la sección del tubo Venturi.Fuente Propia.

Diámetro Nominal	d_1	38 mm	Área d_1	1,76 pulg ²
		1,5 pulg		1,13E-03 m ²
Diámetro en la Garganta	d_2	32,5 mm	Área d_2	1,29 pulg ²
		1,28 pulg		8,30E-04 m ²

3.1.4. RODETE

Para los cálculos respectivos es necesario conocer las dimensiones características del rodete como el radio exterior r y el ángulo de salida β que se encuentran representados en la figura 3.2, el plano se encuentra en los anexos.

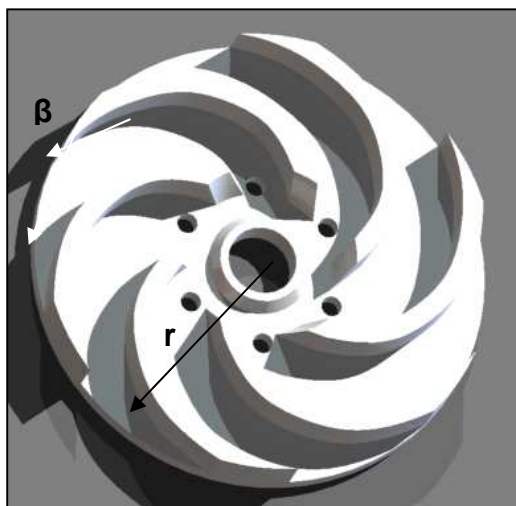


Figura 3-2: Esquema del rodete.Fuente Propia.

En la tabla 3.4 se presenta un resumen de las dimensiones del rodete.

Tabla 3.4: Resumen de las dimensiones del rodete.Fuente Propia.

Rodete	r	0,0665 m
	β	18 °

3.2. CALIBRACIÓN DEL TUBO VENTURI

Es importante comprender que en cualquier tubería de diámetro variable por la que circula agua, la presión aumenta cuando la velocidad disminuye y la presión disminuye cuando la velocidad aumenta.

Lo anterior permite comprender con claridad el funcionamiento hidráulico de los medidores de presión diferencial.

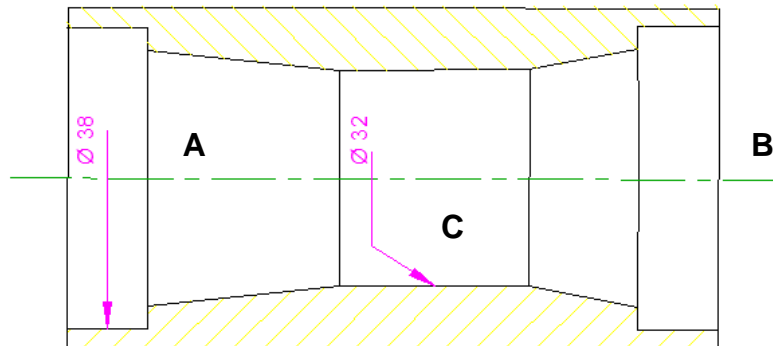


Figura 3-3: Esquema tuboVenturi.Fuente Propia.

El dispositivo más simple es el tubo Venturi cuya sección transversal se observa en la figura 3.3. Por ejemplo si el agua circula por una tubería normal de acero sin obstáculos al flujo. En este caso la velocidad de un punto de la tubería a otro no cambia, pero la garganta (punto C) insertada en la tubería produce que el agua se comprima y disminuya su velocidad. Debajo de este punto, el flujo se dispersa, disminuye la velocidad y se observa un aumento de la presión en el punto B. La diferencia de alturas que se establece en el manómetro de agua es (H_1 y H_2).

3.2.1. PESO ESPECÍFICO Y DENSIDAD ESPECÍFICA

El peso específico (γ) de un fluido es la relación de su peso por unidad de volumen.

La densidad específica de un fluido (ρ), muestra la relación entre su peso con respecto al peso de un volumen igual de agua considerando la presión y temperatura estándar.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (14)$$

Donde:

m = masa del fluido

V = volumen que ocupa el fluido

El peso específico del agua a la presión atmosférica estándar y temperatura estándar (277,15 K o 39,2°F), es: $\gamma_{H_2O} = 62,43 \text{ lb/ft}^3$

Existe una relación entre la densidad y el peso específico:

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (15)$$

Donde:

g = aceleración de la gravedad.

3.2.2. VOLUMEN DE CONTROL

Para el estudio de fenómenos de la dinámica de sistemas se busca una metodología para tener en cuenta todo aquello útil para el estudio y denominar como efectos externos a aquellos que influyen en el sistema pero que no son preocupación del estudio principal. Básicamente un volumen de control se refiere a una región en el espacio arbitrariamente escogida con el objeto de simplificar un análisis de un caso particular.

Existen cuatro leyes básicas que determinan un volumen de control:

- Conservación de masa
- La relación del momento lineal
- La relación del momento angular
- Conservación de energía

Para el caso de un tubo de corriente con flujo estable se deben conocer:

- Ecuación de continuidad (Aplicación del principio de conservación de masa)
- Ecuación de movimiento de Euler
- Ecuación de Bernoulli

Estas últimas son particularizaciones que consideran seis condiciones para su aplicación:

- Flujo estable
- Flujo incompresible (Número de Mach menor a 0,3 cumplida al usar agua).
- Flujo sin fricción o fricción despreciable.

- Flujo a lo largo de una misma línea de corriente.
- Flujo no forzado por bombas o turbinas.
- Adiabático con el exterior. Para cumplir con el requerimiento de flujo estable.

Sin embargo de conocer que en muchos casos reales estos condicionamientos no pueden ser obtenidos, se continúa con el estudio de elementos idealizados que permitan obtener modelos matemáticos generales y comprender la naturaleza del sistema dinámico.

3.2.2.1. ECUACIÓN DE CONTINUIDAD

Basado en el principio de la conservación de la masa, el cual dice que la masa de un sistema permanece constante con el tiempo, la ecuación permite demostrar que la razón de incremento con respecto al tiempo de la masa dentro de un volumen de control es igual a la razón de cambio neto de masa que fluye hacia el volumen de control, como se observa en la figura 3.4.

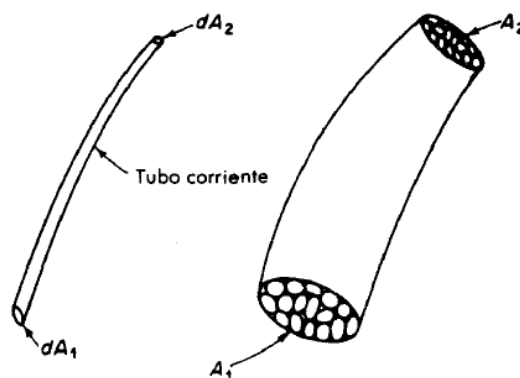


Figura 3-4: Tubo de corriente.¹⁷

Si se lo aplica a un conjunto de tubos de corriente limitados por las secciones transversales A_1 y A_2 , se tiene:

$$\rho_1 \cdot V_1 \cdot A_1 = \rho_2 \cdot V_2 \cdot A_2 \quad (16)$$

Donde:

ρ = Densidad promedio del fluido en la sección transversal A.

V = Velocidad promedio del fluido en la sección transversal A.

¹⁷OGATA, K, (1987), "Dinámica de Sistemas", Prentice Hall Hispanoamericana, México, pág. 188.

Desarrollando la ecuación de la velocidad:

$$V_i = \frac{1}{A_i} \int_{A_i} v_i \cdot dA_i \quad (17)$$

Considerando los caudales Q_i que atraviesan las secciones límite ($i = \{1,2\}$):

$$Q_i = A_i \cdot V_i \quad (18)$$

La ecuación de continuidad queda expresada así:

$$\rho_1 \cdot Q_1 = \rho_2 \cdot Q_2 \quad (19)$$

Para las condiciones generales expresadas anteriormente se puede particularizar aún más la ecuación recordando que el flujo es incompresible, por lo tanto en la entrada y salida sus densidades son las mismas, quedando expresada la relación:

$$Q_1 = Q_2 \quad (20)$$

3.2.2.2. ECUACIÓN DE BERNOULLI

El teorema de Bernoulli establece que en un punto cualquiera de la tubería o de un canal, la suma de todas las energías es constante. Esta energía total expresada en unidades de longitud se calcula en forma matemática como:

$$\frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\rho} + y = cte \quad (21)$$

Donde:

$v^2/2g$ = Energía cinética o carga de velocidad.

v = Velocidad en la tubería.

g = Gravedad.

p/ρ = Energía de presión.

p = Presión manométrica del punto dado

ρ = Densidad del fluido circulante.

y = Energía potencial o coordenada vertical del punto analizado.

Gráficamente la ecuación se puede interpretar como la conservación de la energía en columnas de agua. Si la energía potencial disminuye, aumentará la energía cinética y la columna de presión hidrostática, como se observa en la figura 3.5.

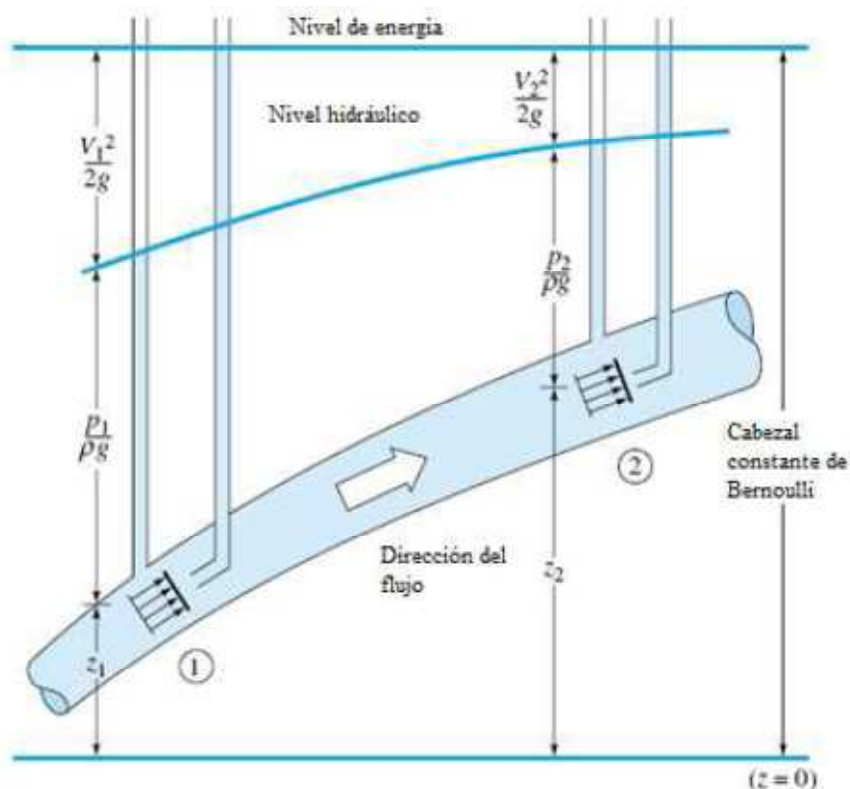


Figura 3-5: Representación de la ley de la conservación de la energía.¹⁸

3.2.3. FLUJO A TRAVÉS DEL TUBO VENTURI

Al circular fluido por una tubería a menudo se encuentran con orificios de área menor al área de la sección transversal de la tubería como se observa en la figura 3.6, estos cambios de sección se llaman restricciones y en casos reales pueden ocasionarse por cambio de secciones, accesorios y en especial válvulas.

¹⁸WHITE F, (1998), "Fluid Mechanics", 4th edición, WCB – McGraw Hill, U. S. A. , Pág.206.

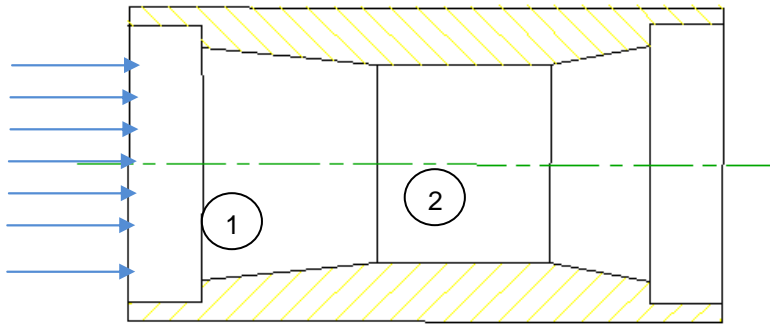


Figura 3-6: Representación del flujo a través del tubo Venturi. Fuente Propia.

Aplicando las condiciones de aplicación para obtener el balance de energía por la ecuación de Bernoulli se obtiene:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + y_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + y_2 \quad (22)$$

Escribiendo la ecuación de continuidad:

$$V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2 \quad (23)$$

El caudal a fluir por la garganta también sufre pérdidas, para incluir este fenómeno se escribe la ecuación incluyendo un coeficiente de C_d de la siguiente manera:

$$Q_2 = Q = C_d \cdot V_2 \cdot A_2 \quad (24)$$

En este caso se considera un tubo totalmente horizontal ($y_1 = y_2$) se combinan las ecuaciones anteriores para el volumen de control en estudio:

$$Q = C_d \frac{A_1 A_2}{\sqrt{A_1^2 - A_2^2}} \cdot \sqrt{\frac{2g}{\gamma} (p_2 - p_1)} \quad (25)$$

Además la altura manométrica se la puede definir como:

$$H = \frac{p}{\gamma} \quad (26)$$

Entonces la ecuación de caudal resultante es:

$$Q = Cd \frac{A_1 A_2}{\sqrt{A_1^2 - A_2^2}} \cdot \sqrt{2g(H_2 - H_1)} \quad (27)$$

Donde:

Cd = Coeficiente de descarga, es un valor de ajuste sin dimensiones que compensa la distribución de velocidad y las pérdidas de carga menores que no fueron tomadas en cuenta al obtener la ecuación de pérdidas.

A = Área de la sección del tubo Venturi a la entrada y en la garganta.

$H_2 - H_1$ = Diferencia de alturas en el manómetro.

La ecuación es aplicable a flujos no compresibles como el agua y con las siguientes condiciones:

1. El flujo debe ser homogéneo
2. Debe conocerse con precisión el valor de la presión diferencial.
3. El conducto debe trabajar a presión.

3.3. CAUDAL EN FUNCIÓN DE LA ALTURA MANOMÉTRICA

3.3.1. TRIÁNGULO DE VELOCIDADES DEL RODETE

El órgano principal de una bomba centrífuga es el rodete que en la Figura 3.7, se puede ver con los álabes dispuestos según una sección perpendicular al eje de la bomba; el líquido llega a la entrada del rodete en dirección normal al plano de la figura, (dirección axial), y cambia a dirección radial recorriendo el espacio o canal delimitado entre los álabes.

El líquido queda sometido a una velocidad relativa \vec{w} a su paso por el espacio entre álabes entre la entrada y la salida, y a una velocidad de arrastre \vec{u} debida a la rotación del rodete alrededor del eje, la suma vectorial de estas velocidades proporciona la velocidad absoluta \vec{c} :

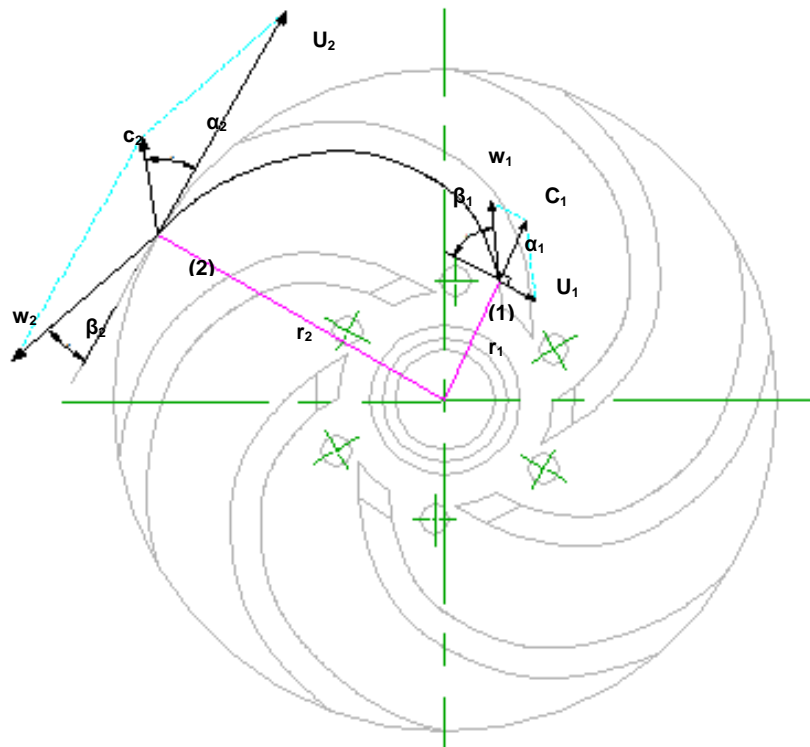


Figura 3-7: Triángulo de velocidades en el rodete. Fuente Propia.

Si se llama \vec{w}_1 a la velocidad relativa del líquido a la entrada en la cámara delimitada por un par de álabes, \vec{u}_1 a la velocidad tangencial, y \vec{c}_1 a la velocidad absoluta, se obtiene el triángulo de velocidades a la entrada.

El ángulo α_1 está formado por \vec{c}_1, \vec{u}_1 y el ángulo β_1 es el ángulo formado por \vec{w}_1 y \vec{u}_1 .

A la salida del rodete se tiene otro triángulo de velocidades determinado por la velocidad relativa del líquido a la salida \vec{w}_2 , la velocidad tangencial \vec{u}_2 , y la velocidad absoluta \vec{c}_2 , se obtiene el triángulo de velocidades a la salida.

El ángulo α_2 está formado por \vec{c}_2, \vec{u}_2 y el ángulo β_2 es el ángulo formado por \vec{w}_2 y \vec{u}_2 .

Si se designa por H el desnivel o altura geométrica existente entre los niveles mínimo y máximo del líquido, la altura o nivel de aspiración H_a , (altura existente entre el eje de la bomba y el nivel inferior del líquido), y por la altura de impulsión H_i , (altura existente entre el eje del rodete y el nivel superior del líquido), se tiene que:

$$H = H_a + H_i \quad (28)$$

Para el caso del agua, la altura teórica de aspiración para un número infinito de álabes (teoría unidimensional), trabajando la bomba en condiciones ideales, sería la equivalente a la columna de agua correspondiente a la presión a que se encuentra el nivel inferior; si éste está sometido únicamente a la presión atmosférica, la altura teórica de aspiración sería de 10,33 metros; sin embargo, esta altura es siempre menor como se observa en la figura 3.8, pues hay que tener en cuenta:

- Las pérdidas de carga en la tubería
- El rozamiento a la entrada del rodete
- La temperatura del líquido a elevar
- El fenómeno de la cavitación

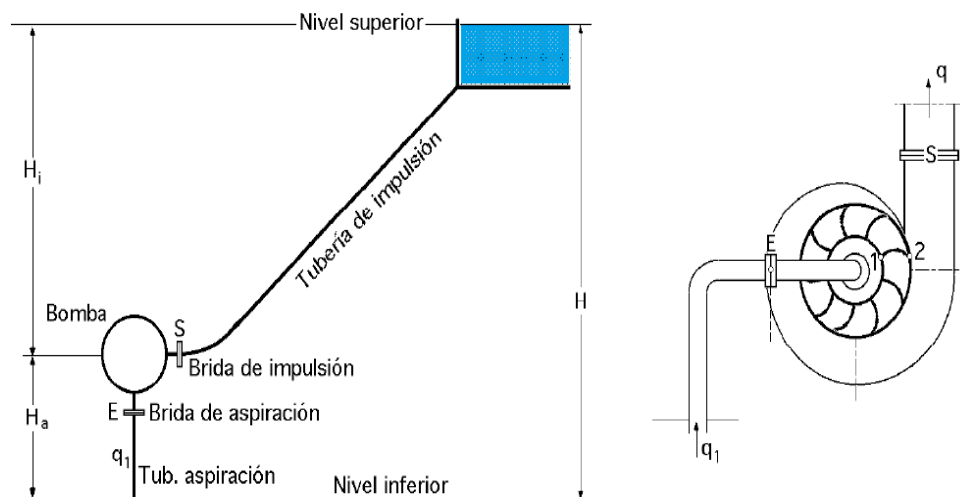


Figura 3-8: Alturas en una instalación con bomba centrífuga.¹⁹

Aplicando Bernoulli en la impulsión se tiene:

$$Hd = \frac{v_s^2}{2g} + \frac{p_s}{\gamma} + y_s \quad (29)$$

y en la aspiración:

$$Hs = \frac{v_e^2}{2g} + \frac{p_e}{\gamma} + y_e \quad (30)$$

¹⁹ <http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal>

Las alturas a considerar, aparte de la geométrica ya definida, son:

H_t = Altura total creada por la bomba

H_m = Altura manométrica de la bomba

Las pérdidas de carga que pueden aparecer en la instalación son:

Δ_i = Pérdidas de carga internas de la bomba (rozamiento y choque) = Pérdidas en el rodete (hr) + Pérdidas en la directriz (h_{cor.dir}) (si la tiene) + Pérdidas en la voluta (h_{vol}).

Δ_e = Pérdidas de carga en las tuberías de aspiración e impulsión

$$H_t = \Delta_i + \Delta_e + H \quad (31)$$

La altura manométrica es la diferencia entre las bridas de impulsión y de aspiración se define en la forma:

$$H_{man} = \left(\frac{V_s^2}{2g} + \frac{p_s}{\gamma} + y_s \right) - \left(\frac{V_e^2}{2g} + \frac{p_e}{\gamma} + y_e \right) \quad (32)$$

3.3.1.1. PAR MOTOR

La causa que produce la variación de la componente tangencial es el par motor (M_{motor}) aplicado al rodete, que produce una variación del momento cinético (L) del fluido entre la entrada y la salida:

$$M_{motor} = \frac{\Delta L}{\Delta t} \quad (33)$$

El momento lineal se define como:

$$L = m \cdot V_t \cdot R \quad (34)$$

Donde:

V_t es la velocidad en el punto de ingreso y salida del fluido.

R es la distancia a los puntos de análisis.

m es la masa del fluido que circula.

Se conoce que el flujo másico del fluido es:

$$\delta \cdot Q = \frac{m}{\Delta t} \quad (35)$$

Además en el punto de salida (2) se tiene las proyecciones de la velocidad de la velocidad absoluta \vec{c}_2 , como se observa en la figura 3.9.

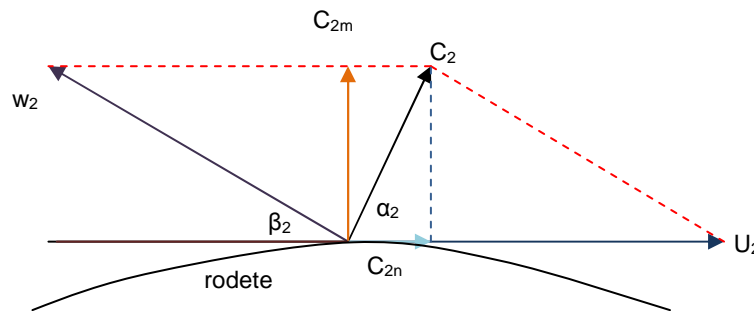


Figura 3-9: Triángulo de velocidades en la salida del rodete. Fuente Propia.

$$\Delta(V_t \cdot R) = C_{2n} \cdot r_2 - C_{1n} \cdot r_1 \quad (36)$$

Entonces el par motor en una bomba hidráulica es:

$$T = \delta Q (C_{2n} \cdot r_2 - C_{1n} \cdot r_1) \quad (37)$$

En función de los ángulos en entrada y salida la ecuación se tiene:

$$T = \delta Q (C_2 \cdot r_2 \cdot \cos \alpha_2 - C_1 \cdot r_1 \cdot \cos \alpha_1) \quad (38)$$

3.3.2. ECUACIÓN GENERAL DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS

La potencia necesaria para mover la bomba, es decir, la potencia consumida por la bomba P_B , es aplicada por el motor al eje de la bomba, se puede poner en función del par motor T y de la velocidad angular w , en la forma:

$$P_B = T \cdot \omega \quad (39)$$

La velocidad tangencial \vec{u} se define como:

$$u = r \cdot \omega \quad (40)$$

Donde:

r = Es el radio.

ω = Es la velocidad angular del rodete.

La potencia suministrada por la bomba al fluido es igual al producto del peso específico por el caudal y por la altura manométrica:

$$P_{\text{útil}} = \delta \cdot g \cdot Q \cdot H_t \quad (41)$$

En la situación idealizada, en la que no se producen pérdidas, la potencia consumida por la bomba debe ser igual a la potencia suministrada al fluido:

$$P_{\text{útil}} = P_B = \delta \cdot g \cdot Q \cdot H_t = \delta Q (C_2 \cdot u_2 \cdot \cos\alpha_2 - C_1 \cdot u_1 \cdot \cos\alpha_1) \quad (42)$$

Despejando H_t se obtiene la ecuación general de las bombas centrífugas:

$$H_t = \frac{(C_2 \cdot u_2 \cdot \cos\alpha_2 - C_1 \cdot u_1 \cdot \cos\alpha_1)}{g} \quad (43)$$

3.3.2.1. SALTO TOTAL MÁXIMO

Para hallar la condición de salto total máximo es necesario que:

$\alpha_1 = 90^\circ$, entonces, la velocidad absoluta \vec{c}_1 es igual a su proyección en el eje normal \vec{c}_{1n} y la proyección tangencial \vec{c}_{1t} es cero.

De la relación trigonométrica:

$$C_2 \cdot \cos\alpha_2 = C_{2n} \quad (44)$$

$$C_{2n} = u_2 - w_2 \cdot \cos\beta_2 \quad (45)$$

$$w_2 = C_{2m} \cdot \sin\beta_2 \quad (46)$$

Entonces la ecuación de salto máximo se define como:

$$H_t = \frac{u_2(u_2 - C_{2m}/\tan\beta_2)}{g} \quad (47)$$

De la ecuación de continuidad

$$Q = C_{2m} \cdot A_t \quad (48)$$

Donde:

A_t es el área total de la sección transversal del canal localizado alrededor de la periferia del rodete que se considera igual al área de la tubería de entrada de 0,038 metros de diámetro.

$$H_t = \frac{u_2(u_2 - \frac{Q}{A_t \cdot \tan \beta_2})}{g} \quad (49)$$

Esta ecuación permite trazar la curva característica de la bomba centrífuga ideal, es decir, la gráfica de la función de la altura creada por la bomba según el caudal, para cada número de revoluciones del rodete, que es una recta.

3.3.3. CURVA CARACTERÍSTICA IDEAL

A su vez, como la velocidad tangencial $u_2 = r_2 \cdot \omega$ es constante, por ser ω el número de revoluciones por minuto, A_t es la sección media de salida del rodete una constante, junto con el ángulo de salida del rodete β_2 , (datos constructivos), se puede considerar que:

$$A = \frac{u_2^2}{g}; \quad B = \frac{u_2^2}{A_t \cdot \tan \beta_2}$$

Son dos constantes que dependen de los parámetros antes citados, entonces la ecuación de general de las bombas está dada por la ecuación:

$$H_t = f(Q) = A + B \cdot Q \quad (50)$$

La ecuación ideal de las bombas es una recta de la que únicamente se conoce su ordenada en el origen A , ya que su coeficiente angular B depende del ángulo β_2 .

Así, se tiene para valores del ángulo de salida del rodete, la relación H_T vs Q para una bomba ideal se encuentra en la figura 3.10.

- Para $\beta_2 > 90^\circ$, la constante $B < 0$ entonces, el coeficiente angular de la ecuación $H_t = f(q)$ es positivo.
- Para $\beta_2 = 90^\circ$, la constante $B = 0$ entonces, el coeficiente angular de la ecuación $H_t = f(q)$ es cero, recta paralela al eje del caudal.
- Para $\beta_2 < 90^\circ$, la constante $B > 0$ entonces, que el coeficiente angular de la ecuación $H_t = f(q)$ es negativo.

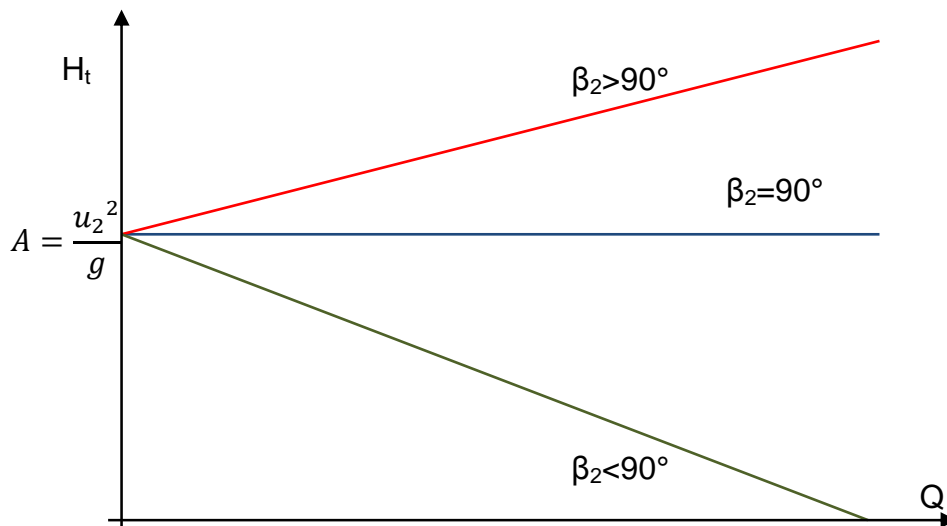


Figura 3-10: La ecuación ideal de las bombas. Fuente Propia.

En las bombas centrífugas destinadas a crear alturas de presión se tiene $\beta_2 < 90^\circ$, de forma que una parte de la altura de presión se crea en el rodete y otra parte se origina en la voluta por transformación de parte de la energía dinámica creada en el rodete; sin embargo existen turbo máquinas con $\beta_2 > 90^\circ$, en las que se dota al fluido de una cierta velocidad, sin que en la voluta exista apenas transformación de energía dinámica en energía de presión.

3.3.4. CURVA CARACTERÍSTICA REAL

La curva característica de una bomba centrífuga es una ecuación que tiene la forma $H_m = f(Q)$ que relaciona el caudal con la altura manométrica. La relación entre la altura manométrica y la total es:

$$H_m = H_t - \Delta_i = A - BQ - \Delta_i \quad (51)$$

Por lo que si a la altura total, para cada caudal Q, se le resta las pérdidas de carga interiores Δ_i se obtienen las alturas manométricas relativas a cada uno de los caudales Q

Las pérdidas de carga internas de la bomba Δ_i son de dos tipos:

- a) Las debidas al rozamiento del líquido (Δ_{roz}), que son proporcionales al caudal circulante Q.

$$\Delta_{roz} = kQ^2 \quad (52)$$

Donde k es una constante de rozamiento que depende de las dimensiones del rodete, del estado superficial de los álabes, de la voluta.

- b) Las debidas a las componentes de choque (Δ_{choque}) que se producen cuando el caudal que circula Q es diferente del caudal de diseño Q_t .

$$\Delta_{choque} = k (Q - Q_t)^2 \quad (53)$$

Si se considera que el caudal Q es igual al caudal de diseño Q_t , la ecuación de la curva característica real es:

$$H_m = A - BQ - C Q^2 \quad (54)$$

3.4. RENDIMIENTO APROXIMADO DE LA BOMBA CENTRÍFUGA

El rendimiento de una bomba es la relación entre la potencia consumida por la bomba P_B y la potencia comunicada al fluido $P_{\text{útil}}$. El rendimiento disminuye rápidamente con la velocidad de flujo para bajas velocidades, alcanza un máximo en la región de la capacidad especificada de la bomba, y disminuye después a medida que la velocidad de flujo se aproxima al valor de carga cero.

Si se considera que el torque en función del brazo del par-motor y la carga aplicada se tiene:

$$T = P \cdot r \quad (54)$$

La bomba centrífuga que se encuentra en el laboratorio de fluidos, presenta instrumentación en unidades inglesas la potencia transmitida a la bomba PB se puede expresar en B.H.P. mediante la expresión:

$$P_b = \frac{W \cdot r \cdot 2\pi \cdot n}{33000} [B.H.P] \quad (55)$$

Donde:

r = radio del brazo del par motor en pies.

W = Carga aplicada al brazo del par motor en libras

n = Número de revoluciones de la bomba en RPM.

El fluido de trabajo de trabajo es agua al expresar la potencia útil en unidades inglesas se tiene:

$$P_{\text{útil}} = \frac{(H_d - H_s) \cdot Q \cdot 62,4}{33000} [H.P] \quad (56)$$

Donde:

Hd = Presión hidrostática de salida de la bomba en pies de agua.

Hs = Presión hidrostática de entrada de la bomba en pies de agua.

Q = Flujo de la bomba en pies cúbicos por minuto.

62,4 = Peso específico del agua en libras por pie cubico.

El rendimiento de la bomba en porcentaje tiene la expresión:

$$n = \frac{P_b}{P_{\text{útil}}} \cdot 100 [\%] \quad (57)$$

La potencia eléctrica de entrada se obtiene mediante la expresión:

$$N_E = \Delta V \cdot I [W]$$

$$N_E = \frac{\Delta V \cdot I}{746} [H.P]$$

Donde:

ΔV = Voltaje en voltios.

I = Intensidad de corriente en amperios.

El Rendimiento mecánico se obtiene mediante la expresión:

$$m = \frac{N_P}{N_E} \times 100[\%]$$

El Rendimiento del conjunto se obtiene mediante la expresión:

$$c = \frac{N_W}{N_E} \times 100[\%]$$

Donde:

$N_W = P_{\text{útil}}$ = Potencia hidráulica de salida o potencia útil en H.P.

$N_P = P_b$ = Potencia transmitida a la bomba en B.H.P.

3.5. PRUEBAS HIDRÁULICAS REALIZADAS

3.5.1. PROCEDIMIENTO PARA LA CALIBRACIÓN DEL TUBO VENTURI

1. Cebiar la bomba.
2. Llenar el tanque principal hasta un nivel superior de la válvula de pie.
3. Cerrar la válvula de compuerta.
4. Encender la bomba
5. Equilibrar el motor con el sistema de pesas.
6. Cerrar la válvula de drenaje del tanque de medida volumétrica.
7. Regular la apertura de la válvula de compuerta.
8. Determinar la diferencia de alturas del manómetro de agua.
9. Cuantificar el caudal, tomando el tiempo que toma llenar el volumen del tanque para determinado nivel.
10. Retornar el flujo de agua mediante el dispositivo manual hacia el tanque principal.
11. Abrir la válvula de drenaje del tanque de medida volumétrica.
12. Repetir la toma de datos de caudal y altura manométrica regulando la apertura de la válvula de compuerta secuencialmente.
13. Apagar la bomba y permitir que el líquido retorne al tanque principal.
14. Obtener un C_d promedio para el Venturi.

3.5.1.1. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 3-5 y en la figura 3.11 se observa la curva de calibración del Tubo Venturi.

Tabla 3-5: Resumen de la calibración del tubo Venturi. Fuente Propia.

#	Diferencia de Alturas					Caudales						Cd
	Manómetro de Agua					Nivel	Volumen		Tiempo	Caudal real	Caudal ideal	
	H ₁	H ₂	H _T	H _T	H _T	h	V	V	t	Q ₁	Q _{ideal}	
	pulg H ₂ O	pulg H ₂ O	pulg H ₂ O	psi	kPa	pulg	pulg ³	m ³	s	pulg ³ /s	pulg ³ /s	
1	25,375	24,5	0,875	0,032	0,005	10	3789,76	0,062	80,85	46,87	49,00	0,96
2	28	23,375	4,625	0,167	0,024	10	3789,76	0,062	34,18	110,88	112,66	0,98
3	29,125	22,25	6,875	0,248	0,036	10	3789,76	0,062	27,96	135,54	137,35	0,99
4	28,625	20,875	7,75	0,280	0,041	10	3789,76	0,062	26,3	144,10	145,83	0,99
5	28,5	19,875	8,625	0,311	0,045	10	3789,76	0,062	25,18	150,51	153,84	0,98
6	27,875	19	8,875	0,320	0,046	10	3789,76	0,062	24,29	156,02	156,06	1,00
7	32,75	26	6,75	0,243	0,035	13	4926,68	0,081	36,3	135,72	136,10	1,00
8	31,75	26,75	5	0,180	0,026	13	4926,68	0,081	42,3	116,47	117,13	0,99
9	31	27	4	0,144	0,021	13	4926,68	0,081	47,29	104,18	104,77	0,99
10	30,5	27	3,125	0,113	0,016	13	4926,68	0,081	54,07	91,12	92,60	0,98
11	29,75	27,75	2	0,072	0,010	13	4926,68	0,081	68,18	72,26	74,08	0,98
13	32,75	25,125	7,625	0,275	0,040	13	4926,68	0,081	34,18	144,14	144,65	1,00
14	32,25	25	6,875	0,248	0,036	13	4926,68	0,081	36,74	134,10	137,35	0,98
15	32	25,75	6,25	0,225	0,033	13	4926,68	0,081	38,52	127,90	130,96	0,98
16	31,375	26	5,25	0,189	0,027	13	4926,68	0,081	41,18	119,64	120,03	1,00
17	30,75	26,5	4,25	0,153	0,022	13	4926,68	0,081	46,96	104,91	107,99	0,97
18	30,125	27	3,25	0,117	0,017	13	4926,68	0,081	55,41	88,91	94,44	0,94
19	29	28,875	0,125	0,005	0,001	13	4926,68	0,081	290	16,99	18,52	0,92
20	33,875	24	9,5	0,343	0,050	13	4926,68	0,081	31,29	157,45	161,46	0,98
21	30,375	27,25	3,125	0,113	0,016	13	4926,68	0,081	54,96	89,64	92,60	0,97
22	30,625	27	3,75	0,135	0,020	13	4926,68	0,081	49,07	100,40	101,44	0,99
											Valor promedio	0,9785

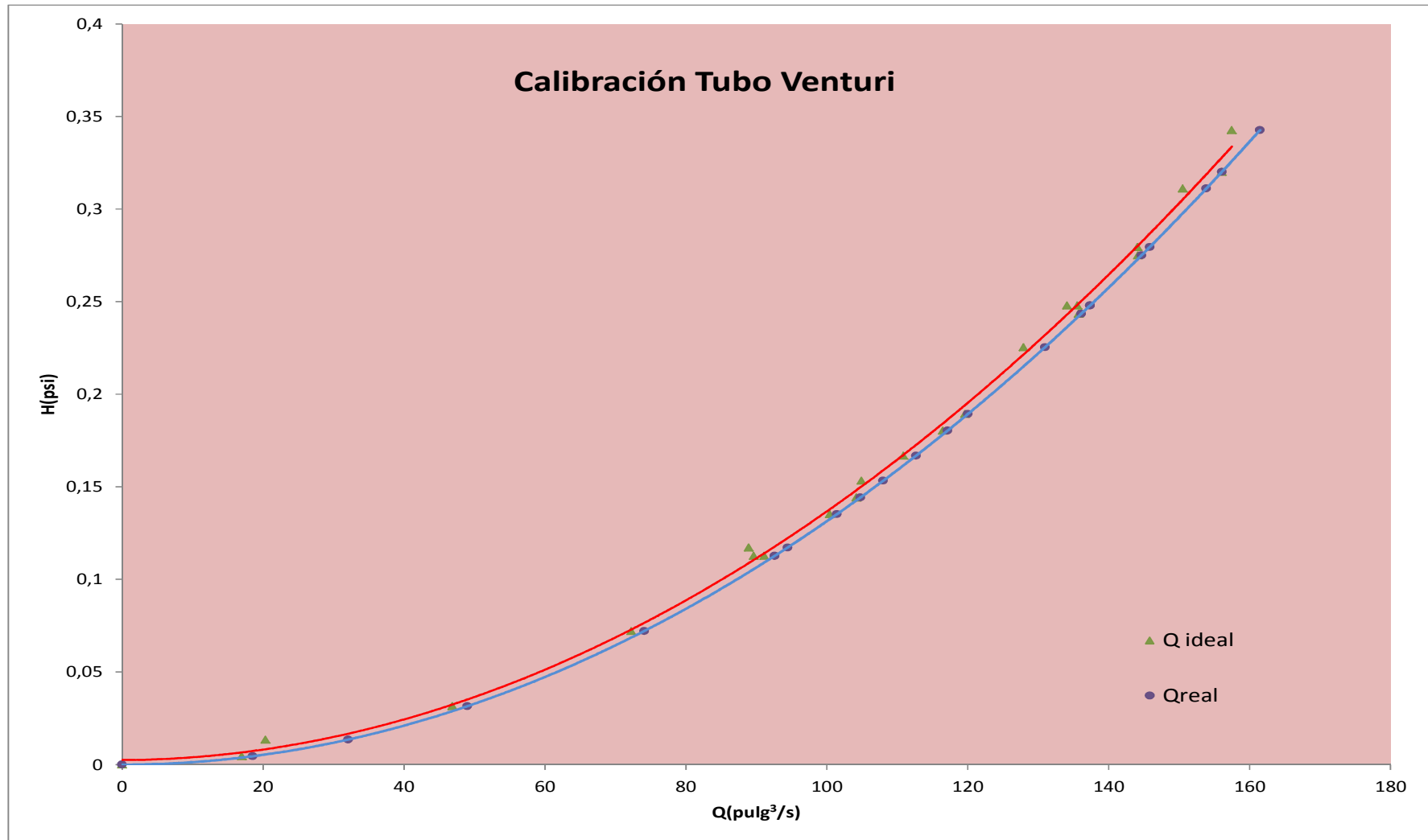


Figura 3-11: Resumen de la calibración del tubo Venturi. Fuente Propia.

3.5.2. PROCEDIMIENTO PARA LA CONSTRUCCION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE ALTURA vs CAUDAL Y RENDIMINETO vs CAUDAL A DIFERENTES REVOLUCVIONES.

1. Cebar la bomba.
2. Llenar el tanque principal hasta que un nivel superior de la válvula de pie.
3. Cerrar la válvula de compuerta.
4. Encender la bomba y fijar un valor de revoluciones.
5. Equilibrar el motor con el sistema de pesas.
6. Cerrar la válvula de drenaje del tanque de medida volumétrica.
7. Regular la apertura de la válvula de compuerta.
8. Determinar la diferencia de alturas del manómetro de mercurio.
9. Cuantificar el caudal, tomando el tiempo que toma llenar el volumen del tanque para determinado nivel.
10. Retornar el flujo de agua mediante el dispositivo manual hacia el tanque principal.
11. Abrir la válvula de drenaje del tanque de medida volumétrica.
12. Repetir la toma de datos de caudal y altura manométrica regulando la apertura de la válvula de compuerta secuencialmente hasta la apertura máxima.
13. Apagar la bomba y permitir que el líquido retorne al tanque principal.
14. Graficar la curva H vs Q real.
15. Graficar la curva n vs Q real.

3.5.2.1. Resultado obtenidos para las gráficas altura vs caudal.

Los resultados obtenidos se presentan en las tablas 3-6, 3-7, 3-8, 3-9 y 3-10, las curvas altura versus caudal se observan en las figuras 3-12, 3-13, 3-14, 3-15, 3-16 y 3-17.

Tabla 3-6 Resumen del salto a 1500 RPM. Fuente Propia.

#	Peso	Velocidad	Manómetro de Mercurio			Altura	Volumen	Tiempo	Caudal	Altura ideal		
	W	Ve	H _T	H _T	H _T	h	V	t	Q ₁	u	H _{ideal}	H _{ideal}
	gramos	RPM	pulg Hg	psi	kPa	pulg	pulg ³	s	pulg ³ /s	m/s	pulg Hg	psi
1	200	1500	14,975	7,36	1,07	4	1515,93	77,63	19,53	10,45	10,00	14,23
2	200	1500	14,5	7,12	1,03	4	1515,93	41,52	36,51	10,45	9,22	13,10
3	200	1500	13,125	6,45	0,93	8	3031,86	60,74	49,92	10,45	8,59	12,22
4	200	1500	12,475	6,13	0,89	8	3031,86	49,29	61,51	10,45	8,05	11,45
5	200	1500	11,75	5,77	0,84	8	3031,86	43,85	69,14	10,45	7,70	10,95
6	200	1500	11,25	5,53	0,80	8	3031,86	39,63	76,50	10,45	7,36	10,46
7	200	1500	8,125	3,99	0,58	10	3789,83	33,2	114,15	10,45	5,61	7,98
8	200	1500	9,125	4,48	0,65	10	3789,83	37,18	101,93	10,45	6,18	8,78
9	200	1500	8,75	4,30	0,62	10	3789,83	35,2	107,67	10,45	5,91	8,40
10	200	1500	10,2	5,01	0,73	10	3789,83	42,63	88,90	10,45	6,78	9,64
11	200	1500	7,5	3,68	0,53	10	3789,83	31,29	121,12	10,45	5,29	7,52
12	200	1500	7,375	3,62	0,53	15	5684,74	45,85	123,99	10,45	5,15	7,33
13	200	1500	7,125	3,50	0,51	15	5684,74	44,63	127,37	10,45	4,99	7,10
14	200	1500	6,875	3,38	0,49	15	5684,74	42,85	132,67	10,45	4,75	6,75

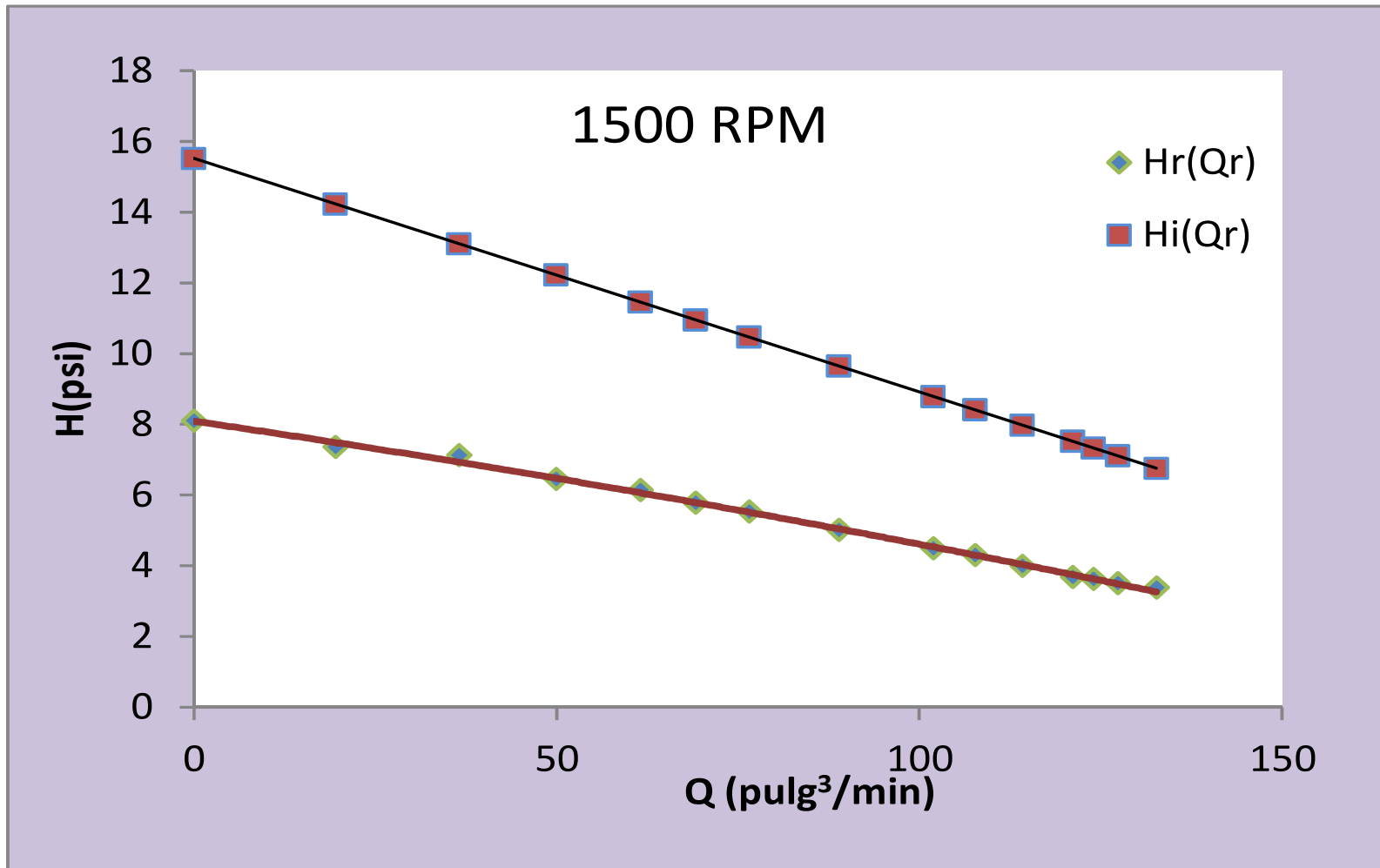


Figura 3-12 Salto en función del caudal para 1500 RPM. Fuente Propia.

Tabla 3-7 Resumen del salto a 1600 RPM

#	Peso	Velocidad	Manómetro de Mercurio			Altura	Volumen	Tiempo	Caudal	Altura ideal		
	W	Ve	H _T	H _T	H _T	h	V	t	Q ₁	u	H _{ideal}	H _{ideal}
	gramos	RPM	pulg Hg	psi	kPa	pulg	pulg ³	s	pulg ³ /s	m/s	pulg Hg	psi
1	300	1600	18,55	9,11	1,32	3	1136,95	174,18	6,53	11,14	12,09	17,19
2	300	1600	17,85	8,77	1,27	6	2273,9	140,4	16,20	11,14	11,61	16,51
3	300	1600	15,5	7,61	1,10	6	2273,9	46	49,43	11,14	9,97	14,17
4	300	1600	14,625	7,18	1,04	6	2273,9	35,6	63,87	11,14	9,25	13,15
5	300	1600	14,25	7,00	1,02	6	2273,9	31,25	72,76	11,14	8,81	12,53
6	300	1600	13	6,38	0,93	6	2273,9	24,9	91,32	11,14	7,89	11,22
7	300	1600	12,25	6,02	0,87	6	2273,9	23,03	98,74	11,14	7,52	10,70
8	300	1600	11,75	5,77	0,84	6	2273,9	22,3	101,97	11,14	7,36	10,47
9	300	1600	11	5,40	0,78	10	3789,83	34,51	109,82	11,14	6,97	9,92
10	300	1600	10,5	5,16	0,75	10	3789,83	32,8	115,54	11,14	6,69	9,51
11	300	1600	9,75	4,79	0,69	10	3789,83	30,82	122,97	11,14	6,32	8,99
12	300	1600	8,625	4,24	0,61	10	3789,83	27,84	136,13	11,14	5,67	8,06
13	300	1600	7,75	3,81	0,55	10	3789,83	25,5	148,62	11,14	5,05	7,18

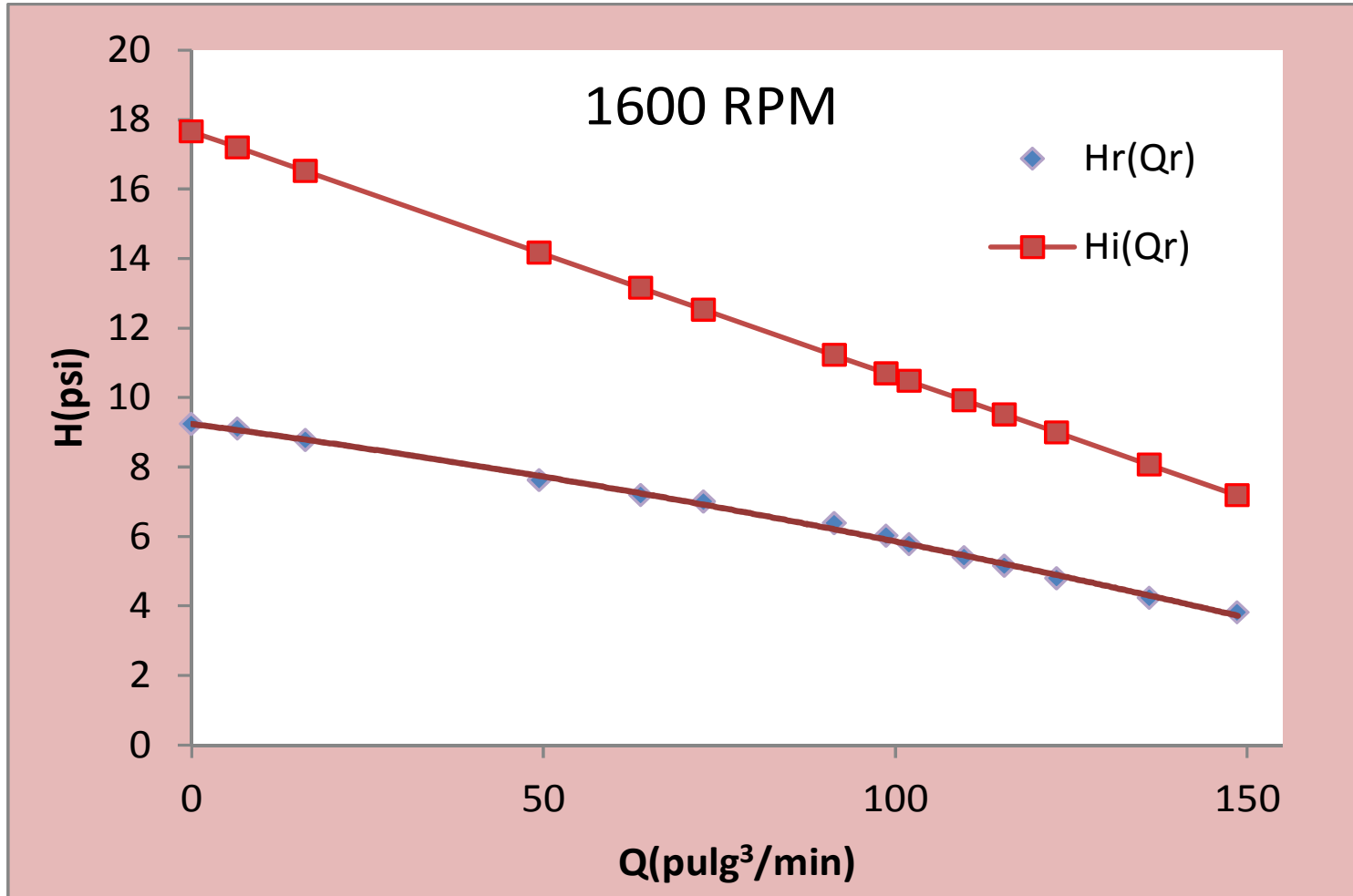


Figura 3-13 Salto en función del caudal para 1600 RPM. Fuente Propia

Tabla 3-8 Resumen del salto a 1700 RPM. Fuente Propia.

#	Peso	Velocidad	Manómetro de Mercurio			Altura	Volumen	Tiempo	Caudal	Altura ideal		
	W	Ve	H _T	H _T	H _T	h	V	t	Q ₁	u	H _{ideal}	H _{ideal}
	gramos	RPM	pulg Hg	psi	kPa	pulg	pulg ³	s	pulg ³ /s	m/s	pulg Hg	psi
1	400	1700	20,5	10,07	1,46	3	1136,95	92,29	12,32	11,84	13,37	19,01
2	400	1700	17,5	8,60	1,25	5	1894,91	34,29	55,26	11,84	11,11	15,79
3	400	1700	14,625	7,18	1,04	5	1894,91	21	90,23	11,84	9,26	13,17
4	400	1700	13,125	6,45	0,93	5	1894,91	17,52	108,16	11,84	8,32	11,83
5	400	1700	11,6	5,70	0,83	5	1894,91	14,8	128,03	11,84	7,27	10,34
6	400	1700	10,5	5,16	0,75	10	3789,83	27,01	140,31	11,84	6,63	9,43
7	400	1700	10,125	4,97	0,72	10	3789,83	26,1	145,20	11,84	6,37	9,06
8	400	1700	9,6	4,72	0,68	10	3789,83	24,74	153,19	11,84	5,95	8,46
9	400	1700	9,125	4,48	0,65	10	3789,83	24,5	154,69	11,84	5,87	8,35
10	400	1700	8,975	4,41	0,64	10	3789,83	23,8	159,24	11,84	5,63	8,01
11	400	1700	8,6	4,22	0,61	10	3789,83	23,63	160,38	11,84	5,57	7,92
12	400	1700	8,475	4,16	0,60	10	3789,83	23,1	164,06	11,84	5,38	7,65
13	400	1700	8,375	4,11	0,60	10	3789,83	22,5	168,44	11,84	5,15	7,32
14	400	1700	8,325	4,09	0,59	10	3789,83	22,41	169,11	11,84	5,11	7,27
15	400	1700	8,125	3,99	0,58	10	3789,83	22,3	169,95	11,84	5,07	7,21

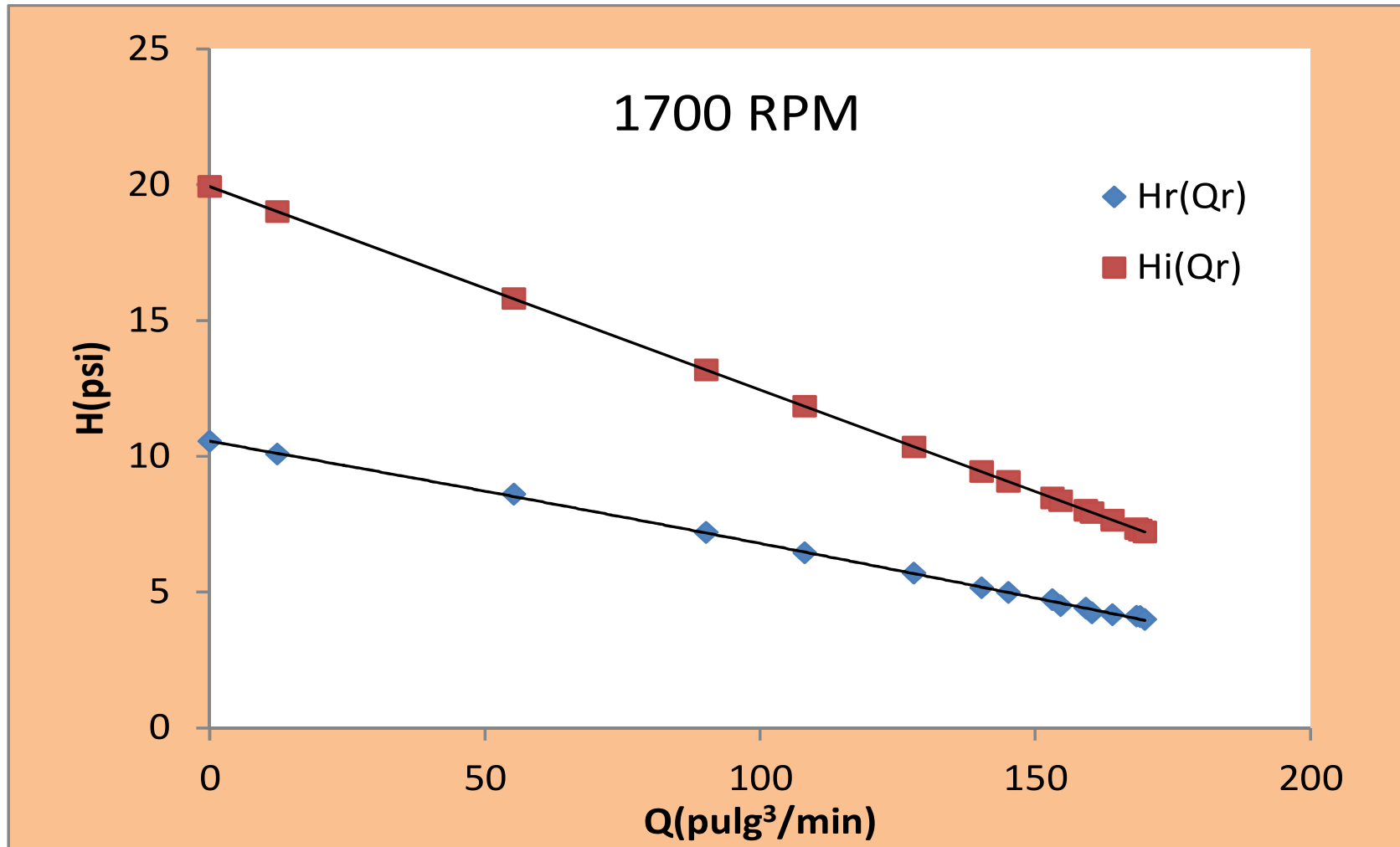


Figura 3-14 Salto en función del caudal para 1700 RPM. Fuente Propia.

Tabla 3-9 Resumen del salto a 1800 RPM. Fuente Propia.

#	Peso	Velocidad	Manómetro de Mercurio			Altura	Volumen	Tiempo	Caudal	Altura ideal		
	W	Ve	H _T	H _T	H _T	h	V	t	Q ₁	u	H _{ideal}	H _{ideal}
	gramos	RPM	pulg Hg	psi	kPa	pulg	pulg ³	s	pulg ³ /s	m/s	pulg Hg	psi
1	500	1800	22,25	10,93	1,58	4	1515,93	56,52	26,82	12,53	14,22	20,22
2	500	1800	21,75	10,68	1,55	4	1515,93	42,85	35,38	12,53	13,74	19,54
3	500	1800	20,7	10,17	1,47	4	1515,93	32,07	47,27	12,53	13,08	18,60
4	500	1800	20,025	9,84	1,43	8	3031,86	49,38	61,40	12,53	12,29	17,48
5	500	1800	18,5	9,09	1,32	8	3031,86	38,07	79,64	12,53	11,27	16,03
6	500	1800	16,875	8,29	1,20	8	3031,86	32,6	93,00	12,53	10,53	14,97
7	500	1800	15,5	7,61	1,10	8	3031,86	27,5	110,25	12,53	9,57	13,60
8	500	1800	14,5	7,12	1,03	8	3031,86	24,9	121,76	12,53	8,93	12,69
9	500	1800	13,75	6,75	0,98	15	5684,74	43,3	131,29	12,53	8,39	11,94
10	500	1800	12,625	6,20	0,90	15	5684,74	40,18	141,48	12,53	7,83	11,13
11	500	1800	11,625	5,71	0,83	15	5684,74	36,74	154,73	12,53	7,09	10,08
12	500	1800	10,875	5,34	0,77	15	5684,74	34,96	162,61	12,53	6,65	9,45
13	500	1800	10,25	5,03	0,73	15	5684,74	32,96	172,47	12,53	6,10	8,67
14	500	1800	9,75	4,79	0,69	15	5684,74	31,52	180,35	12,53	5,66	8,05

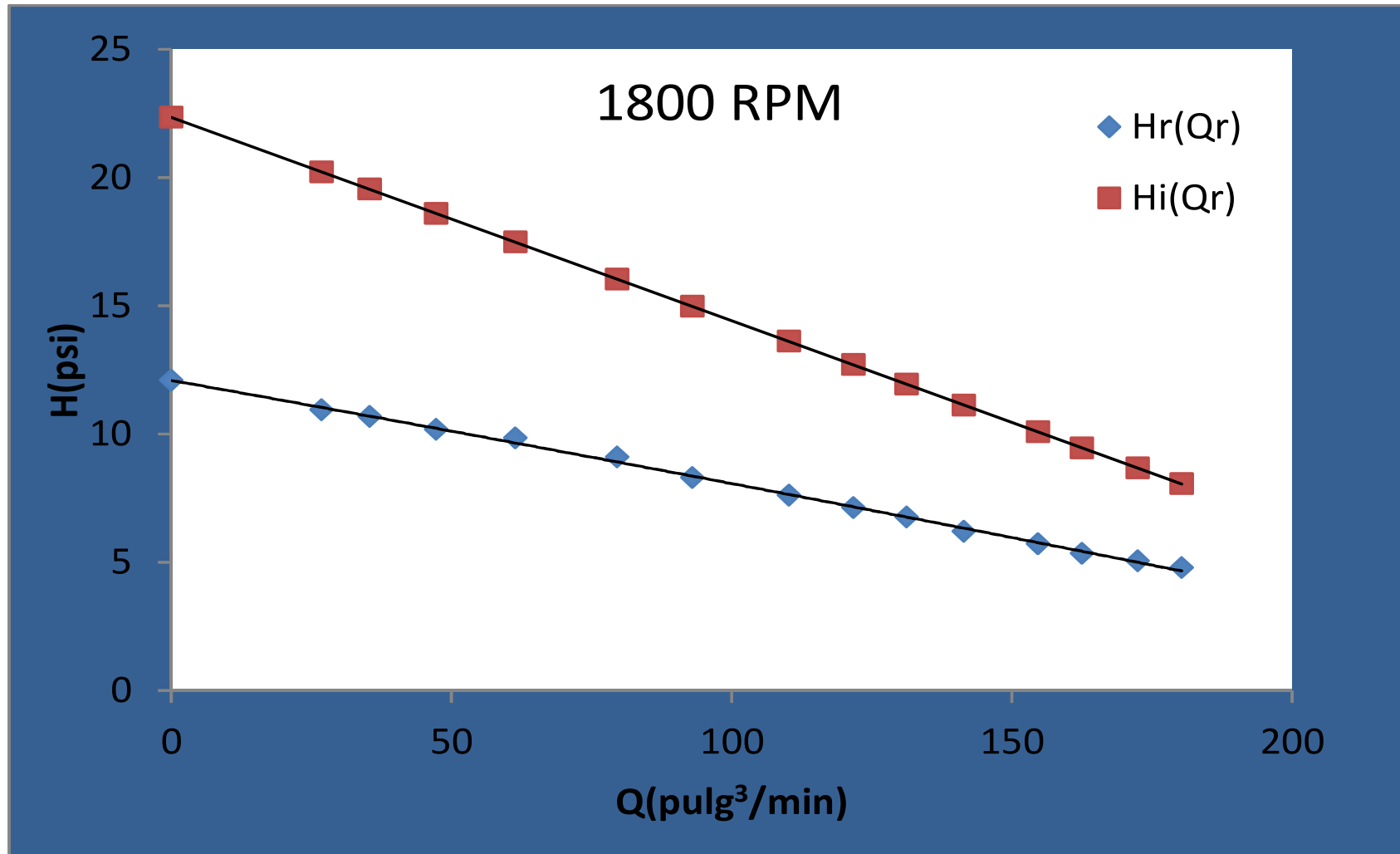


Figura 3-15 Salto en función del caudal para 1800 RPM. Fuente Propia.

Tabla 3-10 Resumen del salto a 1900 RPM. Fuente Propia.

#	Peso	Velocidad	Manómetro de Mercurio			Altura	Volumen	Tiempo	Caudal	Altura ideal		
	W	Ve	H _T	H _T	H _T	h	V	t	Q ₁	u	H _{ideal}	H _{ideal}
	gramos	RPM	pulg Hg	psi	kPa	pulg	pulg ³	s	pulg ³ /s	m/s	pulg Hg	psi
1	700	1900	25,125	12,34	1,79	4	1515,93	47,5	31,91	13,23	15,63	22,22
2	700	1900	24	11,79	1,71	6	2273,9	48,96	46,44	13,23	14,77	21,01
3	700	1900	23,35	11,47	1,66	6	2273,9	40,29	56,44	13,23	14,19	20,17
4	700	1900	23,125	11,36	1,65	10	3789,83	61,52	61,60	13,23	13,88	19,74
5	700	1900	22,5	11,05	1,60	10	3789,83	55,3	68,53	13,23	13,47	19,16
6	700	1900	21,25	10,44	1,51	10	3789,83	45,63	83,06	13,23	12,62	17,95
7	700	1900	20,075	9,86	1,43	10	3789,83	38,5	98,44	13,23	11,71	16,66
8	700	1900	17,5	8,60	1,25	10	3789,83	30,1	125,91	13,23	10,10	14,36
9	700	1900	15,375	7,55	1,10	15	5684,74	37,5	151,59	13,23	8,59	12,21
10	700	1900	14	6,88	1,00	15	5684,74	34,7	163,83	13,23	7,87	11,19
11	700	1900	13,25	6,51	0,94	15	5684,74	33,18	171,33	13,23	7,43	10,56
12	700	1900	13,025	6,40	0,93	15	5684,74	32,41	175,40	13,23	7,19	10,22
13	700	1900	11,5	5,65	0,82	15	5684,74	29,52	192,57	13,23	6,18	8,78
14	700	1900	10,35	5,08	0,74	15	5684,74	27,52	206,57	13,23	5,35	7,61
15	700	1900	9,75	4,79	0,69	15	5684,74	26,29	216,23	13,23	4,78	6,80

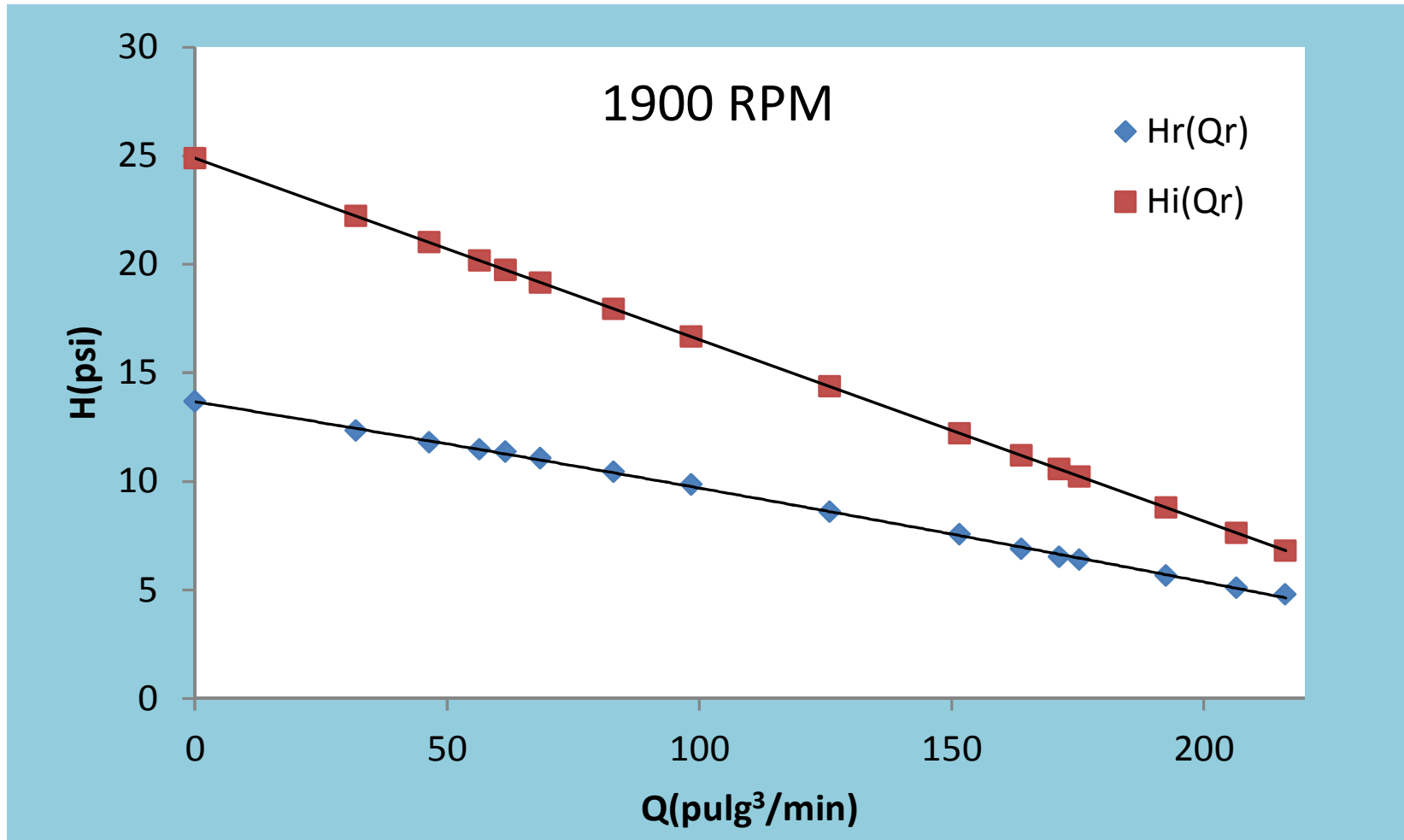


Figura 3-16 Salto en función del caudal para 1900 RPM. Fuente Propia.

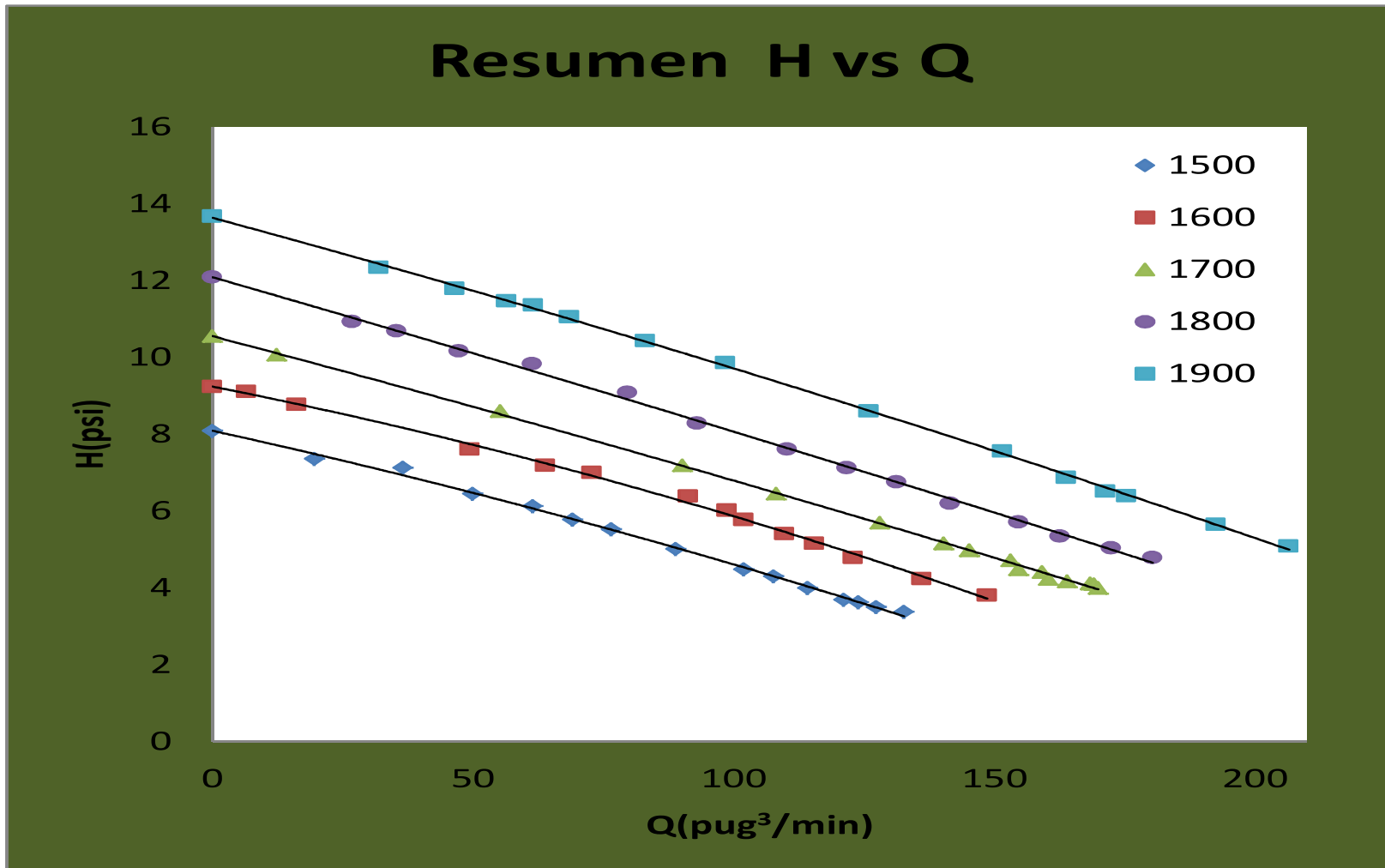


Figura 3-17 Comparación entre las diferentes revoluciones. Fuente Propia

3.5.2.2. Resultado obtenidos para las gráficas rendimiento vs caudal.

Los resultados obtenidos se presentan en las tablas 3-11, 3-12, 3-13, 3-14 y 3-15. Las curvas altura versus caudal se observan en las figuras 3-18, 3-19, 3-20, 3-21, 3-22 y 3-23.

Tabla 3-11 Resumen del rendimiento a 1500 RPM. Fuente Propia.

#	Manómetro de Agua				Caudal		Rendimiento	
	H ₁	H ₂	H _T	H _T	Q ₁	Q ₁	Nw	η
	pulg H ₂ O	pulg H ₂ O	pulg H ₂ O	ftH ₂ O	pulg ³ /s	pies ³ /min	HP	%
1	24,1	9,125	14,975	16,97	19,53	0,68	0,0218	17,28
2	24,125	9,625	14,5	16,43	36,51	1,27	0,0394	31,28
3	23,5	10,375	13,125	14,87	49,92	1,73	0,0487	38,71
4	23,125	10,65	12,475	14,13	61,51	2,14	0,0571	45,34
5	22,75	11	11,75	13,31	69,14	2,40	0,0604	48,00
6	22,5	11,25	11,25	12,75	76,50	2,66	0,0640	50,85
7	22	11,8	10,2	11,56	88,90	3,09	0,0675	53,58
8	21,5	12,375	9,125	10,34	101,93	3,54	0,0692	54,96
9	21	12,875	8,125	9,21	114,15	3,96	0,0690	54,80
10	21,25	12,5	8,75	9,91	107,67	3,74	0,0701	55,66
11	20,75	13,25	7,5	8,50	121,12	4,21	0,0676	53,67
12	20,625	13,25	7,375	8,36	123,99	4,31	0,0680	54,03
13	20,5	13,375	7,125	8,07	127,37	4,42	0,0675	53,62
14	20,375	13,5	6,875	7,79	132,67	4,61	0,0678	53,89

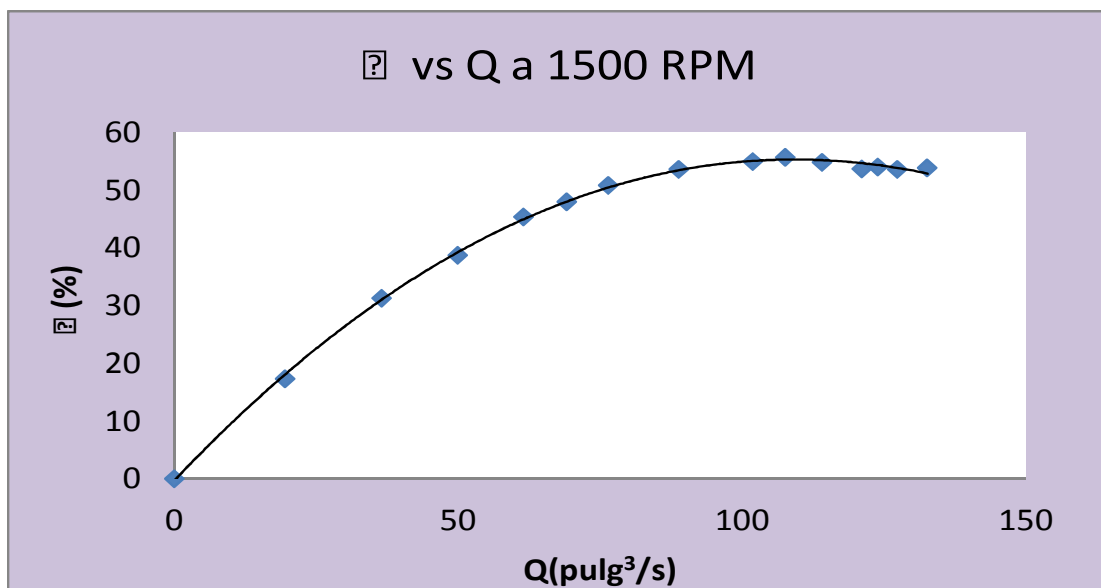


Figura 3-18 Rendimiento en función del caudal a 1500 RPM. Fuente Propia.

Tabla 3-12 Resumen del rendimiento a 1600 RPM. Fuente Propia.

#	Manómetro de Agua				Caudal		Rendimiento	
	H ₁	H ₂	H _T	H _T	Q ₁	Q ₁	Nw	η
	pulg H ₂ O	pulg H ₂ O	pulg H ₂ O	ftH ₂ O	pulg ³ /s	pies ³ /min	HP	%
1	25,875	7,325	18,55	21,02	6,53	0,23	0,0090	4,47
2	25,725	7,875	17,85	20,22	16,20	0,56	0,0215	10,68
3	24,625	9,125	15,5	17,56	49,43	1,72	0,0570	28,30
4	24,25	9,625	14,625	16,57	63,87	2,22	0,0695	34,50
5	24	9,75	14,25	16,14	72,76	2,53	0,0771	38,29
6	23,375	10,375	13	14,73	91,32	3,17	0,0883	43,84
7	23	10,75	12,25	13,88	98,74	3,43	0,0900	44,67
8	22,75	11	11,75	13,31	101,97	3,54	0,0891	44,25
9	22,375	11,375	11	12,46	109,82	3,81	0,0899	44,61
10	22,125	11,625	10,5	11,90	115,54	4,01	0,0902	44,80
11	21,75	12	9,75	11,05	122,97	4,27	0,0892	44,28
12	21,25	12,625	8,625	9,77	136,13	4,73	0,0873	43,36
13	20,875	13,125	7,75	8,78	148,62	5,16	0,0857	42,54

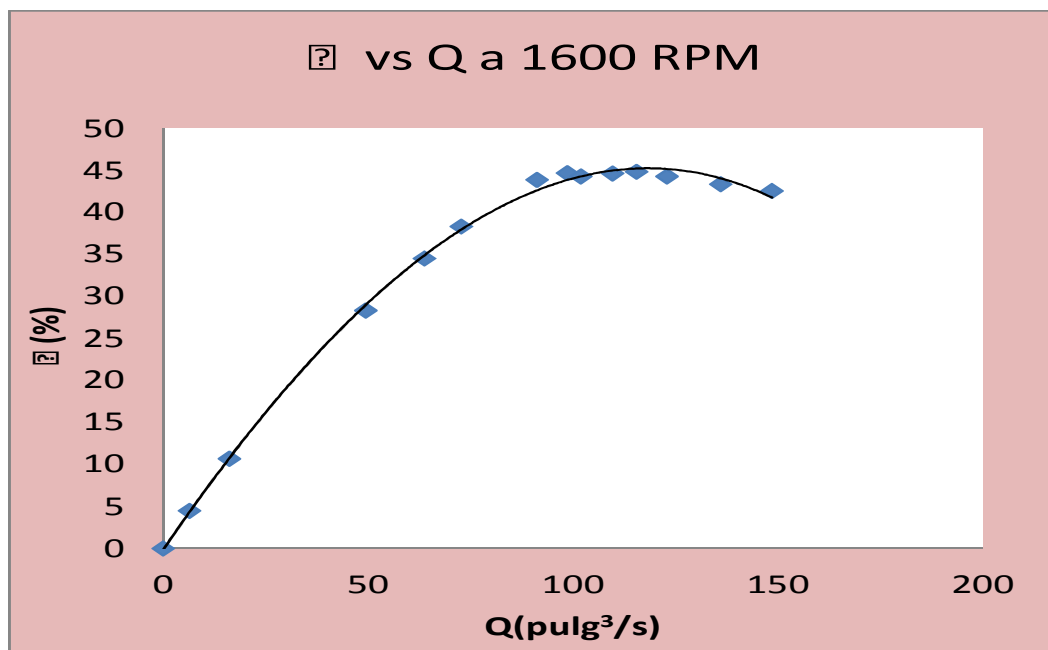


Figura 3-19: Rendimiento en función del caudal a 1600 RPM. Fuente Propia.

Tabla 3-13 Resumen del rendimiento a 1700 RPM. Fuente Propia.

#	Manómetro de Agua				Caudal		Rendimiento	
	H ₁	H ₂	H _T	H _T	Q ₁	Q ₁	Nw	η
	pulg H ₂ O	pulg H ₂ O	pulg H ₂ O	ftH ₂ O	pulg ³ /s	pies ³ /min	HP	%
1	27,25	6,75	20,5	23,23	12,32	0,43	0,0188	6,58
2	25,625	8,125	17,5	19,83	55,26	1,92	0,0719	25,21
3	24,125	9,5	14,625	16,57	90,23	3,13	0,0982	34,40
4	23,375	10,25	13,125	14,87	108,16	3,76	0,1056	37,00
5	22,75	11,15	11,6	13,14	128,03	4,45	0,1105	38,72
6	22,15	11,65	10,5	11,90	140,31	4,87	0,1096	38,41
7	22	11,875	10,125	11,47	145,20	5,04	0,1094	38,32
8	21,75	12,15	9,6	10,88	153,19	5,32	0,1094	38,34
9	21,5	12,375	9,125	10,34	154,69	5,37	0,1050	36,80
10	21,375	12,4	8,975	10,17	159,24	5,53	0,1063	37,25
11	21,25	12,65	8,6	9,74	160,38	5,57	0,1026	35,95
12	21,125	12,65	8,475	9,60	164,06	5,70	0,1034	36,25
13	21,125	12,75	8,375	9,49	168,44	5,85	0,1049	36,77
14	21,125	12,8	8,325	9,43	169,11	5,87	0,1047	36,70
15	21	12,875	8,125	9,21	169,95	5,90	0,1027	36,00

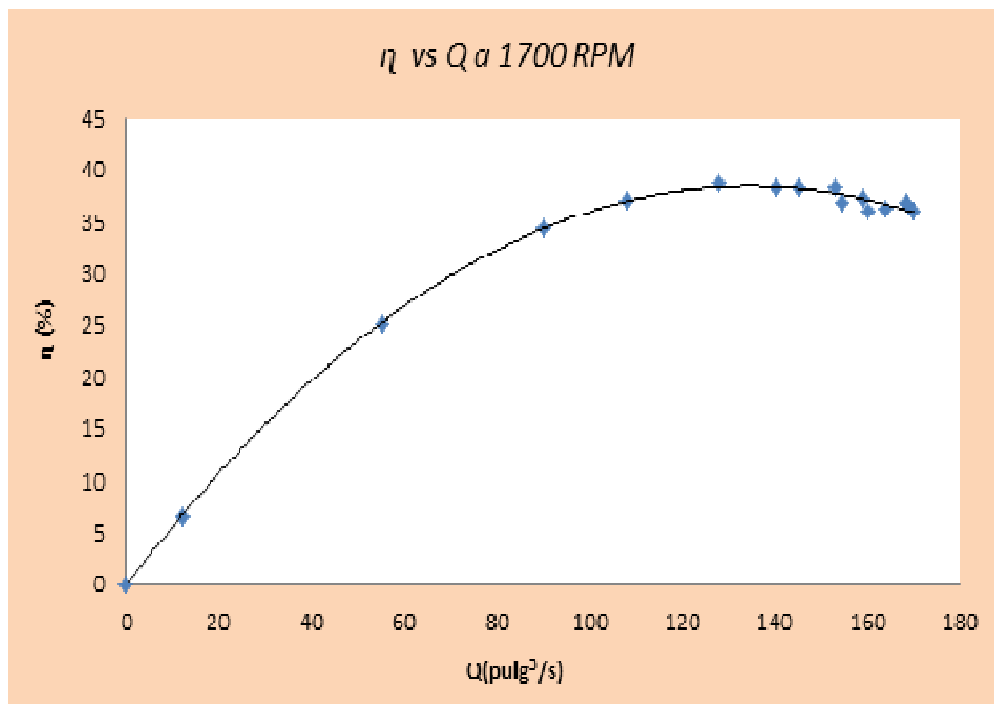


Figura 3-20 Rendimiento en función del caudal a 1700 RPM. Fuente Propia.

Tabla 3-14 Resumen del rendimiento a 1800 RPM. Fuente Propia.

#	Manómetro de Agua				Caudal		Rendimiento	
	H ₁	H ₂	H _T	H _T	Q ₁	Q ₁	Nw	η
	pulg H ₂ O	pulg H ₂ O	pulg H ₂ O	ftH ₂ O	pulg ³ /s	pies ³ /min	HP	%
1	28,75	6,5	22,25	25,21	26,82	0,93	0,0444	11,75
2	27,5	5,75	21,75	24,64	35,38	1,23	0,0572	15,16
3	26,5	5,8	20,7	23,45	47,27	1,64	0,0728	19,27
4	26,125	6,1	20,025	22,69	61,40	2,13	0,0915	24,22
5	25,5	7	18,5	20,96	79,64	2,77	0,1096	29,02
6	24,875	8	16,875	19,12	93,00	3,23	0,1167	30,91
7	24,5	9	15,5	17,56	110,25	3,83	0,1271	33,66
8	24,125	9,625	14,5	16,43	121,76	4,23	0,1313	34,77
9	23,75	10	13,75	15,58	131,29	4,56	0,1343	35,55
10	23,25	10,625	12,625	14,30	141,48	4,91	0,1329	35,18
11	22,75	11,125	11,625	13,17	154,73	5,37	0,1338	35,43
12	22,375	11,5	10,875	12,32	162,61	5,65	0,1315	34,83
13	22	11,75	10,25	11,61	172,47	5,99	0,1315	34,82
14	21,75	12	9,75	11,05	180,35	6,26	0,1308	34,63

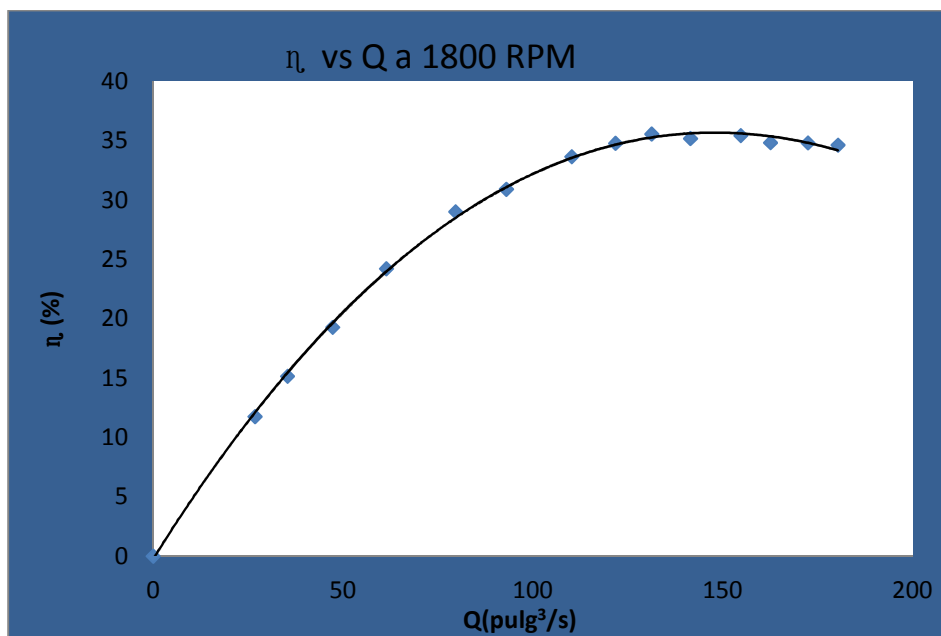


Figura 3-21 Rendimiento en función del caudal a 1800 RPM. Fuente Propia.

Tabla 3-15 Resumen del rendimiento a 1900 RPM. Fuente Propia.

#	Manómetro de Agua				Caudal		Rendimiento	
	H ₁	H ₂	H _T	H _T	Q ₁	Q ₁	Nw	η
	pulg H ₂ O	pulg H ₂ O	pulg H ₂ O	ftH ₂ O	pulg ³ /s	pies ³ /min	HP	%
1	29,5	4,375	25,125	28,47	31,91	1,11	0,0596	10,69
2	28,75	4,75	24	27,19	46,44	1,61	0,0829	14,86
3	28,5	5,15	23,35	26,45	56,44	1,96	0,0980	17,56
4	28,375	5,25	23,125	26,20	61,60	2,14	0,1060	18,99
5	28	5,5	22,5	25,49	68,53	2,38	0,1147	20,55
6	27,5	6,25	21,25	24,08	83,06	2,88	0,1313	23,52
7	26,875	6,8	20,075	22,74	98,44	3,42	0,1470	26,34
8	25,5	8	17,5	19,83	125,91	4,37	0,1639	29,37
9	24,625	9,25	15,375	17,42	151,59	5,26	0,1734	31,06
10	23,875	9,875	14	15,86	163,83	5,69	0,1706	30,57
11	23,5	10,25	13,25	15,01	171,33	5,95	0,1689	30,26
12	23,4	10,375	13,025	14,76	175,40	6,09	0,1699	30,45
13	22,625	11,125	11,5	13,03	192,57	6,69	0,1647	29,52
14	22,1	11,75	10,35	11,73	206,57	7,17	0,1590	28,49
15	21,75	12	9,75	11,05	216,23	7,51	0,1568	28,10

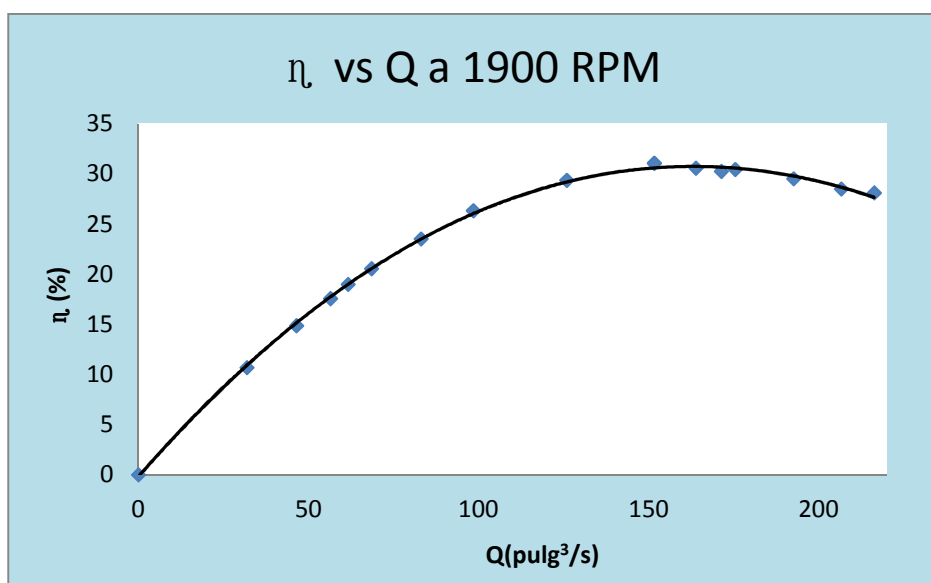


Figura 3-22 Rendimiento en función del caudal a 1900 RPM. Fuente Propia.

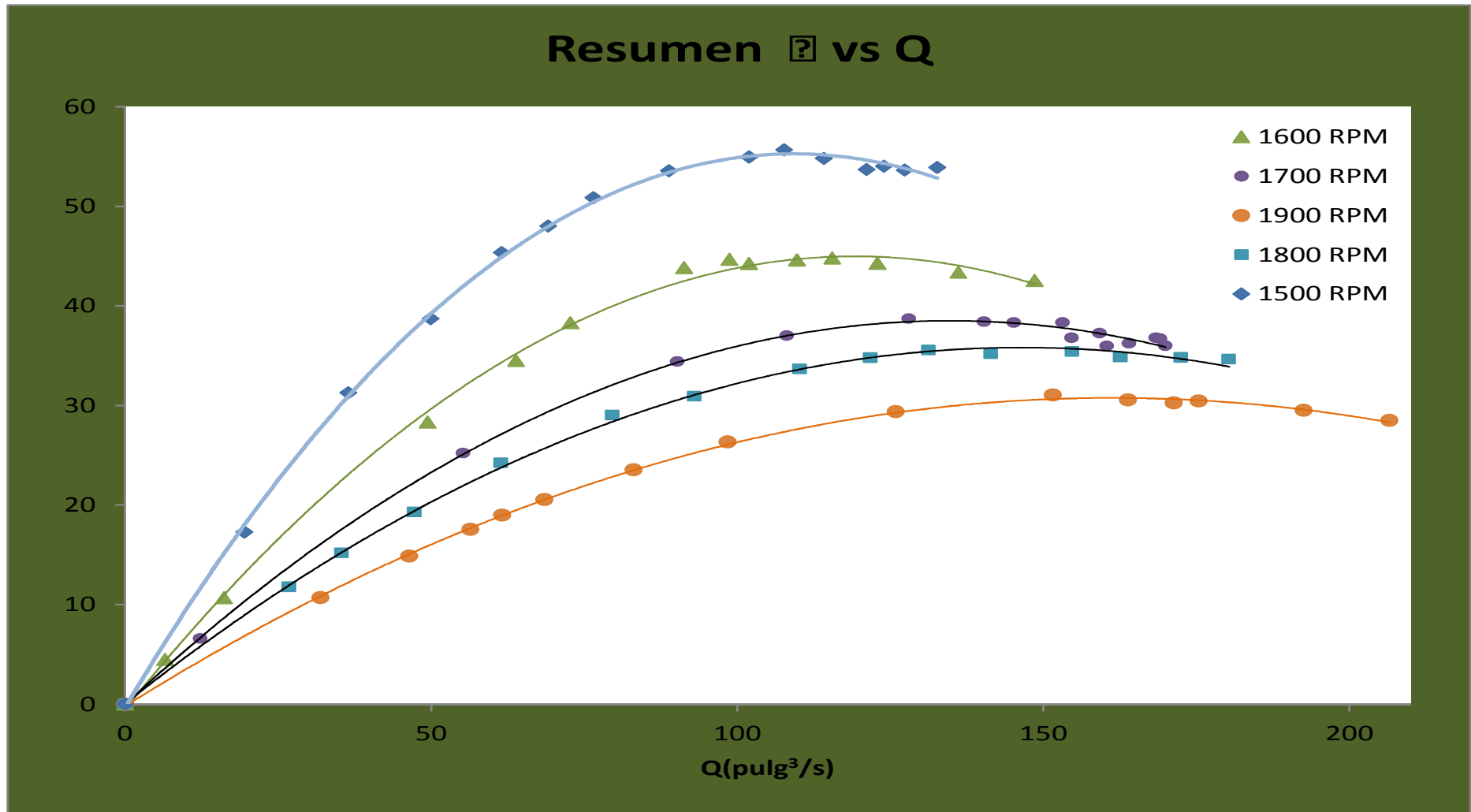


Figura 3-23 Rendimiento en función del caudal para diferentes velocidades. Fuente Propia.

3.5.2.3. El Rendimiento en función del caudal para diferentes velocidades y líneas de iso rendimiento se observa en la figura 3-24.

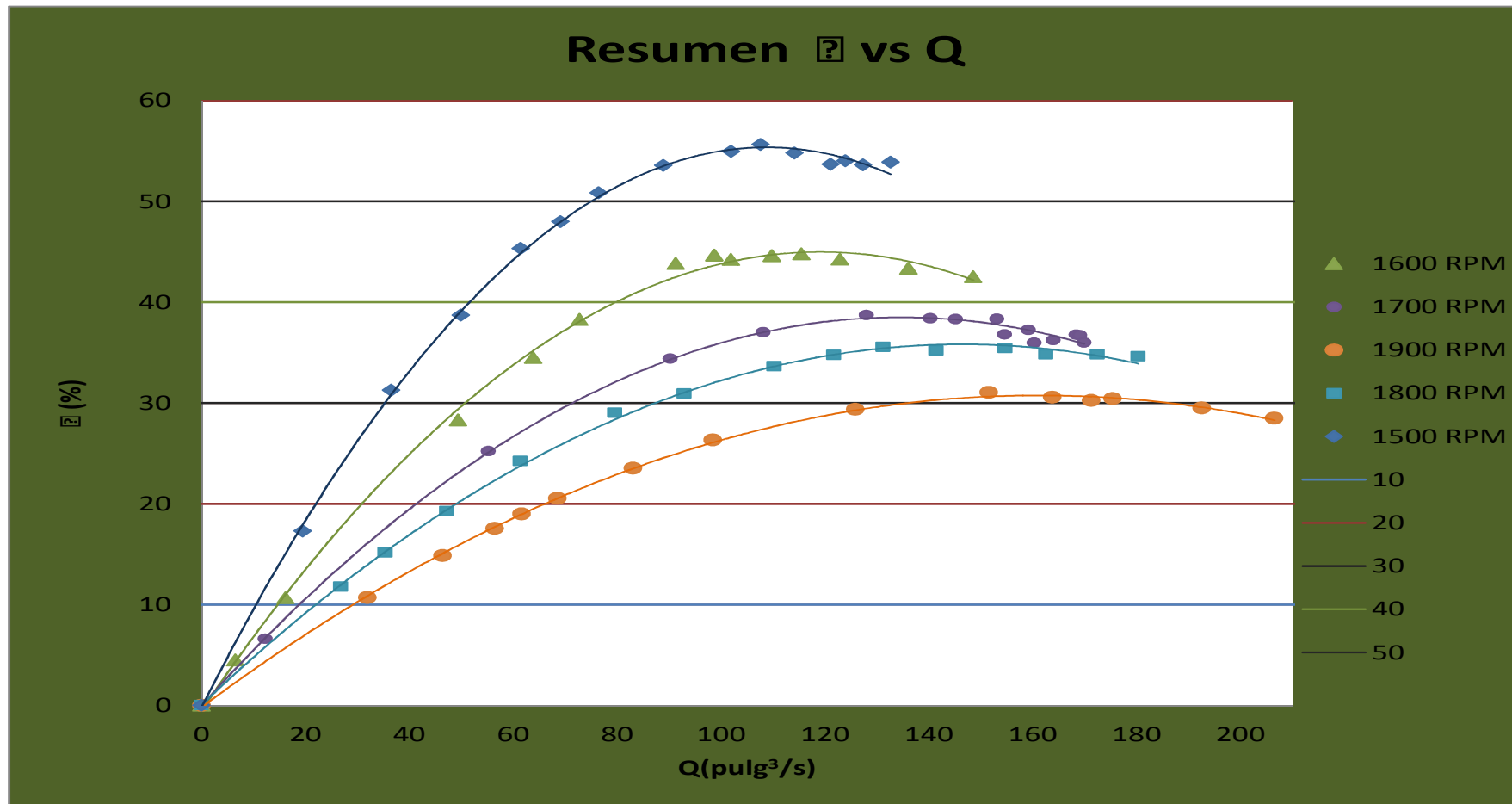


Figura 3-24 Rendimiento en función del caudal para diferentes velocidades y líneas de iso rendimiento. Fuente Propia.

3.5.2.4. La Altura en función del caudal para diferentes velocidades y líneas de iso rendimiento se observa en la figura 3-25.

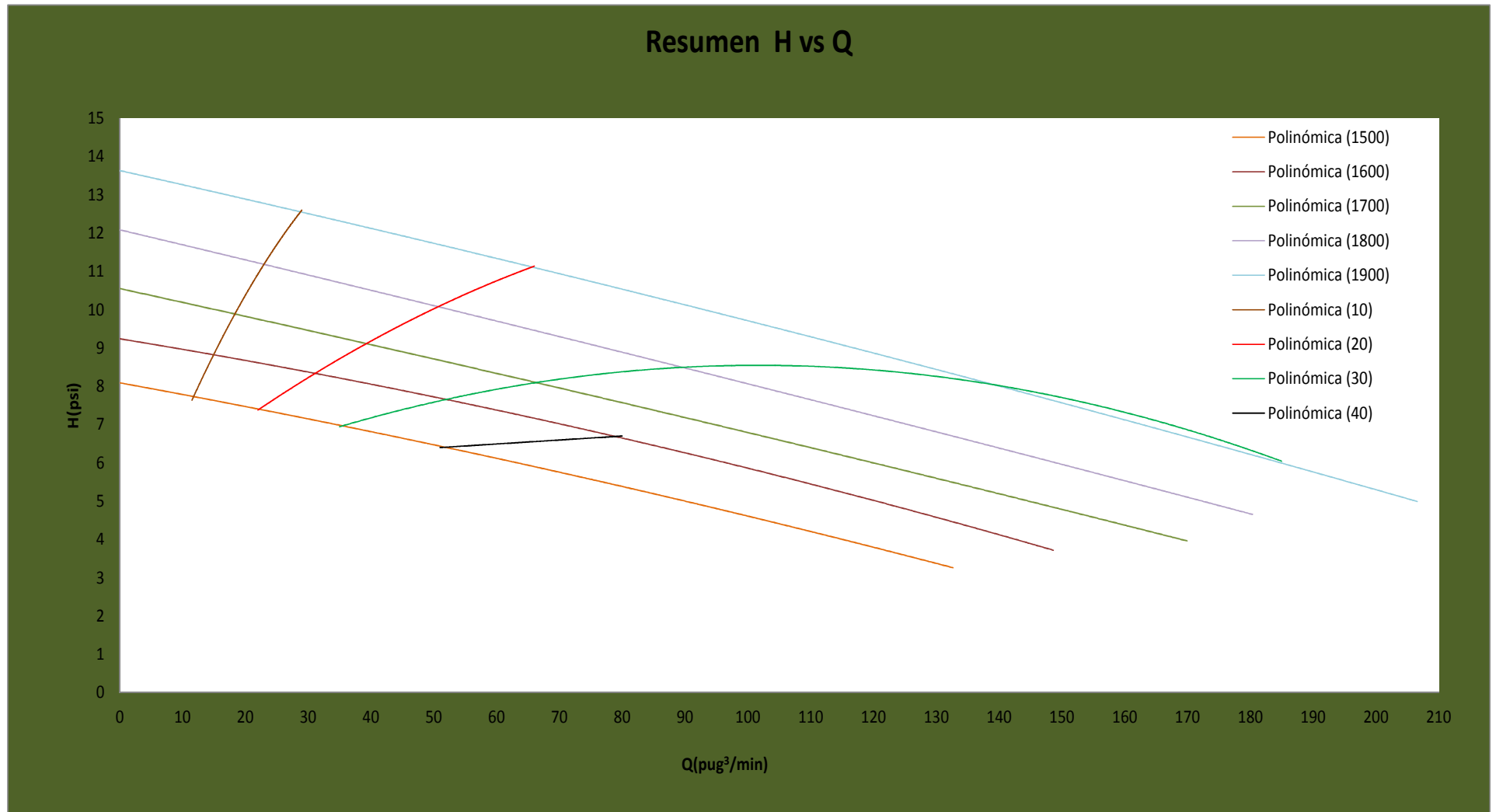


Figura 3-25 Altura en función del caudal para diferentes velocidades y líneas de iso rendimiento. Fuente Propia.

CAPÍTULO 4

4. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

4.1. DISEÑO DEL SISTEMA

En el CAPÍTULO 1, mediante un diagrama de bloques, se especificó de manera muy general y funcional los elementos que participan en el sistema de control. En este capítulo se detalla cada elemento que se necesita para que el sistema de control funcione correctamente y la manera en que se van a relacionar entre sí.

4.1.1. ESPECIFICACIONES PARA EL DISEÑO Y LA CONSTRUCCIÓN

Las especificaciones que requiere el proyecto se encuentran especificadas en la figura 4.1.

Tabla 4.1: Tabla de especificaciones del sistema de control. Fuente Propia.

Empresa cliente:		Producto:	Fecha inicial:
Escuela Politécnica Nacional		Sistema SCADA para la obtención de curvas características de una bomba centrífuga	01/05/2011
Diseño:			Última revisión:
Enríquez David Simbaña Julián			18/08/2011
Especificaciones			
Concepto	R/D	Descripción	
Función	R	Obtención de curvas características de la bomba en la pantalla HMI	
	D	Movilidad del módulo para su fácil transporte.	
	R	Fácil Operación	
	R	Manejo Manual y Automático	
Dimensiones	R	Tanque Medida: 1,2 x 1,2 x 0,6 metros	
	R	Tubo Venturi: Diámetro: 0,038 metros Diámetro en la garganta: 0,032 metros	
Energía	R	Fuente: 220 VAC.	

	R	Potencia Nominal: 2 HP
	R	Revoluciones en el eje: 600 a 2800 RPM
	R	PLC: Entrada 24 VDC, Salida 24 VDC. Debido a normas de seguridad, el voltaje máximo que se puede utilizar en aplicaciones que emplean agua es 12 VDC.
Señal y control	D	Encoder
	R	Sensor de Nivel
	R	PLC
	R	HMI
	D	Electrosondas
Materiales	D	Estructura de soporte: Capacidad para soportar los esfuerzos generados por las cargas sobre esta.
	R	Resistencia a la corrosión por contacto con agua.
	R	Sensores de nivel: Resistencia a la corrosión por contacto con agua.
	D	Capacidad de trabajo frecuente.
Vida útil y mantenimiento	R	Su limpieza se debe llevar a cabo con solventes orgánicos y suaves para el medio ambiente.
	R	Procedimiento de mantenimiento no muy extenso, ni muy frecuente.
Seguridad y Ergonomía	R	Los pulsadores: másteron y máster off (parada de emergencia), deben estar fácilmente al alcance de los usuarios.
	R	Todos los circuitos electrónicos y eléctricos deben presentarse con su respectiva caja de protección para evitar cualquier accidente por contacto con agua.

R/D: **R**= Requerimiento

D=Deseo

4.2. SELECCIÓN DE LAS MEJORES ALTERNATIVAS PARA EL SISTEMA DE CONTROL.

4.2.1. SELECCIÓN DEL SENSOR DE NIVEL

El sensor de nivel se eligió tomando en cuenta el siguiente listado de criterios:

- Costo. El costo debe ser el mínimo ya que los proyectistas corren con los gastos de la compra.
- Mantenimiento. Debe permitir fácil montaje y desmontaje para realizar actividades de mantenimiento y limpieza.
- Precisión. Las medidas determinadas por el sensor deben ser siempre optimas, su error debe ser el menor posible teniendo en cuenta las que se utilizan para realizar cálculos de caudal que entra en un reservorio de dimensiones pequeñas.
- Resistencia al desgaste. Siendo que el sensor de nivel funciona cada vez que se llena el tanque de medida volumétrica el deterioro de las partes que conforman el sensor debe ser mínimo.
- Resistencia a la corrosión. Al ser un equipo de ensayo cuyo fluido de trabajo es el agua, el sensor debe ser resistente al contacto con agua, no debe degradarse ya que el incluir partículas al sistema puede representar un inconveniente para los elementos como las válvulas, bombas, uniones. Se otorga la mayor calificación al que presente mayor resistencia a la corrosión.
- Toma de datos continuo. El sensor debe permitir de la toma de diferentes medidas de altura de preferencia para realizar una fácil comparación y calibración.

4.2.1.1. DESCRIPCIÓN DE LOS CANDIDATOS

4.2.1.1.1. SENSOR DE NIVEL CON ELECTRO SONDAS

Las electrosondas son los reguladores de fluido conductor adecuado para el mínimo y el máximo nivel de control de pozo profundo, tanques, cisternas etc. El principio de funcionamiento es el de los medidores de nivel conductivos mediante la detección, por medio de sondas especiales sumergido en el líquido, con la sonda más larga que actúa como elemento común para determinar el nivel.

Cuando el nivel del líquido en el interior del contenedor o bien moja las dos sondas de un relé se activa y desactiva posteriormente sólo cuando el nivel desciende.

4.2.1.1.2. SENSOR FLOTANTE DE NIVEL

Los instrumentos de medición de nivel constituidos por flotadores, operan por el movimiento del flotador. El principio básico de flotación establece que “un cuerpo (flotador), sumergido en un líquido es empujado hacia arriba por una fuerza que es igual al peso del líquido desplazado, ejemplo del sensor flotante de nivel se observa en la figura 4.1.

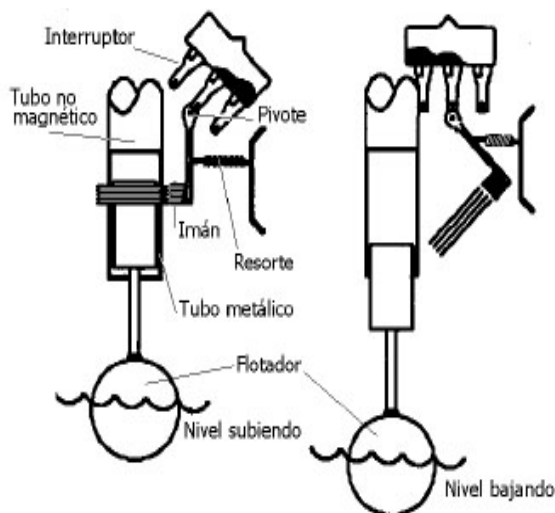


Figura 4-1: Sensor flotante de nivel.²⁰

El flotador se mueve hacia arriba y hacia abajo con los cambios en el nivel del líquido. Este movimiento del flotador puede ser transformado por diversos medios en una acción de indicación, registro o control. Generalmente son utilizados para medir interfaces líquido-gas y líquido-líquido.

²⁰ <http://www.sapiens.itgo.com/documents/doc60.htm>

4.2.1.1.3. DESPLAZADORES

La operación del desplazador se basa en el principio de Arquímedes, el cual establece que un cuerpo sumergido en un líquido será empujado hacia arriba por una fuerza igual al peso del líquido que él desplaza, en la figura 4.2 se observan ejemplos de desplazadores.

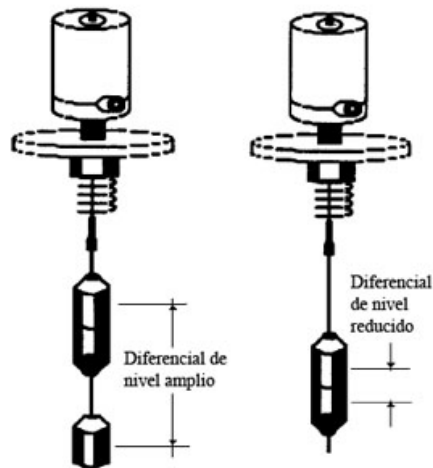


Figura 4-2: Desplazadores.²¹

Cuando aumenta el nivel del líquido en el recipiente, el desplazador pierde peso (este peso es igual al peso del líquido desplazado). Para relacionar la pérdida de peso del desplazador con el nivel del líquido en el recipiente, normalmente se utilizan dos tipos de mecanismos. Uno de ellos utiliza una barra de torsión sobre la cual está soportado el desplazador. La pérdida de peso del desplazador, por efecto del aumento del nivel en el recipiente, hace que varíe la fuerza ejercida sobre la barra de torsión, produciéndose en esta un movimiento de rotación proporcional al cambio, en el nivel de líquido. La conversión del movimiento de rotación en la barra de torsión, en una señal proporcional a la variación del nivel, puede hacerse neumática o electrónicamente.

En las tablas 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 y 4.9 se determina la selección de la mejor alternativa de acuerdo al método de evaluación de soluciones.²²

²¹ <http://www.sapiens.itgo.com/documents/doc60.ht>

²² RIBA C, (2002), "Diseño Concurrente", Departamento de Ingeniería Mecánica ETSEIB –UPC, España, Páginas 59 -62.

Tabla 4.2: Evaluación del peso específico de los criterios para la selección del sensor de nivel. Fuente Propia

Evaluación de criterios: *Precisión > Costo > Mantenimiento > Resistencia al desgaste = Resistencia a la corrosión > Toma de datos continuo*

	Costo	Mantenimiento	Precisión	Resistencia al desgaste	Resistencia a la corrosión.	Toma de datos continuo	Suma +1	Ponderado
Costo		1	0	1	1	1	5	0,238
Mantenimiento	0		0	1	1	1	4	0,190
Precisión	1	1		1	1	1	6	0,286
Resistencia al desgaste	0	0	0		1	1	3	0,140
Resistencia a la corrosión				0,5		1	2,5	0,099
Toma de datos continuo	0	0	0	0	0		1	0,048
						Suma	21	1

Tabla 4.3: Conclusión de la evaluación (Resumen de resultados en base a tablas de evaluación subsiguientes). Fuente Propia

Conclusión	Costo	Mantenimiento	Precisión	Resistencia al desgaste	Resistencia a la corrosión.	Toma de datos continuo	Suma	Prioridad
Sensor con electrosonda	0,060	0,095	0,143	0,060	0,060	0,020	0,437	1
Sensor flotante de nivel.	0,119	0,063	0,048	0,040	0,030	0,008	0,308	2
Desplazadores	0,060	0,032	0,095	0,020	0,030	0,020	0,256	3

Tabla 4.4: Evaluación de candidatos de acuerdo al criterio: Costo. Fuente Propia

$$2 > 1 = 3$$

Costo	Sensor con electrosonda	Sensor flotante de nivel.	Desplazadores	Suma +1	Ponderado
Sensor con electrosonda		0	0,5	1,5	0,250
Sensor flotante de nivel.	1		1	3	0,500
Desplazadores	0	0,5		1,5	0,250
			Suma	6	1,000

Tabla 4.5: Evaluación de candidatos de acuerdo al criterio: Mantenimiento. Fuente Propia

$$1 > 2 > 3$$

Mantenimiento	Sensor con electrosonda	Sensor flotante de nivel.	Desplazadores	Suma +1	Ponderado
Sensor con electrosonda		1	1	3	0,500
Sensor flotante de nivel.	0		1	2	0,333
Desplazadores	0	0		1	0,167
			Suma	6	1,000

Tabla 4.6: Evaluación de candidatos de acuerdo al criterio: Precisión. Fuente Propia

$$1 > 3 > 2$$

Precisión	Sensor con electrosonda	Sensor flotante de nivel.	Desplazadores	Suma +1	Ponderado
Sensor con electrosonda		1	1	3	0,500
Sensor flotante de nivel.	0		0	1	0,167
Desplazadores	0	1		2	0,333
			Suma	6	1

Tabla 4.7: Evaluación de candidatos de acuerdo al criterio: Resistencia al desgaste. Fuente Propia

$$1 > 2 > 3$$

Resistencia al desgaste	Sensor con electrosonda	Sensor flotante de nivel.	Desplazadores	Suma +1	Ponderado
Sensor con electrosonda		1	1	3	0,500
Sensor flotante de nivel.	0		1	2	0,333
Desplazadores	0	0		1	0,167
			Suma	6	1

Tabla 4.8: Evaluación de candidatos de acuerdo al criterio: Resistencia a la corrosión. Fuente Propia

$1 > 2 = 3$

Resistencia a la corrosión	Sensor con electrosonda	Sensor flotante de nivel.	Desplazadores	Suma +1	Ponderado
Sensor con electrosonda		1	1	3	0,500
Sensor flotante de nivel.	0		0,5	1,5	0,250
Desplazadores	0	0,5		1,5	0,250
			Suma	6	1

Tabla 4.9: Evaluación de candidatos de acuerdo al criterio: Toma de datos continuos. Fuente Propia

$1 = 3 > 2$

Toma de datos continuo	Sensor con electrosonda	Sensor flotante de nivel.	Desplazadores	Suma +1	Ponderado
Sensor con electrosonda		1	0,5	2,5	0,417
Sensor flotante de nivel.	0		0	1	0,167
Desplazadores	0,5	1		2,5	0,417
			Suma	6	1

4.2.2. SELECCIÓN DEL ENCODER

El sensor de nivel se eligió tomando en cuenta el siguiente listado de criterios:

- Cambio el giro. El encoder debe permitir determinar la dirección del giro y el cambio de dicha dirección.
- Costo. El costo debe ser el mínimo ya que los proyectistas corren con los gastos de la compra.
- Mantenimiento. Debe permitir fácil montaje y desmontaje para realizar actividades limpieza.
- Precisión. Las medidas determinadas por el sensor deben ser siempre optimas su error debe ser el menor posible teniendo en cuenta las que se utilizan para realizar gráficas altura vs caudal y rendimiento vs caudal a diferentes revoluciones.

- Resolución. Esta propiedad en un encoder depende del número de impulsos por revolución permitiendo por tanto determinar desplazamientos angulares menores.
- Robustez. El encoder se montará en un motor de eje visto por tanto debe resistir las posibles golpes y vibraciones.

4.2.2.1. DESCRIPCIÓN DE LOS CANDIDATOS.

4.2.2.1.1. ENCODER ABSOLUTO

Según la posición del disco, la luz emitida por cada emisor se enfrentará a un sector opaco transparente, en la figura 4.3 se observa la configuración de un encoder absoluto.

- Si se enfrenta a un sector opaco, la luz se refleja y el receptor recibe la señal.
- Si se enfrenta a un sector transparente, la luz no se refleja y el receptor no recibe la señal.

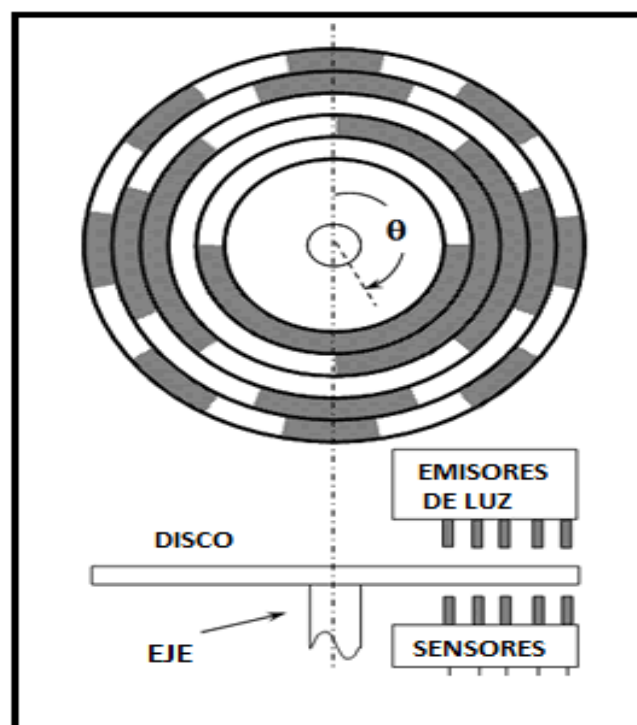


Figura 4-3: Encoder absoluto. Fuente Propia.

Las diferentes combinaciones posibles de sectores dan origen a una señal de salida digital formada por cuatro bits que puede ser posteriormente procesada.

4.2.2.1.2. ENCODER INCREMENTAL

Este tipo de Encoder se caracteriza porque determina su posición, contando el número de impulsos que se generan cuando un rayo de luz, es atravesado por marcas opacas en la superficie de un disco unido al eje.

En el estator hay como mínimo dos pares de foto receptores ópticos, escalados un número entero de pasos más $\frac{1}{4}$ de paso. Al girar el rotor genera una señal cuadrada, el escalado hace que las señales tengan un desfase de $\frac{1}{4}$ de periodo si el rotor gira en un sentido y de $\frac{3}{4}$ si gira en el sentido contrario, lo que se utiliza para discriminar el sentido de giro, en la figura 4.4 se observa el encoder incremental.

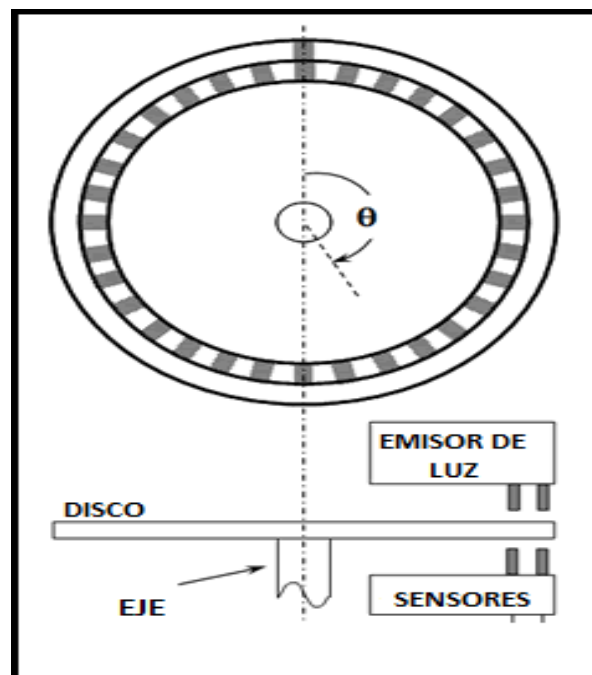


Figura 4-4: Encoder Incremental. Fuente Propia.

En las tablas 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16 y 4.17 se determina la selección de la mejor alternativa de acuerdo al método de evaluación de soluciones.²²

Tabla 4.10: Evaluación del peso específico de los criterios para la selección del encoder. Fuente Propia

Evaluación de criterios: *Precisión > Costo > Mantenimiento > Resolución > Cambio de Giro > Robustez*

	Cambio de Giro	Costo	Precisión.	Resolución	Robustez	Suma +1	Ponderado
Cambio de Giro		0	0	0	1	2	0,105
Costo	1		0	1	0	4	0,211
Mantenimiento	1	0	0	1	1	3,5	0,184
Precisión.	1	1		1	1	5,5	0,289
Resolución	1	0	0		1	3	0,158
Robustez	0	0	0	0		1	0,053
					Suma	19	1

Tabla 4.11. Conclusión de la evaluación (Resumen de resultados en base a tablas de evaluación subsiguientes). Fuente Propia

Conclusión	Cambio de Giro	Costo	Precisión.	Resolución	Robustez	Suma	Prioridad
Encoder absoluto	0,053	0,070	0,096	0,105	0,026	0,443	2
Encoder incremental	0,053	0,140	0,193	0,053	0,026	0,557	1

Tabla 4.12: Evaluación de candidatos de acuerdo al criterio: Cambio de Giro. Fuente Propia

1 = 2

Cambio de Giro	Encoder absoluto	Encoder incremental	Suma +1	Ponderado
Encoder absoluto		0,5	1,5	0,500
Encoder incremental	0,5		1,5	0,500
		Suma	3	1,000

Tabla 4.13: Evaluación de candidatos de acuerdo al criterio: Costo. Fuente Propia

2 > 1

Costo	Encoder absoluto	Encoder incremental	Suma +1	Ponderado
Encoder absoluto		0	1	0,333
Encoder incremental	1		2	0,667
		Suma	3	1,000

Tabla 4.14: Evaluación de candidatos de acuerdo al criterio: Mantenimiento. Fuente Propia.

1 = 2

Mantenimiento	Encoder absoluto	Encoder incremental	Suma +1	Ponderado
Encoder absoluto		0,5	1,5	0,500
Encoder incremental	0,5		1,5	0,500
		Suma	3	1

Tabla 4.15: Evaluación de candidatos de acuerdo al criterio: Precisión. Fuente Propia

2 > 1

Precisión.	Encoder absoluto	Encoder incremental	Suma +1	Ponderado
Encoder absoluto		0	1	0,333
Encoder incremental	1		2	0,667
		Suma	3	1

Tabla 4.16: Evaluación de candidatos de acuerdo al criterio: Resolución. Fuente Propia

$1 > 2$

Resolución	Encoder absoluto	Encoder incremental	Suma +1	Ponderado
Encoder absoluto		1	2	0,667
Encoder incremental	0		1	0,333
		Suma	3	1

Tabla 4.17: Evaluación de candidatos de acuerdo al criterio: Robustez. Fuente Propia

$1 = 2$

Robustez	Encoder absoluto	Encoder incremental	Suma +1	Ponderado
Encoder absoluto		0,5	1,5	0,500
Encoder incremental	0,5		1,5	0,500
		Suma	3	1

4.2.3. SELECCIÓN DEL CONTROLADOR PROGRAMABLE

El PLC se eligió tomando en cuenta el siguiente listado de criterios:

- Acceso a la información para programar el PLC. La cantidad de información que se pueda obtener a través de catálogos, informes y experiencias de personas relacionadas con la programación de PLC's facilita el trabajo de programación y permite solventar las dificultades eficientemente.
- Cantidad de entradas y salidas. La determinación de entradas y salidas requeridas es típicamente el primer paso en la selección de un controlador. Una vez que la decisión para automatizar una máquina o proceso, la determinación de la cantidad de entradas y salidas es simplemente una tarea de contabilizar los dispositivos discretos y analógicos que serán monitoreados o controlados. Esta contabilización ayudará a identificar el

tamaño mínimo del PLC. Se debe recordar que el controlador debería permitir futuras expansiones y reposiciones, en el orden del 10% al 20%.

- Capacidad de Memoria. La cantidad de memoria requerida para una aplicación dada es una función del número de entradas y salidas a ser controladas y de la complejidad del programa de control. La complejidad se refiere a la cantidad y tipo de funciones aritméticas y de manipulación de datos que el PLC llevará a cabo.
- Compatibilidad con HMI. El PLC seleccionado debe permitir una conexión adecuada utilizando la menor cantidad de recursos económicos y tecnológicos para que el proyecto no se complique en la etapa de montaje ni que los costos se eleven por la compra de cables, módulos o programas de conexión adicionales.
- Costo. El costo debe ser el mínimo ya que los proyectistas corren con los gastos del trabajo.
- Integración de módulos adicionales. La necesidad de que el proceso de automatización se la bomba centrífuga continúe exige que el PLC seleccionado tenga cuatro entradas analógicas o en su defecto soporte la integración de un módulo analógico adicional

4.2.3.1. DESCRIPCIÓN DE LOS CANDIDATOS

4.2.3.1.1. PLC ALLEN BRADLEY 1763-L16BBB

En la figura 4.5 se observa una fotografía del PLC ALLEN BRADLEY 1763-L16BBB y sus características principales se encuentran en la tabla 4.18.



Figura 4-5: PLC ALLEN BRADLEY 1763-L16BBB.²³

Tabla 4.18: Características de PLC ALLEN BRADLEY 1763-L16BBB.²⁴

Función	1763-L16BBB	
Voltaje de activación	24 VDC (-15%, +10%)	
Amperaje máx.	15 A durante 20 ms	
Entradas	Digitales	<ul style="list-style-type: none"> · 6 entradas de 10 a 24 VDC · 4 entradas de alta velocidad de 10 a 24 VDC. 8.5 mA a 24 VDC
	Analógicas	<ul style="list-style-type: none"> · 2 entradas de voltaje (de 0 a 10 VDC)
Salidas	Digitales	<ul style="list-style-type: none"> · 2 salidas de relé · 2 salidas FET de 24 VDC · 2 salidas FET de alta velocidad de 24 VDC Corriente continua máx: 5A
Puertos de comunicación	<ul style="list-style-type: none"> · 1 puerto RS-232/485 combinado. · 1 puerto para Ethernet 	
Temperatura de operación	-20°C a +65°C	

²³ <http://distics.com/view>.

²⁴ CRUZ, PROAÑO, (2009), "Diseño Programación y construcción del control de un sistema hidráulico de nivel utilizando un autómata programable cumpliendo la norma iec1131", Escuela Politécnica Nacional, Pág. 86 y 87.

4.2.3.1.2. PLC SIEMENS S7-1200

En la figura 4.6 se observa una fotografía del PLC SIEMENS S7-1200y sus características principales se encuentran en la tabla 4.19.



Figura 4-6: PLC SIEMENS S7-1200.²⁵

Tabla 4.19: Características de PLC SIEMENS S7-1200.²⁶

Función	CPU S7-1200
Tamaño físico	90 mm x 100 mm x 75 mm
<ul style="list-style-type: none"> · Memoria de trabajo · Memoria de carga · Memoria remanente 	<ul style="list-style-type: none"> · 25 KB · 1 MB · 2 KB
<ul style="list-style-type: none"> · E/S digitales integradas · E/S analógicas integradas 	<ul style="list-style-type: none"> · 8 entradas y 6 salidas · 2 entradas
<ul style="list-style-type: none"> · Memoria imagen de proceso (entradas) · Memoria imagen de proceso (salidas) · Área de marcas (M) 	<ul style="list-style-type: none"> · 1024 bytes · 1024 bytes · 4096 bytes
<ul style="list-style-type: none"> · Temperatura de operación 	<ul style="list-style-type: none"> · -20°C a +65°C

²⁵ <http://es.rs-online.com>

²⁶ <https://www.swe.siemens.com/spain/>

4.2.3.1.3. PLC THINGET XC3 -14

En la figura 4.7 se observa una fotografía del PLCTHINGET XC3 -16y sus características principales se encuentran en la tabla 4.20.



Figura 4-7: PLCTHINGET XC3 -16.²⁷

Tabla 4.20: Características de PLCTHINGET XC3 -14.²⁸

Función	CPU XC3 -14
Voltaje de entrada	DC 24V±10%
Señal de corriente de entrada	7mA/DC24V
Sobre entrada amperaje	Hasta 4.5mA
Entrada de corriente	Bajo 1.5mA
Tiempo de respuesta a la entrada	Sobre 10ms
Señal de entrada	Entrada de contacto o NPN normalmente SOBRE transistor.
Aislamiento del Circuito	Óptico
La Entrada Activa el display	LED se enciende cuando la entrada se prende

En las tablas 4.21, 4.22, 4.23, 4.24, 4.25, 4.26, 4.27 y 4.28 se determina la selección de la mejor alternativa de acuerdo al método de evaluación de soluciones.²²

²⁷ <http://wxlotus.en.made-in-china.com>

²⁸ <http://xinjemkpl.en.makepolo.com>

Tabla 4.21. Evaluación del peso específico de los criterios para la selección del Controlador Programable. Fuente Propia.

Evaluación de criterios: *Compatibilidad con el HMI* > *Integración módulos* > *Capacidad de memoria* > *Cantidad entradas y salidas* = *Costo* > *Acceso información*

	Acceso información	Cantidad entradas y salidas	Capacidad de memoria	Compatibilidad con el HMI	Costo	Integración módulos	Suma +1
Acceso información		0,5	0	0	0,5	0	2
Cantidad entradas y salidas	0,5		0,5	0	0,5	0,5	3
Capacidad de memoria	1	0,5			0,5	1	4
Compatibilidad con el HMI	1	1	1		1	1	6
Costo	0,5	0,5	0,5	0		0	2,5
Integración módulos	1	0,5	0	0	1		3,5
						Suma	15,5

Tabla 4.22: Conclusión de la evaluación (Resumen de resultados en base a tablas de evaluación subsiguientes). Fuente Propia.

Conclusión	Acceso información	Cantidad entradas y salidas	Capacidad de memoria	compatibilidad con el HMI	Costo	Suma	Prioridad
PLC Allen Bradley	0,064	0,080	0,077	0,096	0,064	0,429	2
PLC SIEMENS	0,064	0,080	0,115	0,192	0,032	0,532	1
PLC THINGET	0,026	0,032	0,038	0,096	0,096	0,308	3

Tabla 4.23: Evaluación de candidatos de acuerdo al criterio: Acceso a la información para programar el PLC. Fuente Propia.

$$3 = 2 > 1$$

Acceso información	PLC Allen Bradley	PLC SIEMENS	PLC THINGET	Suma +1	Ponderado
PLC Allen Bradley		0,5	1	2,5	0,417
PLC SIEMENS	1		0,5	2,5	0,417
PLC THINGET	0	0		1	0,167
			Suma	6	1

Tabla 4.24: Evaluación de candidatos de acuerdo al criterio: Cantidad entradas y salidas. Fuente Propia.

$$1 = 2 > 3$$

Cantidad entradas y salidas	PLC Allen Bradley	PLC SIEMENS	PLC THINGET	Suma +1	Ponderado
PLC Allen Bradley		0,5	1	2,5	0,417
PLC SIEMENS	0,5		1	2,5	0,417
PLC THINGET	0	0		1	0,167
			Suma	6	1,000

Tabla 4.25: Evaluación de candidatos de acuerdo al criterio: Capacidad de memoria. Fuente Propia.

$$2 > 1 > 3$$

Capacidad de memoria	PLC Allen Bradley	PLC SIEMENS	PLC THINGET	Suma +1	Ponderado
PLC Allen Bradley		0	1	2	0,333
PLC SIEMENS	1		1	3	0,500
PLC THINGET	0	0		1	0,167
			Suma	6	1,000

Tabla 4.26: Evaluación de candidatos de acuerdo al criterio: Compatibilidad con el HMI. Fuente Propia.

$$2 > 1 = 3$$

Compatibilidad con el HMI	PLC Allen Bradley	PLC SIEMENS	PLC THINGET	Suma +1	Ponderado
PLC Allen Bradley		0	0,5	1,5	0,250
PLC SIEMENS	1		1	3	0,500
PLC THINGET	0,5	0		1,5	0,250
			Suma	6	1

Tabla 4.27: Evaluación de candidatos de acuerdo al criterio: Costo. Fuente Propia.

3 > 1 > 2

Costo	PLC Allen Bradley	PLC SIEMENS	PLC THINGET	Suma +1	Ponderado
PLC Allen Bradley		1	0	2	0,333
PLC SIEMENS	0		0	1	0,167
PLC THINGET	1	1		3	0,500
			Suma	6	1

Tabla 4.28: Evaluación de candidatos de acuerdo al criterio: Integración módulos adicionales. Fuente Propia.

1=2 > 3

Integración módulos	PLC Allen Bradley	PLC SIEMENS	PLC THINGET	Suma +1	Ponderado
PLC Allen Bradley		0,5	1	2,5	0,417
PLC SIEMENS	0,5		1	2,5	0,417
PLC THINGET	0	0		1	0,167
			Suma	6	1

4.2.4. SELECCIÓN DE LA PANTALLA HMI

La pantalla HMI se eligió tomando en cuenta el siguiente listado de criterios:

- Acceso a la información para programar la pantalla HMI. La cantidad de información que se pueda obtener a través de catálogos, informes y experiencias de personas relacionadas con la programación de la interfaz facilita el trabajo de programación y permite solventar las dificultades eficientemente.
- Conectividad. Para que el transporte de datos en la etapa de programación, etapa de pruebas y en la etapa de operación es fundamental que la conexión entre la pantalla y el PLC seleccionado sea fácil con el uso de protocolos ampliamente difundidos y cables accesibles en el mercado.
- Costo. El costo debe ser el mínimo ya que los proyectistas corren con los gastos de la compra.

- Interfaz amigable con el usuario. Para el proceso de programación, ejecución y repotenciación mediante sensores analógicos de presión se requiere que el programa que crea la interfaz con el usuario sea ampliamente difundida y de fácil operación para evitar dificultades futuras por desactualización del software de la pantalla elegida.
- Visualización de curvas obtenidas. La supervisión de las curvas obtenidas en el proceso y verificadas en la Pantalla por el usuario del equipo debe ser clara sin lugar a interpretaciones erróneas por circunstancias tales como el tamaño de la pantalla definición y acceso a escalas reales.

4.2.4.1. DESCRIPCIÓN DE LOS CANDIDATOS

4.2.4.1.1. Pantalla HMI prestada

Por el Laboratorio de Automatización Industrial de Procesos Mecánicos y corresponde a la marca THINGET, modelo: MP 760, tamaño display 480 x 234 pixeles, 7 pulgadas, memoria Flash ROM 4mb y memoria RAM 4 Kb, una fotografía del HMI se encuentra en la figura 4.8 y sus características en la tabla 4.29.



Figura 4-8 HMI THINGET, modelo: MP 760.²⁹

²⁹ http://www.pakplc.com/HMI/MP/MP_page.htm

Tabla 4.29: Tabla de especificaciones generales HMI THINGET, modelo: MP 760.³⁰

ESPECIFICACIONES GENERALES	
Voltaje de entrada	AC220V
Energía consumida	Bajo 10W (TYP2.0W)
Tiempo de activación	Menor que 20ms
Voltaje máximo soportado	AC1000V-10mA 1min. (entre señal y tierra)
Resistencia aislada	DC500V--about10M Ω (entre señal y tierra)
Temperatura de operación	0~50°C
Temperatura de almacenamiento	-10~60°C
Humedad ambiental	20~85% (sin rocío)
Vibración máxima soportada	10~25Hz (X, Y, Z cada dirección 30 min.2G)
Atmosfera circundante	Gases no corrosivos

4.2.4.1.2. Pantalla HMI nueva SIMATIC HMI IPC277D

Principales características del HMI SIMATIC HMI IPC277D (en la figura 4,9 se observa una fotografía del equipo y en la tabla 4.30 se numeran diversos datos técnicos del equipo).

- Flexibilidad al seleccionar frentes de pantalla panorámica robustos de 7 a 12 pulgadas para más superficie de pantalla configurable libremente.
- Alta resolución, gran ángulo de visión y hasta un 100% de retro iluminación variable para una representación de alta calidad con un consumo de potencia optimizado con tareas de visualización y control sencillo.

³⁰<http://wxlotus.en.made-in-china.com/>

- No es necesario ningún mantenimiento gracias al uso de Compact Flash y SSD como memoria de masa, y al funcionamiento sin ventilador hasta una temperatura ambiente de 50 °C.
- Sistemas listos para conectar con software de visualización y/o de control.



Figura 4-9: SIMATIC HMI IPC277D³¹

Tabla 4.30: Tabla de especificaciones generales HMI SIMATIC IPC277D³²

HMI IPC577C con procesadores Intel Core 2 Duo	
Sistemas operativos disponibles (ya instalados y activados)	Windows Embedded Standard 2009, Windows Embedded Standard 7, Windows 7 Ultimate
Medios de almacenamiento disponibles	HDD de 250 GB, SSD de 32 GB, 1 tarjeta CF de hasta 8 GB sustituible desde fuera
Conectividad a red	2 Gigabit Ethernet 1 MPI/PROFIBUS (opcional) 1 PROFINET (3 puertos, opcional)
Expansibilidad con tarjetas	1 PCI
Memoria permanente integrada	SRAM de 2 MB respaldada por batería, de ellos 128 KB utilizables para Win AC
Calado	A partir de 84 mm (incl. DVD-R/W)
Aptitud para uso industrial	
Choques/vibraciones	5g/0,5g
Temperatura ambiente	5 ... 45 °C (o bien 5 ... 50 °C en el lugar de montaje, si en el frente no se superan los 40 °C)

³¹ <http://www.automation.siemens.com>

³² <https://www.swe.siemens.com/spain>

4.2.4.1.3. Pantalla de PC usada.

Con el propósito de utilizar y re potenciar elementos que se encuentran en desuso en la Facultad de Ingeniería Mecánica se presenta como alternativa de pantalla HMI una computadora PC, convenientemente acoplada al sistema de control.

En las tablas 4.31, 4.32, 4.33, 4.34, 4.35, 4.36 y 4.37 se determina la selección de la mejor alternativa de acuerdo al método de evaluación de soluciones.²²

Tabla 4.31. Evaluación del peso específico de los criterios para la selección de la Pantalla HMI. Fuente Propia.

Evaluación de criterios: *Interfaz amigable > Visualización de curvas > Acceso información = Conectividad = Costo*

	Acceso información	Conectividad	Costo	Interfaz amigable	Visualización de curvas	Suma +1	Ponderado
Acceso información		0,5	0,5	0	0	2,0	0,154
Conectividad.	0,5		0,5	0	0	2,0	0,154
Conectividad.	0,5	0,5		0	0	2,0	0,154
Interfaz amigable	1	1	1		1	5,0	0,385
Visualización de curvas	1	1	1	0		4,0	0,308
					Suma	13	1

Tabla 4.32: Conclusión de la evaluación (Resumen de resultados en base a tablas de evaluación subsiguientes). Fuente Propia.

Conclusión	Acceso información	Conectividad.	Costo	Interfaz amigable	Visualización de curvas	Suma	Prioridad
Pantalla HMI prestada	0,026	0,038	0,077	0,064	0,051	0,231	2
Pantalla HMI nueva	0,064	0,038	0,026	0,160	0,128	0,353	1
Pantalla PC usada	0,064	0,077	0,051	0,160	0,128	0,417	3

Tabla 4.33: Evaluación de candidatos de acuerdo al criterio: Acceso a la información para programar la pantalla HMI. Fuente Propia.

$$3 = 2 > 1$$

Acceso información	Pantalla HMI prestada	Pantalla HMI nueva	Pantalla PC usada	Suma +1	Ponderado
Pantalla HMI prestada		0	0	1	0,167
Pantalla HMI nueva	1		0,5	2,5	0,417
Pantalla PC usada	1	0,5		2,5	0,417
			Suma	6	1

Tabla 4.34: Evaluación de candidatos de acuerdo al criterio: Conectividad. Fuente Propia.

$$3 > 2 = 1$$

Conectividad.	Pantalla HMI prestada	Pantalla HMI nueva	Pantalla PC usada	Suma +1	Ponderado
Pantalla HMI prestada		0,5	0	1,5	0,250
Pantalla HMI nueva	0,5		0	1,5	0,250
Pantalla PC usada	1	1		3	0,500
			Suma	6	1

Tabla 4.35: Evaluación de candidatos de acuerdo al criterio: Costo. Fuente Propia.

$$1 > 3 > 2$$

Costo	Pantalla HMI prestada	Pantalla HMI nueva	Pantalla PC usada	Suma +1	Ponderado
Pantalla HMI prestada		1	1	3	0,500
Pantalla HMI nueva	0		0	1	0,167
Pantalla PC usada	0	1		2	0,333
			Suma	6	1

Tabla 4.36: Evaluación de candidatos de acuerdo al criterio: Interfaz amigable con el usuario. Fuente Propia.

$$2 = 3 > 1$$

Interfaz amigable	Pantalla HMI prestada	Pantalla HMI nueva	Pantalla PC usada	Suma +1	Ponderado
Pantalla HMI prestada		0	0	1	0,167
Pantalla HMI nueva	1		0,5	2,5	0,417
Pantalla PC usada	1	0,5		2,5	0,417
			Suma	6	1

Tabla 4.37: Evaluación de candidatos de acuerdo al criterio: Visualización de curvas obtenidas. Fuente Propia.

$$2 = 3 > 1$$

Visualización de curvas	Pantalla HMI prestada	Pantalla HMI nueva	Pantalla PC usada	Suma +1	Ponderado
Pantalla HMI prestada		0	0	1	0,167
Pantalla HMI nueva	1		0,5	2,5	0,417
Pantalla PC usada	1	0,5		2,5	0,417
			Suma	6	1

4.3. COSTOS DEL PROYECTO

Tabla 4.38: Tabla de costos de herramientas, materiales e insumos. Fuente Propia.

Ítem	Descripción	Unidad	Cant.	Unitario	Total	Lugar de Compra
1	Abrazaderas 3/4	U	4	0,35	1,40	Kiwy
2	Botonera 220V, Marcha /Paro(U	1	4,02	4,02	Siec
3	Breaker bifásico, 220V, 2(A)	U	1	9,51	9,51	Induelec
4	Breaker bifásico, 220V, 30(A)	U	1	10,46	10,46	Induelec
5	Brocha 1/4	U	1	1,50	1,50	Kiwy
6	Cable #10awg, 2x1	m	10	2,53	25,30	Kiwy
7	Cable #18awg, blanco	m	10	0,18	1,80	Kiwy
8	Cable #18awg, negro	m	10	0,18	1,80	Kiwy
9	Cable #18awg,rojo	m	10	0,18	1,80	Kiwy
10	Cable Ethernet	m	5	1,50	7,50	Siec
11	Caja de Revisión	U	1	27,75	27,75	Kiwy
12	Contactador trifásico, 220V,AC3, 20(A)	U	1	25,00	25,00	Siec
13	PLC 1212C AC	U	1	420,00	420,00	INASEL Cia Ltda.
14	Electrodo 10 11	Libra	1	3,00	3,00	
15	ELECTROSONDA	U	3	5,00	15,00	INASEL Cia Ltda.
16	ENCODER HE50B	U	1	165,00	165,00	INASEL Cia Ltda.
17	Frascos de mercurio 12 gramos	U	2	10,00	20,00	OdontoMac
18	Guarda motor trifásico, 220V,AC3, 18(A)	U	1	165,00	165,00	INASEL Cia Ltda.
19	Indicador de Amperaje	U	1	7,00	7,00	Induelec
20	Juego de Brocas 1/16 a 1/2	U	1	10,50	10,50	Ferrisariato
21	Llaves bronce 1 1/2	U	6	3,50	21,00	Ferrisariato
22	Luz Piloto amarilla,220V, tipo led	U	1	2,15	2,15	Siec
23	Luz Piloto rojo,220V, tipo led	U	1	2,15	2,15	Siec
24	Luz Piloto verde,220V, tipo led	U	1	2,15	2,15	Siec
25	Manguera tipo acorden	U	5	0,30	1,50	Kiwy
26	Pernos inoxidables 1/8	m ²	1	8,00	8,00	Castillo Hermanos
27	Pernos inoxidables 3/16	U	4	0,30	1,20	Castillo Hermanos
28	Pintura 1/4 celeste esmalte	U	4	0,45	1,80	Castillo Hermanos
29	Plancha acetato	Litros	1	2,50	2,50	Kiwy
30	Pulsador Doble	U	1	1,79	1,79	Siec
31	Riel DIN	m	1	1,95	1,95	Induelec
32	Sellante polipropileno	U	2	3,14	3,14	INASEL Cia Ltda.
33	SUPERVISOR DE NIVEL	U	1	55,00	110,00	Kiwy
34	Switchon/off, 220V	U	1	1,50	1,50	Siec
35	Switch tipo llave 2 posiciones, 220V	U	1	4,02	4,02	Siec
36	Teflón	U	4	0,35	1,40	Kywi
37	Thiner	Litro	1	2,00	2,00	Pintulac

38	Tira fondos	U	4	0,15	0,60	Kywi
39	Tornillo	U	8	0,15	1,20	Kywi
40	Tornillo inc. tuerca	U	8	0,25	2,00	Kywi
41	Tubería Pírex ϕ 14 mm	1.5 m	2	15,00	30,00	Saigon
					Subtotal (USD)	1138,99
					IVA (12%) (USD)	136,68
					Total (USD)	1275,67

Tabla 4.39: Gastos Administrativos. Fuente Propia.

Ítem	Descripción	Unidad	Cant.	Unitario	Total	Lugar de Compra
1	Papel Bond 75 g. 500 u	U	3	3	9,0	DILIPA
2	Copiado documentos	U	1000	0,03	30,0	Copiadora AEIM
3	Anillado de documentos	U	4	2	8,0	Copiadora AEIM
4	Impresiones	U	1000	0,05	50,0	Copiadora AEIM
5	Ploteado B/N Formato varios	U	24	0,8	19,2	Copiadora AEIM
	Honorarios pre profesionales	U	2	1188	2376,0	
					Subtotal (USD)	2492,2
					IVA (12%) (USD)	299,09
					Total (USD)	2791,29

Tabla 4.40: Costos totales. Fuente Propia.

Ítem	Costo Unitario
Costos de herramientas, materiales e insumos	1275,67
Gastos Administrativos	2791,29
Total (USD)	4066,93

CAPÍTULO 5

5. PROGRAMACIÓN DEL CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE: SIMATIC S7 – 1200 SIEMENS

5.1. INFORMACIÓN BÁSICA DE LA CPU

La CPU S7-1200 es un potente controlador que incorpora una fuente de alimentación y distintos circuitos de entrada y salida integrados. Una vez cargado el programa en la CPU, ésta vigila las entradas y cambia el estado de las salidas según la lógica del programa de usuario, que puede incluir lógica booleana, contadores, temporizadores y operaciones matemáticas complejas.

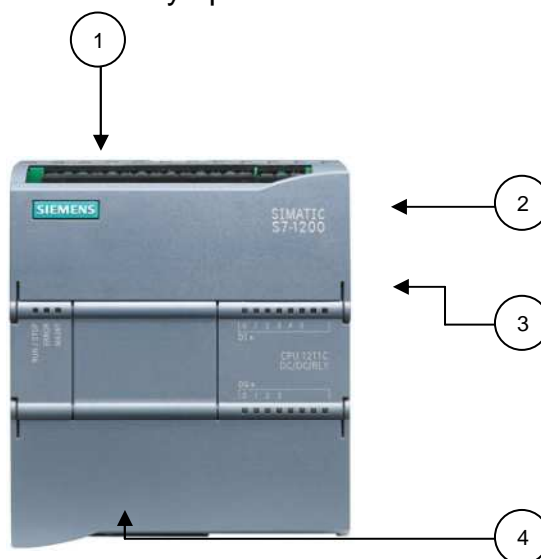


Figura 5-1: SIMATIC S7 – 1200. Fuente Propia.

En la figura 5.1 se observan las partes principales del PLC SIMATIC S7-1200

1. Conector de alimentación
2. Conectores extraíbles para cableado de usuario (detrás de las tapas)
3. LED's de estado para las E/S integradas
4. Conector PROFINET (en el lado inferior de la CPU)

Para comunicarse con una programadora, la CPU dispone de un puerto PROFINET integrado. La CPU puede comunicarse con paneles HMI o una CPU diferente en la red PROFINET.

5.1.1. ÁREAS DE MEMORIA DEL S7-1200

La CPU ofrece distintas áreas de memoria, incluyendo entradas (I), salidas (Q), marcas (M), bloque de datos (DB) y memoria temporal o local (L). El programa de usuario accede a los datos almacenados en estas áreas de memoria. Cada posición de memoria tiene una dirección unívoca. El programa de usuario utiliza estas direcciones para acceder a la información de la posición de memoria, en la tabla 5.1 se encuentra la descripción de las áreas de memoria del S7 - 1200 .

Tabla 5.1: Áreas de memoria en el PLC S7 1200. Fuente Propia.

Área de memoria	Descripción
(I) Memoria imagen de proceso de las entradas	La CPU copia el estado de las entradas físicas en la memoria I al comienzo del ciclo. Para el acceso inmediato o forzado permanente de las entradas físicas es preciso añadir ":P" a la dirección o variable (p. ej. "Start:P" o I0.3:P).
(Q) Memoria imagen de proceso de las salidas	La CPU copia el estado de la memoria Q en las salidas físicas al comienzo del ciclo. Para el acceso inmediato o forzado permanente de las salidas físicas es preciso añadir ":P" a la dirección o variable (p. ej. "Stop:P" o Q0.3:P).
(M) Área de marcas	El programa de usuario lee y escribe los datos almacenados en la memoria M. Cualquier bloque lógico puede acceder a la memoria M. Es posible configurar direcciones en la memoria M para conservar los valores de los datos tras desconectar y volver a conectar la alimentación.
(L) Memoria temporal	Cada vez que se llama un bloque lógico, la CPU asigna la memoria temporal o local (L) que debe utilizarse durante la ejecución del bloque. Cuando finaliza la ejecución del bloque lógico, la CPU reasigna la memoria local para la ejecución de otros bloques lógicos.
(DB) Bloque de datos	Los bloques de datos se utilizan para almacenar diferentes tipos de datos, incluyendo el estado intermedio de una operación u otra información de control, parámetros de FBs, así como estructuras de datos requeridas para numerosas instrucciones, p. ej. Temporizadores y contadores. Es posible determinar que un bloque de datos sea de lectura/escritura o de sólo lectura. A los bloques de datos se puede acceder en formato de bits, bytes, palabras o palabras dobles. Los accesos tanto de lectura como de escritura están permitidos para los bloques de datos de lectura/escritura. A los bloques de datos de sólo lectura se permiten sólo los accesos de lectura.

5.2. FUNCIONES BÁSICAS DE STEP 7 BASIC

STEP 7 Basic proporciona un entorno de fácil manejo para configurar la lógica del controlador SIMATIC S7 – 1200 SIEMENS. Para aumentar la productividad, STEP 7 Basic ofrece dos vistas diferentes del proyecto: Distintos portales orientados a tareas y organizados según las funciones de las herramientas (vista del portal) o una vista orientada a los elementos del proyecto (vista del proyecto). El usuario puede seleccionar la vista que considere más apropiada para trabajar eficientemente.

La vista del proyecto proporciona una vista funcional de las tareas del proyecto y organiza las herramientas de acuerdo con la tarea que se va a realizar. Es posible determinar fácilmente el procedimiento y la tarea que se debe seleccionar, en la figura 5.2 se tienen los principales vistas del Step 7 Basic.

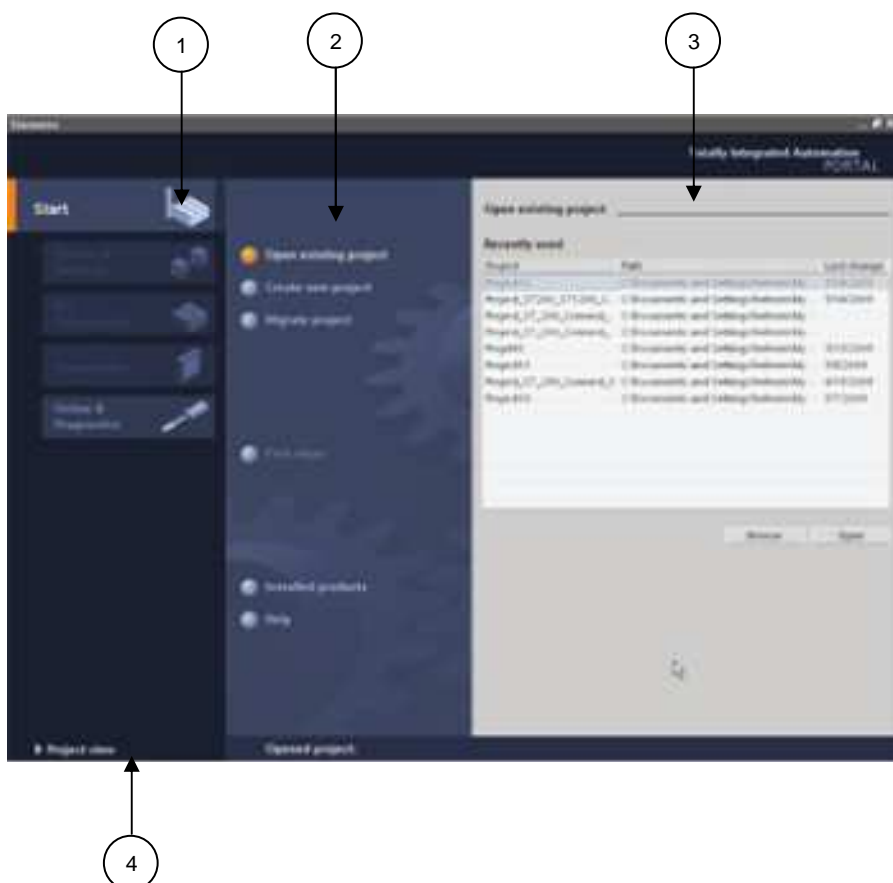


Figura 5-2: Funciones básica de STEP 7 Basic. Fuente Propia.

1. Portales para las diferentes tareas.
2. Tareas del portal seleccionado.
3. Panel de selección para la acción seleccionada.

4. Cambia a la vista del proyecto.

La vista del proyecto proporciona acceso a todos los componentes del proyecto como se observa en la figura 5.3.

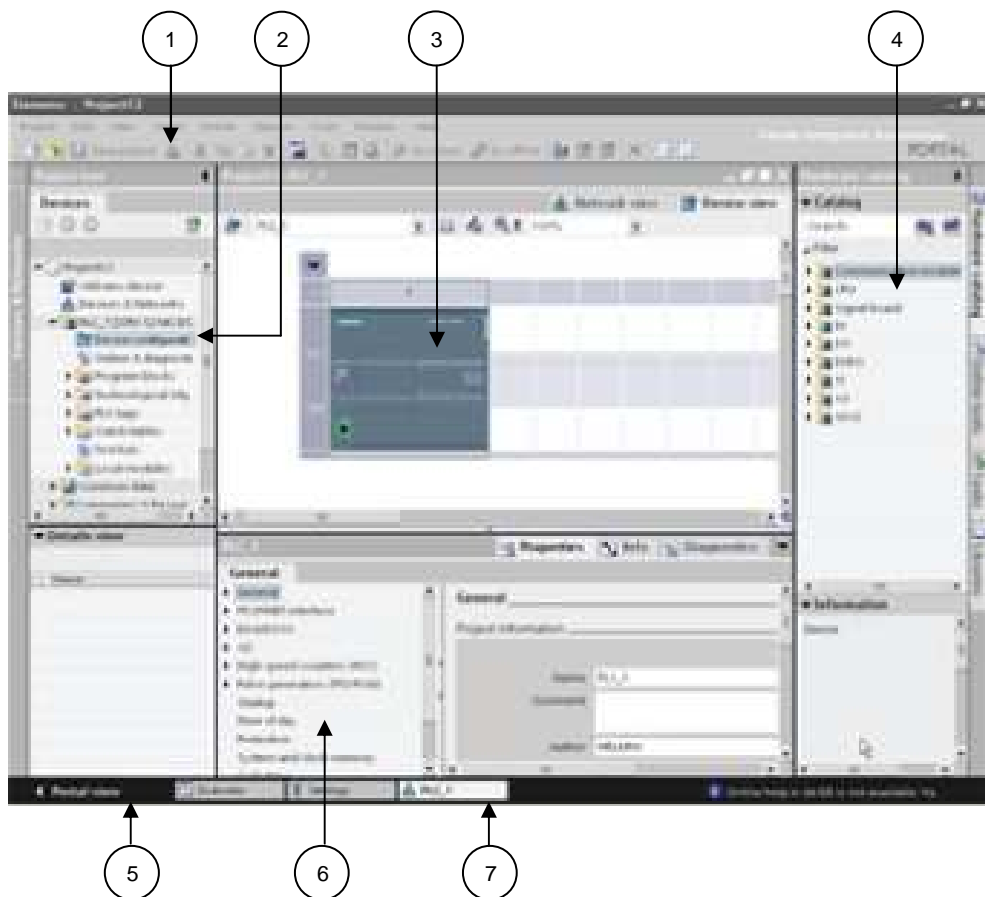


Figura 5-3: Pantalla de Proyectos en s7-1200. Fuente Propia.

1. Menús y barra de herramientas.
2. Árbol del proyecto.
3. Área de trabajo.
4. TaskCards.
5. Cambia a la vista del portal.
6. Ventana de inspección.
7. Barra del editor .

Puesto que todos estos componentes se encuentran en un solo lugar, es posible acceder fácilmente a todas las áreas del proyecto. La ventana de inspección, por ejemplo, muestra las propiedades e información acerca del

objeto seleccionado en el área de trabajo. Si seseleccionan varios objetos, la ventana de inspección muestras las propiedades que pueden configurarse. La ventana de inspección incluye fichas que permiten ver información dediagnóstico y otros mensajes.

La barra de editores agiliza el trabajo y mejora la eficiencia, ya que muestra todos loseditores que están abiertos.

5.2.1. CREAR UN PROYECTO PARA EL PROGRAMA DE USUARIO

Un proyecto en STEP7 Basic es creado al abrir STEP 7 Basic, se hace clic en "Crear proyecto" en el portal de inicio, para iniciar la programación como se observa en la figura 5.4.



Figura 5-4: Crear proyecto en s7-1200. Fuente Propia.

Para crear un programa de usuario STEP 7 Basic se crea el bloque lógico "Main" para el programa de usuario y se abre el portal "Programación PLC" como se observa en la figura 5.5 y 5.6, donde se puede insertar las diferentes instrucciones del programa.



Figura 5-5: Ubicación de un Main. Fuente Propia.

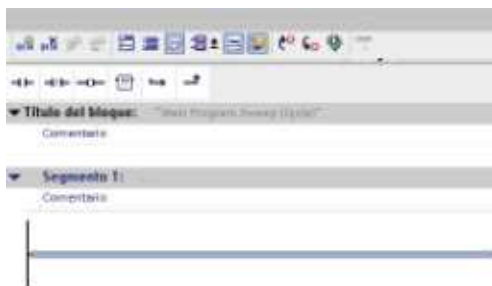


Figura 5-6: Creación bloque lógico Main. Fuente Propia.

5.2.1.1. INSERTAR INSTRUCCIONES

Para insertar las diferentes instrucciones se arrastra el comando desde el árbol de instrucciones STEP 7 Basic para el programa. Las instrucciones se agrupan según su función.

Para crear el programa, las instrucciones se arrastran desde la "TaskCard" hasta un segmento igual que en la figura 5.7.

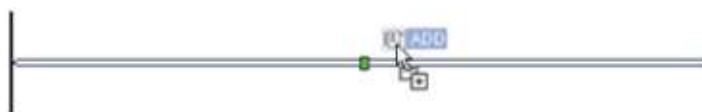


Figura 5-7: Arrastre de instrucciones hasta un segmento. Fuente Propia.

STEP 7 Basic ofrece una barra de herramientas "Favoritos" que permite acceder rápidamente a las instrucciones utilizadas con mayor frecuencia.

Sólo se tiene que hacer clic en el icono de la instrucción para insertar en el segmento. (O bien, hacer doble clic si se utiliza los "Favoritos" ubicados en la "TaskCard" Instrucciones".)

Los "Favoritos" pueden personalizarse arrastrando la instrucción hasta los "Favoritos", ventana que se muestra en la figura 5.8.



Figura 5-8: Personalizado las instrucciones a través de la opción Favoritos. Fuente Propia.

5.2.2. PRINCIPIOS BÁSICOS DE PROGRAMACIÓN

Al crear el programa de usuario para las tareas de automatización, las instrucciones del programa se insertan en bloques lógicos:

Un bloque de organización (OB) reacciona a un evento específico en la CPU y puede interrumpir la ejecución del programa de usuario. El bloque predeterminado para la ejecución cíclica del programa de usuario (OB 1) ofrece la estructura básica y es el único bloque lógico que se requiere para el programa de usuario. Si se incluyen otros OBs en el programa, éstos interrumpen la ejecución del OB 1. Los demás OBs ejecutan funciones específicas, tales como tareas de arranque, procesamiento de alarmas y tratamiento de errores, o ejecución de un código de programa específico en determinados intervalos.

Un bloque de función (FB) es una subrutina que se ejecuta cuando se llama desde otro bloque lógico (OB, FB o FC). El bloque que efectúa la llamada transfiere parámetros al FB e identifica un bloque de datos determinado (DB) que almacena los datos de la llamada o instancia específica de este FB. La modificación del DB instancia permite a un FB genérico controlar el funcionamiento de un conjunto de dispositivos. Por ejemplo, un solo FB puede

controlar varias bombas o válvulas. Diferentes DBs de instancia contienen los parámetros operativos específicos de cada bomba o válvula.

Una función (FC) es una subrutina que se ejecuta cuando se llama desde otro bloque lógico (OB, FB o FC). La FC no tiene un DB instancia asociado. El bloque que efectúa la llamada transfiere los parámetros a la FC. Los valores de salida de la FC deben describirse en una dirección de la memoria o en un DB global.

5.2.2.1. BLOQUE DE ORGANIZACIÓN (OB)

Los bloques de organización permiten estructurar el programa. Estos bloques sirven de interfaz entre el sistema operativo y el programa de usuario. Los OBs son controlados por eventos (una alarma de diagnóstico o un intervalo), la ventana para agregar un nuevo bloque se encuentra en la figura 5.9.

El OB de ciclo contiene el programa principal. Es posible incluir más de un OB de ciclo en el programa de usuario. En estado operativo RUN, los OBs de ciclo se ejecutan en el nivel de prioridad más bajo y pueden ser interrumpidos por todos los demás tipos de procesamiento del programa. El OB de arranque no interrumpe el OB de ciclo, puesto que la CPU ejecuta el OB de arranque antes de pasar al estado operativo RUN.

Tras finalizar el procesamiento de los OBs de ciclo, la CPU vuelve a ejecutarlos inmediatamente. Esta ejecución cíclica es el tipo de procesamiento "normal" que se utiliza para los controladores lógicos programables. En numerosas aplicaciones, el programa de usuario entero está contenido en un solo OB de ciclo.

Es posible crear otros OBs para ejecutar funciones específicas, tales como tareas de arranque, procesamiento de alarmas y tratamiento de errores, o ejecución de un código de programa específico en determinados intervalos. Estos OBs interrumpen la ejecución de los OBs de ciclo.



Figura 5-9: Instrucciones para agregar un nuevo bloque. Fuente Propia.

5.2.2.2. FUNCIÓN (FC)

Una función (FC) es un bloque lógico que, por lo general, realiza una operación específica en un conjunto de valores de entrada. La FC almacena los resultados de esta operación en posiciones de memoria.

Las FCs se utilizan para realizar las tareas siguientes:

- Para ejecutar operaciones estándar y reutilizables, en cálculos matemáticos.
- Para ejecutar funciones tecnológicas, en controles individuales con operaciones lógicas binarias.

Una FC también se puede llamar varias veces en diferentes puntos de un programa. Esto facilita la programación de tareas que se repiten con frecuencia.

Una FC no tiene ningún bloque de datos instancia asociado (DB). La FC usa la pila de datos locales para los datos temporales utilizados para calcular la operación. Los datos temporales no se almacenan. Para almacenar los datos de

forma permanente es preciso asignar el valor de salida a una posición de memoria global, en el área de marcas o un DB global.

5.2.2.3. BLOQUE DE FUNCIÓN (FB)

Un bloque de función (FB) es un bloque lógico que utiliza un bloque de datos instancia para sus parámetros y datos estáticos. Los FBs tienen una memoria variable ubicada en un bloque de datos (DB) o DB "instancia". El DB instancia ofrece un bloque de memoria asociado a esa instancia (o llamada) del FB y almacena datos una vez que haya finalizado el FB. Es posible asociar distintos DBs de instancia a diferentes llamadas del FB. Los DBs instancia permiten utilizar un FB genérico para controlar varios dispositivos. El programa se estructura de manera que un bloque lógico llame un FB y un DB instancia. La CPU ejecuta luego el código del programa en ese FB y almacena los parámetros del bloque y los datos locales estáticos en el DB instancia. Cuando finaliza la ejecución del FB, la CPU regresa al bloque lógico que ha llamado el FB. El DB instancia conserva los valores de esa instancia del FB. Estos valores están disponibles para las llamadas posteriores al bloque de función, bien sea en el mismo ciclo o en otros ciclos.

5.2.2.4. BLOQUE DE DATOS (DB)

Los bloques de datos (DB) se crean en el programa de usuario para almacenar los datos de los bloques lógicos. Todos los bloques del programa de usuario pueden acceder a los datos en un DB global. En cambio, un DB instancia almacena los datos de un bloque de función (FB) específico. Un DB se puede definir de manera que sea de sólo lectura.

Los datos almacenados en un DB no se borran cuando finaliza la ejecución del bloque lógico asociado. Hay dos tipos de DBs, a saber:

- Un DB global almacena los datos de los bloques lógicos en el programa. Cualquier OB, FB o FC puede acceder a los datos en un DB global.
- Un DB instancia almacena los datos de un FB específico. La estructura de los datos en un DB instancia refleja los parámetros (Input, Output e

InOut) y los datos estáticos del FB. (La memoria temporal del FB no se almacena en el DB instancia.)

5.2.3. INSTRUCCIONES DE PROGRAMACIÓN

Antes de comenzar con la programación es importante reconocer varios de los comandos que con mayor frecuencia se emplean en la programación, estos son:

5.2.3.1. CONTACTOS

Los contactos se pueden conectar a otros contactos, creando así una lógica de combinaciones propia. Si el bit de entrada indicado utiliza el identificador de memoria I (entrada) o Q (salida), el valor de bit se lee de la memoria imagen de proceso. Las señales de los contactos físicos del proceso controlado se cablean con los bornes de entrada del PLC. La CPU consulta las señales de entrada cableadas y actualiza continuamente los valores de estado correspondientes en la memoria imagen de proceso de las entradas.

El contacto normalmente abierto figura 5.10, se cierra (ON) cuando el valor de bit asignado es igual a 1.



Figura 5-10: Contacto normalmente abierto. Fuente Propia.

El contacto normalmente cerrado figura 5.11 se cierra (ON) cuando el valor de bit asignado es igual a 0.



Figura 5-11: Contacto normalmente cerrado. Fuente Propia.

5.2.3.2. BOBINA DE SALIDA

La instrucción "Bobina de salida, relé" figura 5.12, escribe un valor en un bit de salida. Si el bit de salida indicado utiliza el identificador de memoria Q, la CPU activa o desactiva el bit de salida en la memoria imagen de

proceso, poniendo el bit especificado al correspondiente estado de flujo decorriente. Las señales de salida de los actuadores se cablean con los bornes de salida del S7-1200. En estado operativo RUN, la CPU consulta continuamente las señales de entrada, procesa los estados de las entradas según la lógica del programa y escribe los nuevos valores de las salidas en la memoria imagen de proceso de las salidas. Tras cada ciclo del programa, la CPU transfiere el nuevo estado de las salidas almacenado en la memoria imagen de proceso a los bornes de salida cableados.

Si fluye corriente a través de una bobina de salida, el bit de salida se pone a 1. Si no fluye corriente a través de una bobina de salida, el bit de la bobina de salida se pone a 0.

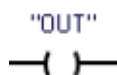


Figura 5-12: Bobina de relé, salida. Fuente Propia.

Si fluye corriente a través de una bobina de relé negada figura 5.13, el bit de salida se pone a 0. Si no fluye corriente a través de una bobina de relé negada, el bit de salida se pone a 1.



Figura 5-13: Bobina de relé negada. Fuente Propia.

5.2.3.3. TEMPORIZADORES

Las instrucciones con temporizadores se utilizan para crear retardos programados:

TP: El temporizador Impulso figura 5.14, genera un impulso con una duración predeterminada.

TON: La salida Q del temporizador de retardo al conectar se activa al cabo de un tiempo de retardo predeterminado.

TOF: La salida Q del temporizador de retardo al desconectar se desactiva al cabo de un tiempo de retardo predeterminado.

TONR: La salida Q del acumulador de tiempo se activa al cabo de un tiempo de retardopredeterminado. El tiempo transcurrido se acumula a lo largo de varios periodos detemporización hasta que la entrada R inicializa el tiempo transcurrido.

RT: Inicializa un temporizador borrando los datos de tiempo almacenados en el bloque de datos instancia del temporizador indicado. Todos los temporizadores utilizan una estructura almacenada en un bloque de datos paramantener los datos. El bloque de datos se asigna al colocar la instrucción de temporización en el editor.

Al colocar instrucciones de temporización en un bloque de función es posible seleccionar la opción de bloque de datos multi instancia. Los nombres de estructura de los temporizadores pueden diferir en las distintas estructuras, pero los datos de los temporizadores se encuentran en un bloque de datos individual y no requieren un bloque de datos propio para cada temporizador. Esto reduce el tiempo de procesamiento y la memoria de datos necesaria para gestionar los temporizadores. No hay interacción entre las estructuras de datos de los temporizadores en el bloque de datos multi instancia compartido.

Los temporizadores TP, TON y TOF tienen los mismos parámetros de entrada y salida como se muestra en la tabla 5.2.



Figura 5-14: Bloque TP. Fuente Propia.

El temporizador TONR figura 5.15, dispone adicionalmente de la entrada de reset R. Cree un "Nombre de temporizador" propio para designar el bloque de datos temporizador y describir el objetivo de este temporizador en el proceso.



Figura 5-15: Bloque TONR. Fuente Propia.

Tabla 5.2: Entradas y salidas de un temporizador. Fuente Propia.

Parámetro	Descripción
IN	Habilitar entrada del temporizador
R	Poner a cero el tiempo transcurrido de TONR
PT	Entrada que indica el tiempo predeterminado
Q	Salida del temporizador
ET	Salida que indica el tiempo transcurrido

5.2.3.4. CONTADORES

Las instrucciones con contadores se utilizan para contar eventos del programa internos y eventos del proceso externos:

- CTU es un contador ascendente.
- CTD es un contador descendente.
- CTUD figura 5.16 es un contador ascendente/descendente.

Todo contador utiliza una estructura almacenada en un bloque de datos para conservar sus datos. El bloque de datos se asigna al colocar la instrucción de contaje en el editor. Estas instrucciones utilizan contadores por software cuya frecuencia de contaje máxima está limitada por la frecuencia de ejecución del OB en el que están contenidas. El OB en el que se depositan las instrucciones debe ejecutarse con suficiente frecuencia para detectar todas las transiciones de las entradas CU o CD que se describe en la tabla 5.3.

Al colocar instrucciones con contadores en un bloque de función es posible seleccionar la opción de bloque de datos multi instancia. Los nombres de

estructura de los contadores pueden diferir en las distintas estructuras, pero los datos de los contadores se encuentran en un bloque de datos individual y no requieren un bloque de datos propio para cada contador. Esto reduce el tiempo de procesamiento y la memoria de datos necesaria para los contadores. No hay interacción entre las estructuras de datos de los contadores en el bloque de datos multinstancias compartido.

Seleccione el tipo de datos del valor de contaje en la lista desplegable debajo del nombre del cuadro.

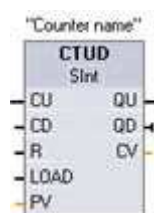


Figura 5-16: Bloque CTUD contador. Fuente Propia.

Tabla 5.3: Entradas y salidas de un contador CTUD. Fuente Propia.

Parámetro	Descripción
CU, CD	Contaje ascendente o descendente, en incrementos de uno.
R (CTU, CTUD)	Poner a cero el valor del contador.
LOAD (CTD, CTUD)	Control de carga del valor predeterminado.
PV	Valor de contaje predeterminado.
Q, QU	Es verdadero si $CV \geq PV$.
QD	Es verdadero si $CV \leq 0$.

5.2.3.5. INSTRUCCIÓN CTRL_HSC

La instrucción CTRL_HSC figura 5.17, permite controlar los contadores rápidos utilizados para contar eventos que ocurren más rápidamente que la frecuencia de ejecución del OB. La frecuencia de contaje de las instrucciones CTU, CTD y

CTUD está limitada por la frecuencia de ejecución del OB en el que están contenidas.

Una aplicación típica de los contadores rápidos es el conteo de impulsos generados por un encoder rotativo de control de movimiento. Toda instrucción CTRL_HSC utiliza una estructura almacenada en un bloque de datos para conservar los datos. El bloque de datos se asigna al disponer la instrucción CTRL_HSC en el editor las entradas y salidas de este bloque se especifican en la tabla 5.4.

Se crea un "Nombre de contador" propio para designar el bloque de datos contador y describir el objetivo de este contador en el proceso.



Figura 5-17: Bloque CTRL_HSC contador rápido. Fuente Propia.

Tabla 5.4: Entradas y salidas del bloque CTRL_HSC. Fuente Propia.

Parámetro	Descripción
HSC	Identificador del HSC
DIR	Solicitar nuevo sentido de conteo
CV	Solicitar activación del nuevo valor del contador
RV	Solicitar activación del nuevo valor de referencia
PERIOD	Solicitar activación del nuevo periodo (sólo para el modo de medición de frecuencia)
NEW_DIR	Nuevo sentido: 1= hacia delante, -1= hacia atrás
NEW_DIR	Nuevo valor del contador
NEW_DIR	Nuevo valor de referencia
NEW_DIR	Nuevo periodo en segundos: 0,01, 0,1 ó 1
BUSY OUT	Función ocupada
STATUS OUT	Código de condición de ejecución

Los contadores rápidos deben configurarse en la configuración de dispositivos PLC del proyecto antes de poder utilizarlos en el programa. Al configurar los dispositivos HSC se seleccionan el modo de conteo, los conectores de E/S, la asignación de alarmas y el funcionamiento como contador rápido o dispositivo para medir la frecuencia de pulsos. Los contadores rápidos pueden operarse con o sin control del programa.

Numerosos parámetros de configuración de los contadores rápidos se ajustan sólo en la "Configuración de dispositivos" del proyecto. Algunos parámetros de los contadores rápidos se inicializan en la "Configuración de dispositivos" del proyecto, pero se pueden modificar luego bajo el control del programa.

Los parámetros de la instrucción CTRL_HSC permiten controlar el programa del proceso de conteo:

- Ajustar el sentido de conteo al valor NEW_DIR.
- Ajustar el valor de conteo actual al valor NEW_CV.
- Ajustar el valor de referencia al valor NEW_RV.
- Ajustar el periodo (para el modo de medición de frecuencia) al valor NEW_PERIOD.

Si las siguientes marcas booleanas están puestas a 1 cuando se ejecuta la instrucción CTRL_HSC, el valor NEW_xxx correspondiente se carga en el contador. Las peticiones múltiples (varias marcas se activan simultáneamente) se procesan en una sola ejecución de la instrucción CTRL_HSC.

- DIR = 1 es una petición para cargar un valor NEW_DIR, 0 = ningún cambio.
- CV = 1 es una petición para cargar un valor NEW_CV, 0 = ningún cambio.
- RV = 1 es una petición para cargar un valor NEW_RV, 0 = ningún cambio.
- PERIOD = 1 es una petición para cargar un valor NEW_PERIOD, 0 = ningún cambio.

Generalmente, la instrucción CTRL_HSC se inserta en un OB de alarma de proceso que se ejecuta cuando se dispara el evento de alarma de proceso del contador. Por ejemplo, si un evento CV=RV dispara la alarma del contador, un OB de alarma de proceso ejecuta la instrucción CTRL_HSC y puede cambiar el valor de referencia cargando un valor NEW_RV.

5.2.3.6. INSTRUCCIONES "ESCALAR Y NORMALIZAR"

La instrucción SCALE_X figura 5.18, (Escalar) escala el parámetro VALUE real normalizado (donde $0,0 \leq \text{VALUE} \leq 1,0$) al tipo de datos y rango de valores especificados por los parámetros MIN y MAX:

$$\text{OUT} = \text{VALUE} (\text{MAX} - \text{MIN}) + \text{MIN}.$$

Para SCALE_X, los parámetros MIN, MAX y OUT deben tener un mismo tipo de datos.

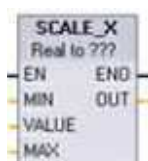


Figura 5-18: Función SCALE_X. Fuente Propia.

La instrucción NORM_X (Normalizar) normaliza el parámetro VALUE dentro del rango de valores especificado por los parámetros MIN y MAX:

$$\text{OUT} = (\text{VALUE} - \text{MIN}) / (\text{MAX} - \text{MIN}), \text{ donde; } (0,0 \leq \text{OUT} \leq 1,0)$$

Para NORM_X figura 5.19, los parámetros MIN, VALUE y MAX deben tener un mismo tipo de datos las entradas y salidas de SCALE_X y NORM_X se especifican en la tabla 5.5.



Figura 5-19: Función NORM_X. Fuente Propia.

Tabla 5.5: Entradas y salidas del bloque SCALE_X y NORM_X. Fuente Propia.

Parámetro	Descripción
MIN	Entrada que indica el valor mínimo del rango
MAX	Entrada que indica el valor máximo del rango
VALUE	Valor de entrada que se debe escalar o normalizar
OUT	Valor de salida escalado o normalizado

Una vez conocidos estos comandos, se puede comenzar con la programación.

En líneas de programación vacías se van introduciendo los comandos y según sea la necesidad pueden ir en serie o en paralelo como se observa en la figura 5.20.

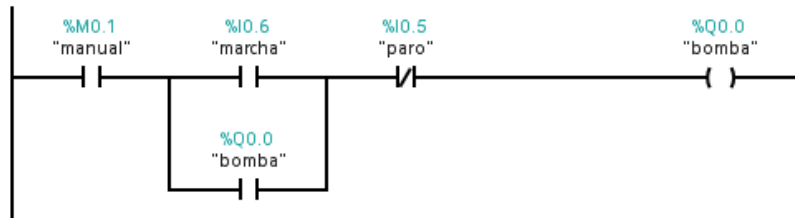


Figura 5-20: La línea 0 indica un circuito en serie. La línea 1 indica un circuito en paralelo. Fuente Propia.

5.3. PROGRAMACIÓN DEL MÓDULO DIDÁCTICO

5.3.1. DESIGNACIÓN DE ELEMENTOS EMPLEADOS EN LA PROGRAMACIÓN

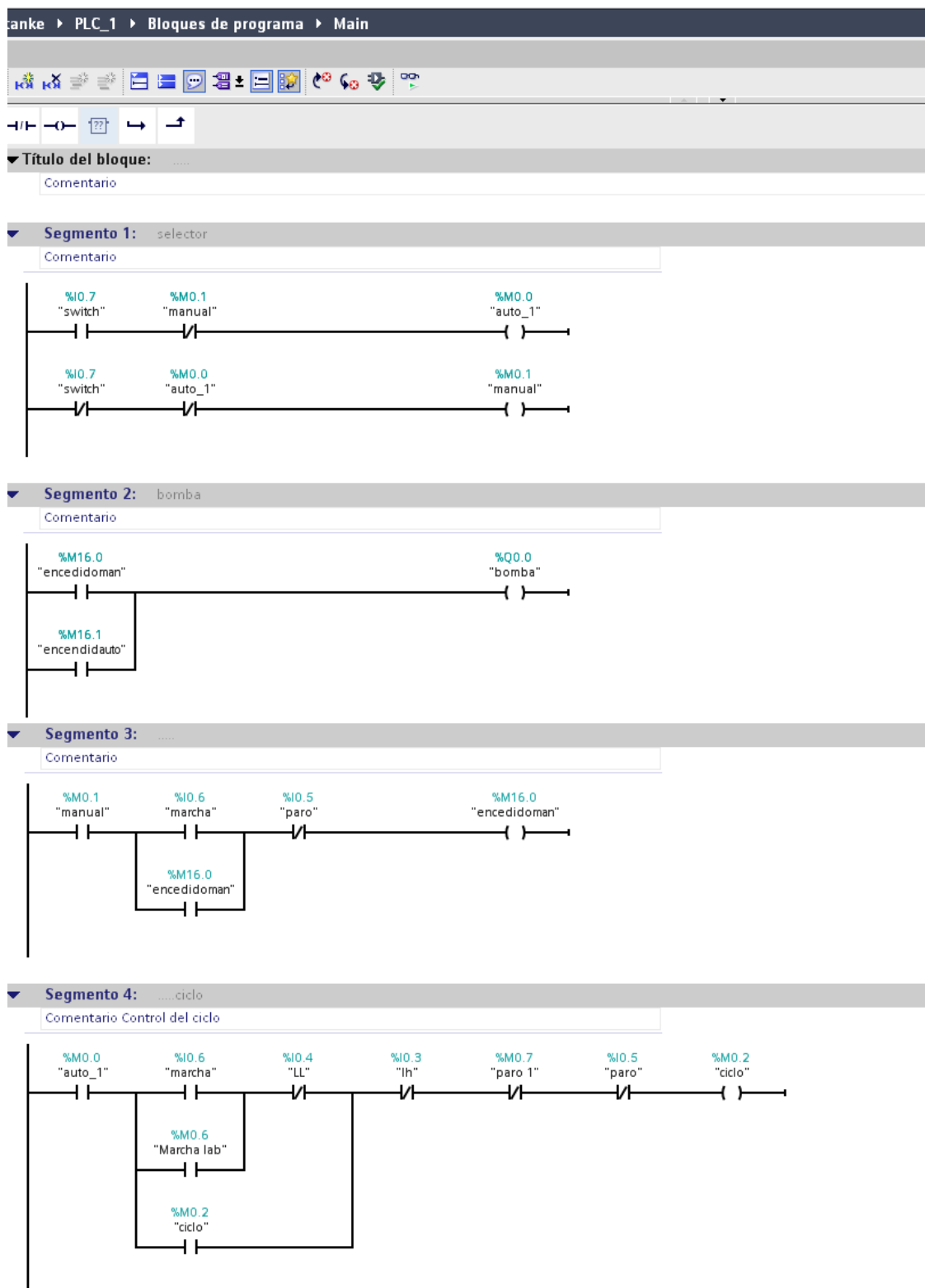
Previo al análisis del programa es importante dar a conocer la designación de los distintos elementos empleados. La siguiente tabla presenta la designación de nombres a entradas, salidas, memorias, temporizadores, contadores que se emplearon en la programación de estos módulos especificados en la tabla 5.6.

Tabla 5.6: Tabla de resumen de etiquetas de los elementos de la programación del módulo didáctico. Fuente Propia.

Dirección	Nombre	Descripción
I 0.6	marcha	Encendido de la bomba
I 0.7	switch	Encendido del sistema automático
M 0.0	auto_1	Memoria para iniciar modo automático
M 0.1	manual	Memoria para iniciar modo manual
Q 0.0	bomba	Salida bomba
I 0.5	paro	Paro General
I 0.4	LL	Sensor de nivel inferior
I 0.3	LH	Sensor de nivel superior
M 0.2	ciclo	Memoria de ciclo
MD2	tiempo trans	Tiempo tomado por el sensor
ID1000	pulsos	Pulsos del encoder
MD3	tiempo rpm	Tiempo de revoluciones
M16.0	encendidoman	Encendido manual
M16.1	encendidoauto	Encendido automático
MD26	tiempo lab	Tiempo enviando al LABVIEW

5.3.2. ANÁLISIS DEL PROGRAMA

El programa se establece en siete segmentos de bloque como se observa en la figura 5.21 se analiza cada uno en conformidad del desarrollo del programa.



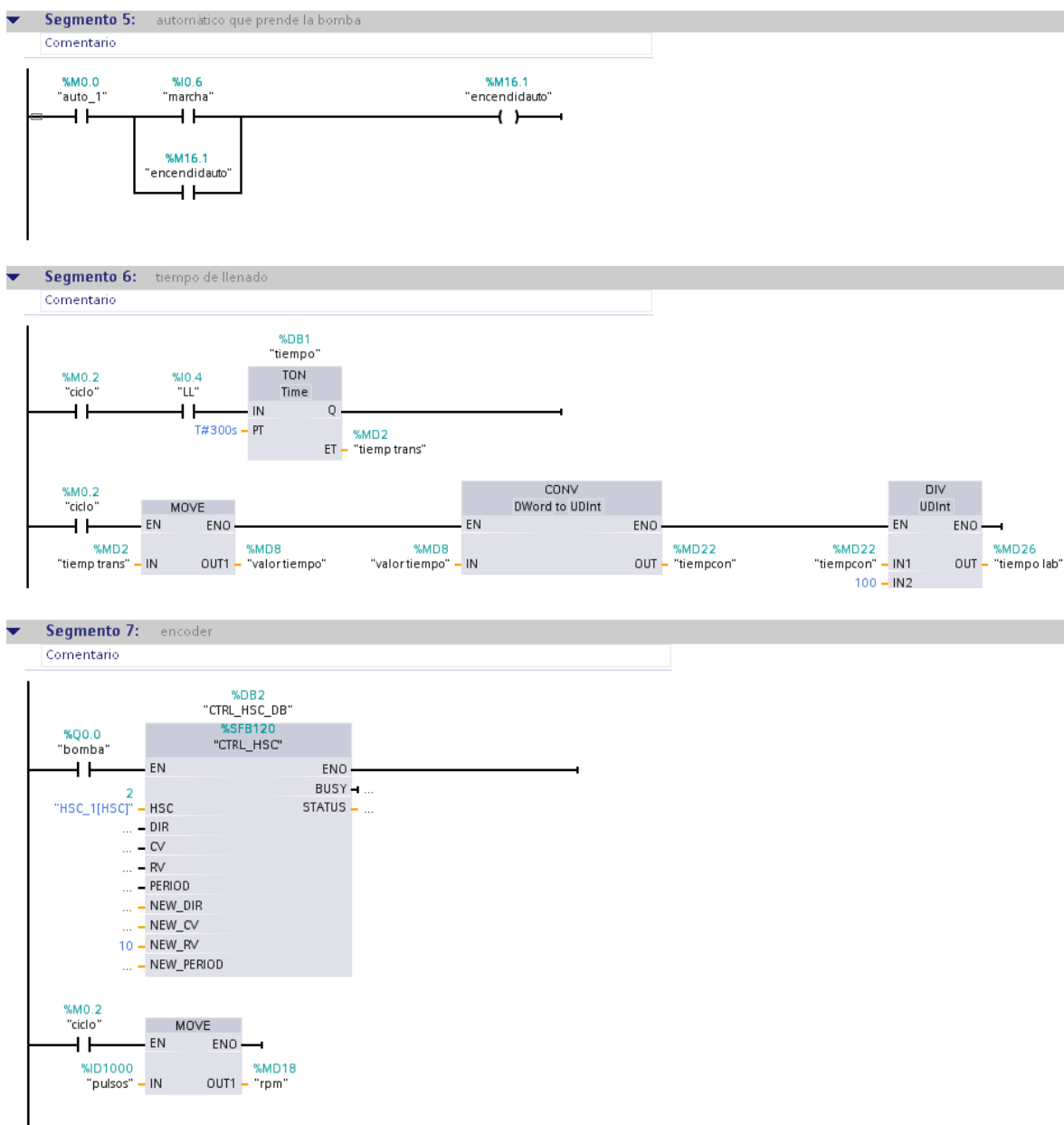


Figura 5-21: Escalera de programación. Fuente Propia.

La primera línea del programa indican las acciones que deben suceder si el botón de encendido (switch) es pulsado. El programa cambia a modo automático y energiza la memoria M 0.0 para proceder con la toma de datos por medio de los sensores. La segunda línea muestra el caso manual donde la toma de datos se realiza sin la utilización del programa figura 5.22.

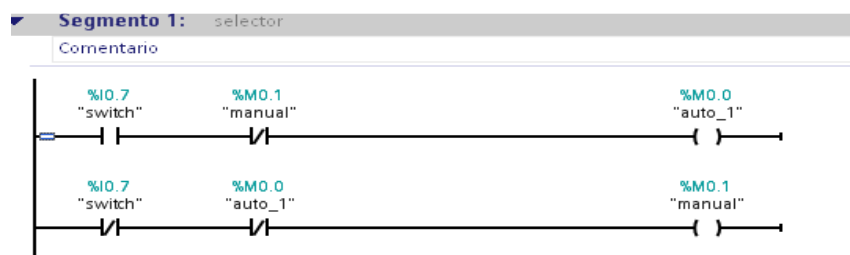


Figura 5-22: Primer segmento de programación. Fuente Propia.

En el segundo segmento del programa figura 5.23 se indican las acciones en el estado manual o en el estado automático, en donde se energiza el encendido y el apagado de la bomba.

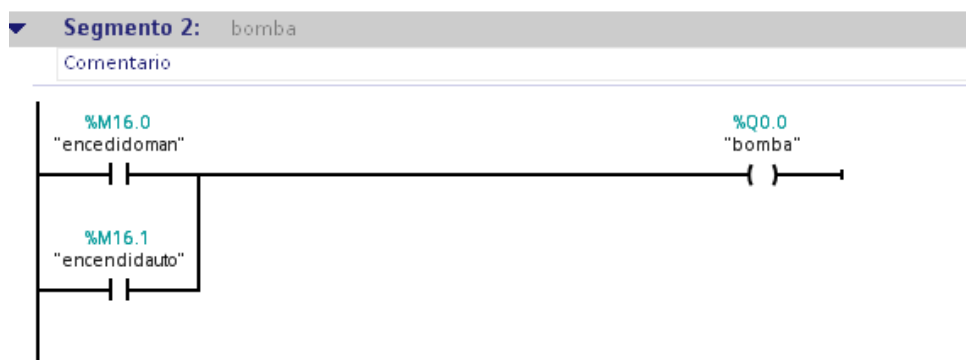


Figura 5-23: Segundo segmento de programación. Fuente Propia.

En el tercer segmento del programa figura 5.24 se establece el cumplimiento del estado manual en el cual se establece solo el encendido y apagado de la bomba y la marca que permite establecer la conexión de encendido de la bomba por medio del LABVIEW en el caso de ser necesario.

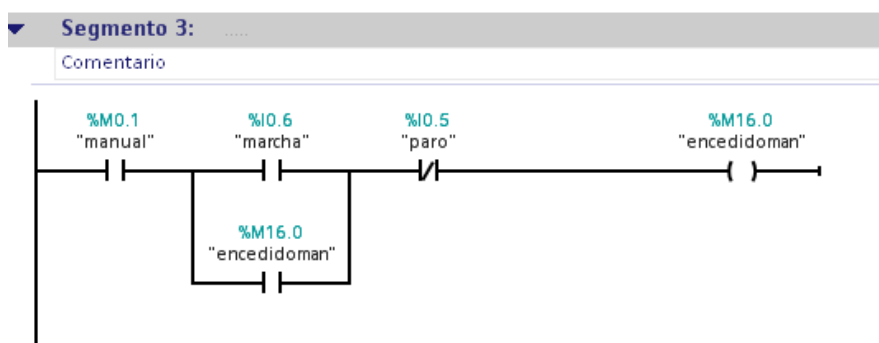


Figura 5-24: Tercer segmento de programación. Fuente Propia.

En el cuarto segmento del programa figura 5.25 se determina el funcionamiento del ciclo del programa el cual debe empezar solo cuando el nivel del tanque de medida se encuentra en cero y el ciclo termina cuando el sensor de nivel superior (I0.3) se desactiva.

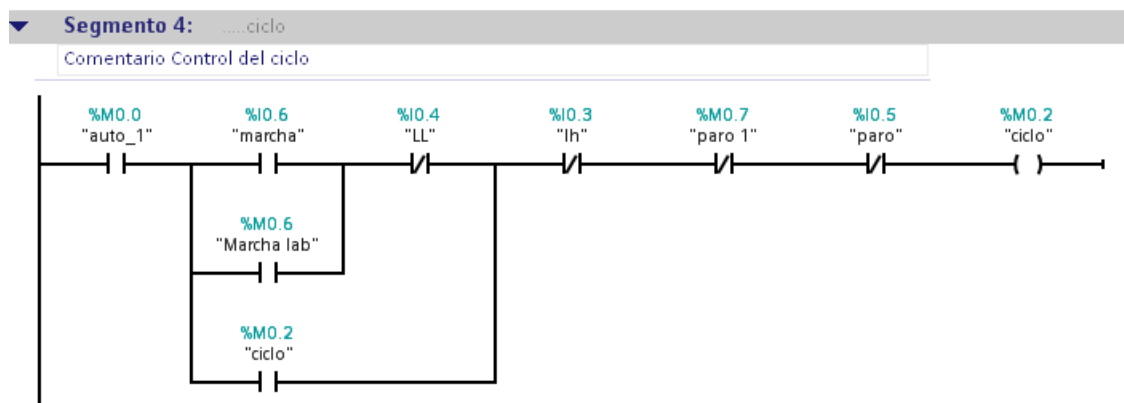


Figura 5-25: Cuarto segmento de programación. Fuente Propia.

En el quinto segmento figura 5.26 se establece la puesta en marcha del sistema de manera automática y la marca (M16.1) que permite manipular el sistema a través de LABVIEW.

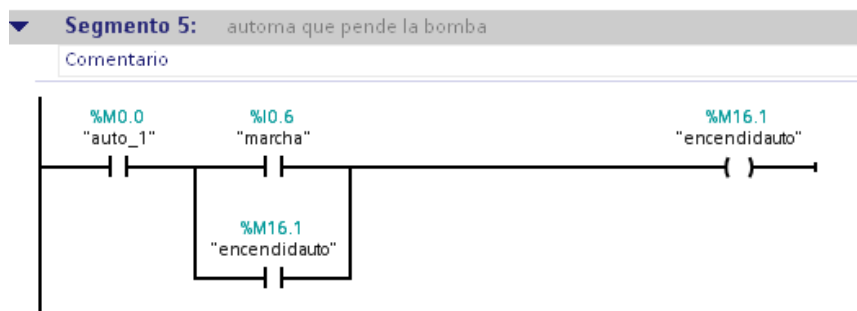


Figura 5-26: Quinto segmento de programación. Fuente Propia.

En el sexto segmento figura 5.27 se establece el tiempo de llenado del tanque de medida, dato que es determinado por un temporizador, este dato se convierte en una variable en décimas de segundo y se direcciona a una memoria para los cálculos posteriores en LABVIEW (MD26).

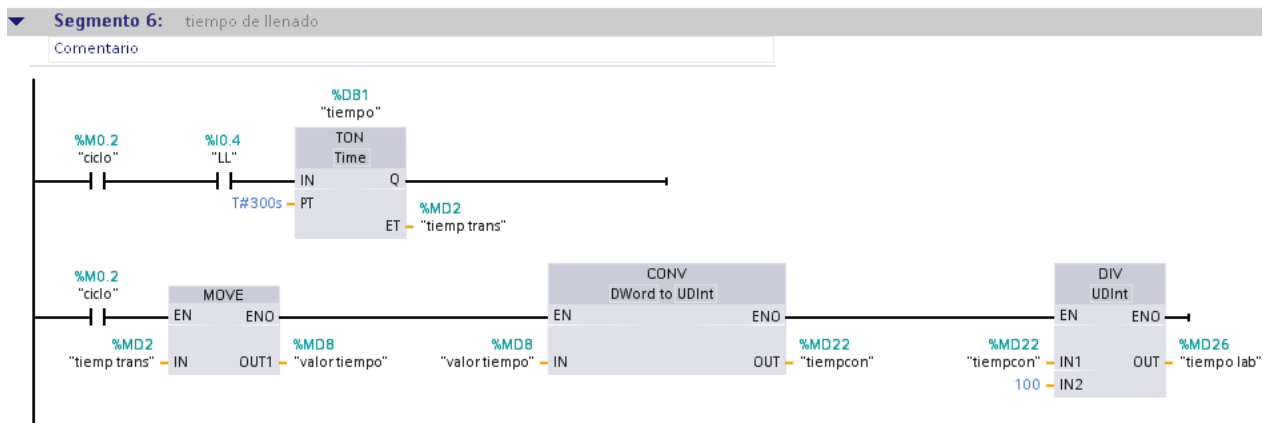


Figura 5-27: Sexto segmento de programación. Fuente Propia.

En el séptimo segmento figura 5.28 se determina el número de revoluciones que mediante la activación del contador rápido y la función CTRL_HSC de STEP 7 BASIC, se puede calcular el número de pulsos y mediante la conversión que genera el programa se puede trabajar con el dato almacenado en la variable pulsos (ID1000).

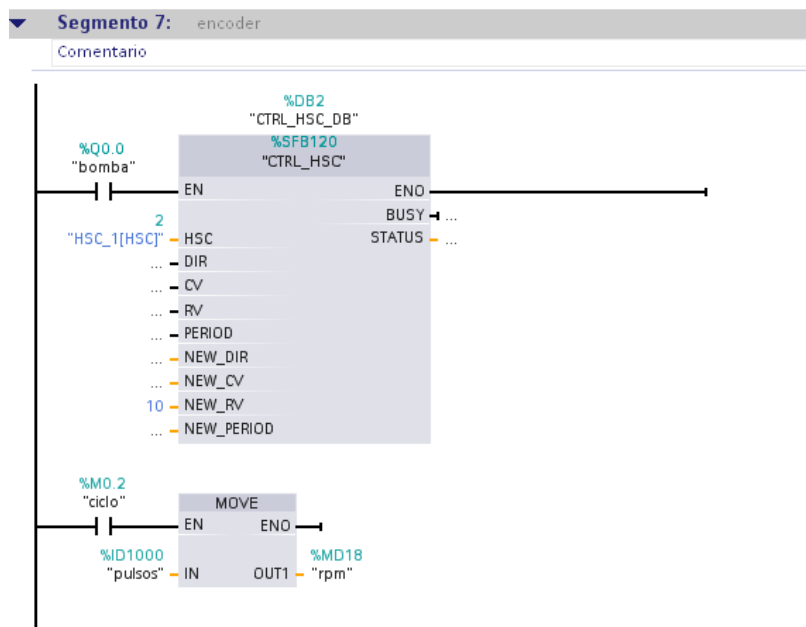


Figura 5-28: Séptimo segmento de programación. Fuente Propia.

5.4. CONFIGURACIÓN DE LA CPU

5.4.1. CARGAR LA CONFIGURACIÓN DE LA CPU

La función "Detección de hardware" de la configuración de dispositivos figura 5.29, puede utilizarse para cargar la configuración de hardware de la CPU.



Figura 5-29: Detección de hardware. Fuente Propia.

Se realiza mediante el enlace "Determinar" de la CPU sin especificar para establecer una conexión con la CPU, con una conexión Ethernet mediante un cable de red.

STEP 7 Basic "detecta" toda CPU conectada al equipo. Se selecciona la CPU y se carga la configuración de la CPU en el proyecto figura 5.30.



Figura 5-30: Configuración de la CPU en el proyecto. Fuente Propia.

5.4.2. CARGAR EL PROGRAMA DE USUARIO EN LA CPU

Para cargar el programa de usuario en la CPU. Se abre el editor de programas y se vincula al icono "Cargar endispositivo".

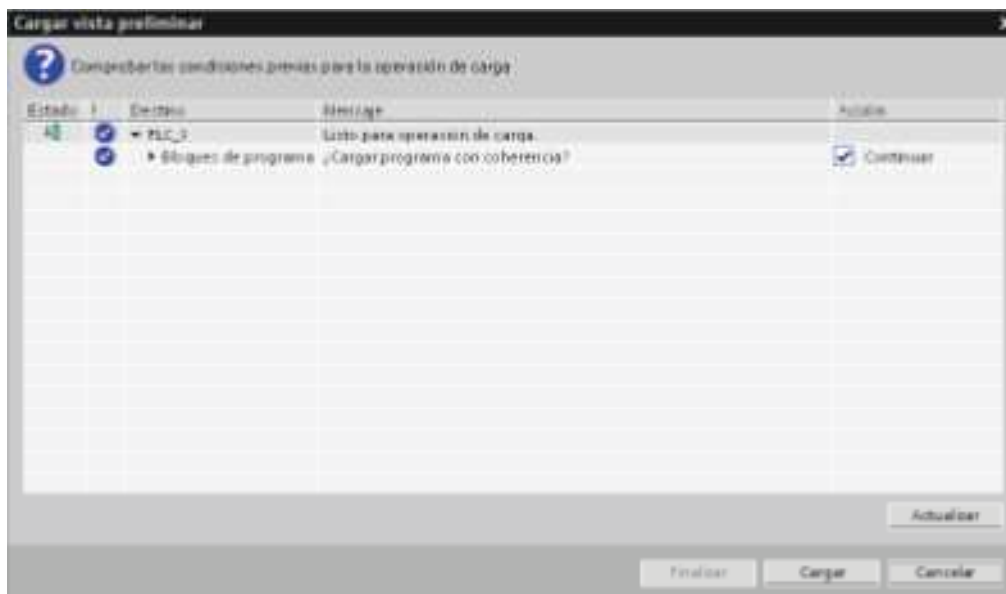


Figura 5-31: Cuadro de diálogo "Cargar vista preliminar". Fuente Propia.

Tras establecer la conexión con la CPU, STEP 7 Basic muestra el diálogo "Cargar vistapreliminar" figura 5.31. Antes de finalizar la carga, se selecciona "Arrancar todos" para asegurar que la CPU pase haestado operativo RUN.

5.5. PC - ACCESS

5.5.1. COMPONENTES DE LA VENTANA

Para establecer la comunicación entre el PLC SIMATIC S7 – 1200, se utiliza el programa S7-200 PC Access figura 5.32, que comprende elementos tanto de servidor como de cliente OPC.

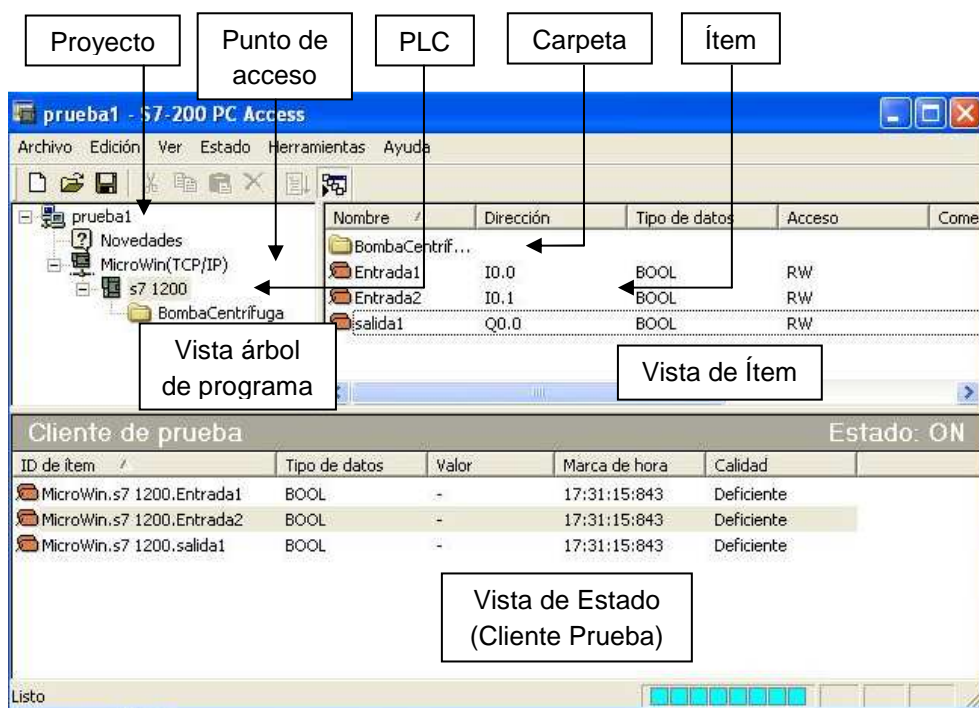


Figura 5-32: Componentes Básicos de S7-200 PC Access. Fuente Propia.

5.5.1.1. ESTRUCTURA DE LOS PROYECTOS DE S7-200 PC ACCESS

Los objetos contenidos en el área del servidor OPC del proyecto aparecen organizados en forma de árbol jerárquico (jerarquía del proyecto). Este árbol es similar al Explorador de Windows, siendo diferentes sólo los iconos de los objetos.

Los objetos contenidos en el área del cliente OPC (cliente de prueba) se visualizan en forma de lista.

5.5.1.2. BARRA DE MENÚS

La barra de menús permite ejecutar funciones utilizando el ratón, o bien combinaciones de teclas.

5.5.1.3. BARRA DE HERRAMIENTAS

La barra de herramientas permite acceder fácilmente con el ratón a las funciones más habituales de S7-200 PC Access.

5.5.1.4. VISTA DE ÁRBOL

La vista de árbol, ubicada en el lado izquierdo superior de la ventana, incorpora un árbol jerárquico de los PLCs y las carpetas disponibles en el proyecto

actual. Esta vista contiene todos los ítems (puntos de datos) a los que puede acceder un cliente OPC en una red S7-200.

5.5.1.5. VISTA DE ÍTEMS

La vista de ítems, ubicada en el lado derecho superior de la ventana, es el área en la que se introducen y se listan los ítems. Las carpetas y los ítems pertenecientes a la selección actual de la vista de árbol se representan de forma jerárquica en esta ventana. Las carpetas pueden seleccionarse en la vista de ítems. En este caso, la selección actual en la vista de árbol se modificará, mostrando entonces la posición jerárquica actual.

5.5.1.6. VISTA DE ESTADO (CLIENTE DE PRUEBA)

La vista de estado (cliente de prueba), ubicada en el lado inferior de la ventana, es básicamente un cliente OPC. El cliente interactúa con el servidor OPC de S7-200 PC Access, permitiendo comprobar online los ítems configurados. Esta vista es independiente de las vistas de árbol y de ítems. Al desplazarse un ítem en la vista de estado (cliente de prueba), éste se depositará en un grupo OPC individual, solicitándose que sea recogido una vez habilitado el estado. El estado se puede habilitar o inhibir eligiendo el comando de menú "Estado"

Los ítems contenidos en la vista de estado (cliente de prueba) aparecen listados en el orden en el que se han depositado allí. Los ítems se crean automáticamente arrastrando carpetas de ítems o ítems individuales desde la vista de ítems hasta la vista de estado (cliente de prueba). Un ID de ítem del cliente comprende la jerarquía o ruta formada por el protocolo del servidor, el PLC, la carpeta y el nombre del ítem.

5.5.1.7. BARRA DE ESTADO

La barra de estado informa acerca del estado de las funciones online que se ejecutan en S7-200 PC Access.

5.5.2. VISTA DETALLADA DE LOS COMPONENTES DE LA VENTANA

5.5.2.1. DETALLES DE LA VISTA DE ÁRBOL

En el proyecto actual se crean los PLC(s) y las carpetas de los ítems. La vista de árbol figura 5.33 está organizada según la siguiente estructura jerárquica:

- **MicroWin.**-Este nivel contiene el icono del punto de acceso de la comunicación. El punto de acceso representa el tipo de enlace o red que permite a S7-200 PC Access comunicarse con los PLCs S7-200 y mediante una configuración con el PLC s7 1200.
- **PLC1.**- Este nivel comprende los PLCs conectados a la red con un protocolo dado.
- **Carpeta.**- Este nivel comprende las carpetas (y, dado el caso, las subcarpetas) para organizar los ítems de forma lógica.

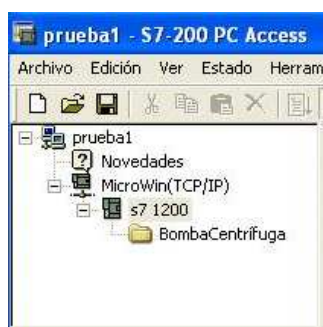


Figura 5-33: Detalles de la vista de árbol. Fuente Propia.

5.5.3. DETALLES DE LA VISTA DE ÍTEMS

Los ítems se introducen y se listan en el área superior derecha de la ventana. Aquí se visualizan los ítems configurados para un PLC y una carpeta en particular. La vista de ítems comprende diversas columnas que indican la configuración de los mismos, figura 5.34.

Todas las columnas de la vista de ítems se identifican con su encabezado correspondiente. Cada una de las columnas se puede organizar en orden ascendente o descendente, seleccionando para ello el encabezado.

Nombre	Dirección	Tipo de datos	Acceso	Comen
BombaCentrif...				
Entrada1	I0.0	BOOL	RW	
Entrada2	I0.1	BOOL	RW	
Salida1	Q0.0	BOOL	RW	

Figura 5-34: Vista de ítems. Fuente Propia.

Las columnas se describen a continuación:

- **Nombre.-** El nombre simbólico puede comprender hasta 23 caracteres, incluyendo caracteres alfanuméricos, caracteres de subrayado y caracteres extendidos (ASCII 128 a ASCII 255). El primer carácter debe ser alfanumérico o extendido. Las palabras clave no pueden utilizarse en calidad de nombres. (Nota: Los nombres de los ítems deben ser unívocos dentro de una misma carpeta. No puede haber nombres repetidos).
- **ID de ítem.-** Nombre simbólico y unívoco de un ítem, compuesto por la ruta jerárquica completa (punto de acceso del servidor, PLC, carpeta(s) y nombre del ítem). Nota: El ajuste estándar es que este atributo no se visualice.
- **Nombre en runtime.-** Sintaxis de propietario definida por el servidor OPC para indicar todas las propiedades necesarias para recoger el ítem. Nota: El ajuste estándar es que este atributo no se visualice.
- **Dirección.-** Tipo y dirección de memoria en el PLC. No se comprueba el rango de direcciones válidas del PLC.
- *Tipo de datos.-* Tipo de datos canónico representado en el PLC.
- **UI mín.-** Unidad de ingeniería mínima, es decir, el rango mínimo esperado del valor de un ítem.
- **UI máx.-** Unidad de ingeniería máxima, es decir, el rango máximo esperado del valor de un ítem.

Estos ítems representan todas las selecciones posibles en una aplicación de cliente OPC cualquiera. El cliente OPC define grupos de clientes y las propiedades asociadas a cada grupo, incluyendo la frecuencia de recogida deseada. Un grupo incluye un conjunto de IDs de ítem. Éstos se derivan del

conjunto de ítems configurado actualmente en el proyecto abierto del servidor OPC.

Por lo general, las definiciones de ítems tienen su origen en el programa de control de la aplicación, representándose con símbolos de proyecto de STEP 7-Micro/WIN. A continuación, este nombre simbólico se importa al servidor OPC, creándose luego una referencia con la configuración del cliente HMI/OPC.

5.5.4. DETALLES DE LA VISTA DE ESTADO (CLIENTE DE PRUEBA)

La vista de estado (cliente de prueba), ubicada en el lado inferior de la ventana, es una herramienta que permite comprobar los ítems del servidor de forma rápida y sencilla. Los ítems del cliente de prueba se configuran automáticamente desde la vista de ítems (área derecha superior de la ventana). La vista de estado (cliente de prueba) comprende diversas columnas que indican la configuración de los ítems a recoger, así como los valores resultantes y el estado.

Todas las columnas de la vista de estado se identifican con su encabezado correspondiente. Cada una de las columnas se puede organizar en orden ascendente o descendente, seleccionando para ello el encabezado. Al estar activada la ordenación, se visualizará un indicador en el encabezado de la columna en cuestión. Éste indica el tipo de ordenación seleccionado (como aparece arriba en la columna "ID de ítem"). Las columnas se describen a continuación:

- **ID de ítem.-** Nombre simbólico y unívoco de un ítem, compuesto por la ruta jerárquica completa (punto de acceso del servidor, PLC, carpeta(s) y nombre del ítem).
- **Tipo de datos.-** Tipo de datos canónico representado en el PLC conforme con la configuración del ítem. Para más información al respecto, consulte el tema de la Ayuda Memoria de ítems y tipos de datos.
- **Valor.-** Valor del punto de datos.

- **Marca de hora.**- Hora de la última actualización correcta.
- **Calidad.**-Calidad del punto de datos recuperado (puede ser buena, deficiente o incierta).

En la vista de estado (cliente de prueba) no se conserva la información. Todas las informaciones se perderán al salir de la aplicación.

5.5.5. COMUNICACIÓN ETHERNET

La comunicación se establece por medio de Ethernet en el cuadro de diálogo "Ajustar interface PG/PC", figura 5.35.

Para establecer una conexión Ethernet en PC Access se hace clic con el botón derecho del ratón en el icono del punto de acceso "MicroWin" y se elige el comando del menú contextual Interface PG/PC para abrir el cuadro de diálogo "Ajustar interface PG/PC". Los parámetros de la interfaz de comunicación TCP/IP se seleccionan y se configuran en el cuadro de diálogo "Ajustar interface PG/PC".



Figura 5-35: Ajustar interface PG/PC. Fuente Propia.

5.5.5.1. CONFIGURAR LAS PROPIEDADES DEL PLC PARA LA COMUNICACIÓN ETHERNET

Para configurar las propiedades del PLC S7 – 1200 se selecciona la entrada "MicroWin(TCP/IP)" en el "árbol del proyecto". Se navega por la barra de menú y se selecciona "Editar > Nuevo > PLC". Se añade un objeto "NuevoPLC" y se

abre la ventana del cuadro de diálogo "Propiedades del PLC" del nuevo PLC figura 5.36. Se introduce los parámetros del PLC, en los campos de entrada de esta ventana para el caso en estudio son los siguientes:

- **Nombre:** "S7-1200_PLC"
- **Dirección IP:** "192.168.0.1" (dirección IP del PLC del S7-1200)
- **TSAP Local:** "10.00." (TSAP en el PLC del S7-1200)
- **TSAP Remoto:** "03.01." (TSAP del PC Access)



Figura 5-36: Propiedades del PLC para la comunicación Ethernet. Fuente Propia.

5.5.6. AÑADIR UN NUEVO ELEMENTO

Para añadir un elemento que se utiliza en LABVIEW se marca sobre el PLC del S7-1200 en el "árbol del proyecto", por la barra de menú y se selecciona "Editar > Nuevo > Elemento". Se abre la ventana del cuadro de diálogo "Propiedades de elemento" figura 5.37.

Para acceder a datos en el PLC del S7-1200 hay que realizar los siguientes pasos:

- Introducir un nombre de elemento en el campo de entrada "Nombre:".
- Introducir la dirección de la variable en el campo de entrada "Dirección:".
- Seleccionar el tipo de dato en el campo de entrada "Tipo de dato:".

Adicionalmente, se puede restringir el acceso a la dirección de memoria para sólo "lectura" o sólo "escritura".

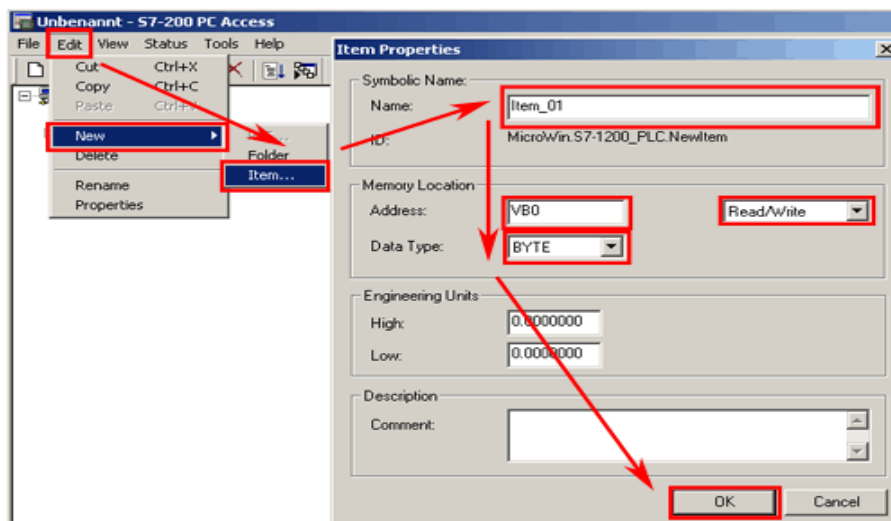


Figura 5-37: Ventana para añadir un elemento. Fuente Propia.

El resumen de las etiquetas de los elementos creados en Pc Access se muestra en la tabla 5.7

Tabla 5.7: Tabla de resumen de etiquetas de los elementos del PC Access. Fuente Propia.

Dirección	Nombre
I 0.6	marcha
I 0.7	switch
M 0.0	auto_1
M 0.1	manual
Q 0.0	bomba
I 0.5	paro
I 0.4	LL
I 0.3	LH
M 0.2	ciclo
MD2	tiempo trans
ID1000	pulsos
MD3	tiempo rpm
M16.0	encendidoman
M16.1	encendidoauto
MD26	tiempo lab

CAPÍTULO 6

6. PROGRAMACIÓN EN LABVIEW

6.1. INTRODUCCIÓN A LABVIEW

Los programas desarrollados en LABVIEW son denominados instrumentos virtuales o VI's debido a su similitud con los instrumentos físicos.

LABVIEW contiene un conjunto de VI's y funciones para adquirir, analizar, desplegar y almacenar datos, así como herramientas para desarrollo de código

6.1.1. PARTES DE UN VI

Un VI está conformado por tres partes:

6.1.1.1. PANEL FRONTAL

El panel frontal se observa en la figura 6.1.

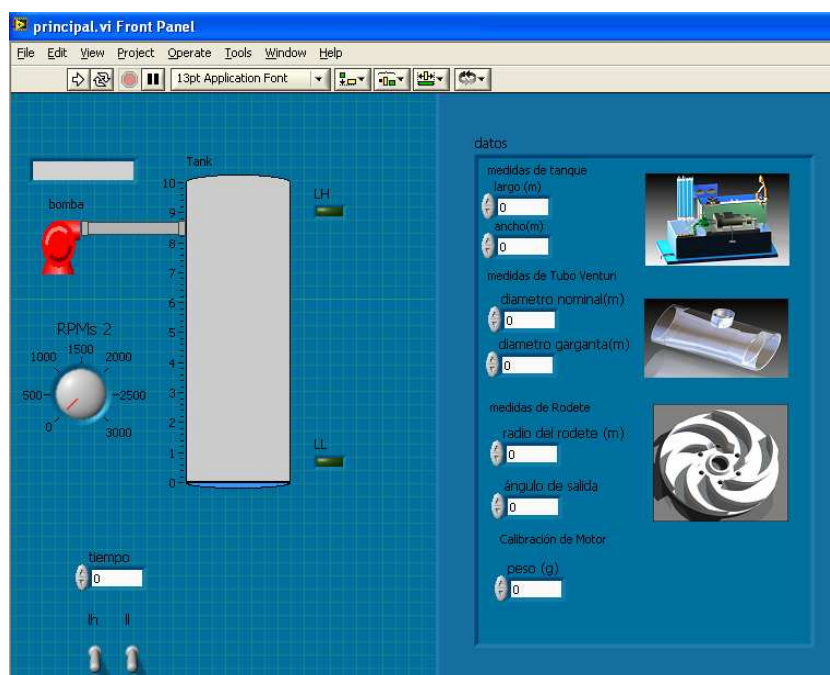


Figura 6-1: Vista del Panel Frontal. Fuente Propia.

6.1.1.2. DIAGRAMA DE BLOQUES

Contiene el código gráfico correspondiente a los elementos que se colocan en el panel frontal figura 6.2.

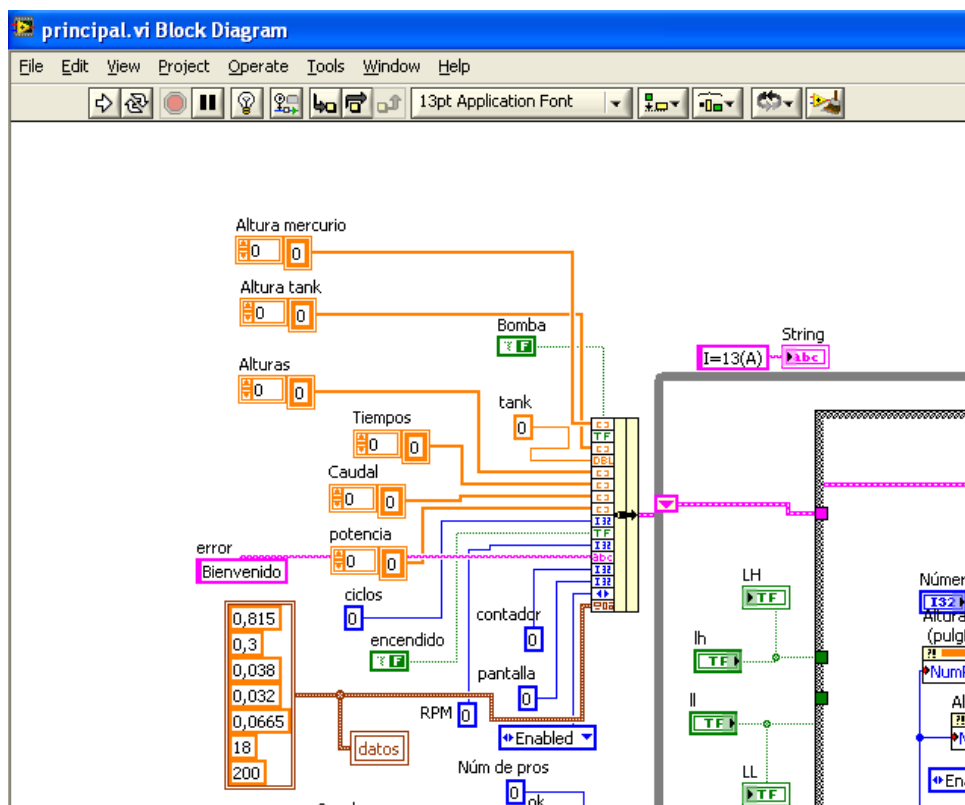


Figura 6-2: Vista del Diagrama de Bloques. Fuente Propia.

6.1.1.3. PANEL DE ÍCONO/CONECTOR

Cada VI despliega un ícono mostrado tanto en el panel frontal como en el diagrama de bloques. Este ícono figura 6.3, puede ser editado a voluntad del programador.



Figura 6-3: Ícono del VI. Fuente Propia.

Cuando usamos un VI dentro de otro VI, el primer VI es llamado SubVI, y debe tener un panel conector que especifique las entradas y salidas que necesita, se establece un número de entradas y salidas de forma manual y se recomienda utilizar la parte izquierda del panel conector para asignar las entradas y la parte

derecha para las salidas ya que la lectura del lenguaje de programación en LABVIEW se realiza de izquierda a derecha.

6.2. INICIANDO UN VI

Al iniciar LABVIEW se despliega la ventana “GettingStarted”, la cual permite crear un nuevo VI, crear un proyecto, abrir VI's o proyectos existentes figura 6.4. La ventana “GettingStarted” desaparece cuando se abre un VI o un proyecto.

Un proyecto agrupa archivos LABVIEW, permite la creación de aplicaciones, librerías, instaladores, para cada aplicación del control requerida.

Un proyecto puede contener archivos creados desde el explorador de proyectos o añadidos desde otra ubicación.

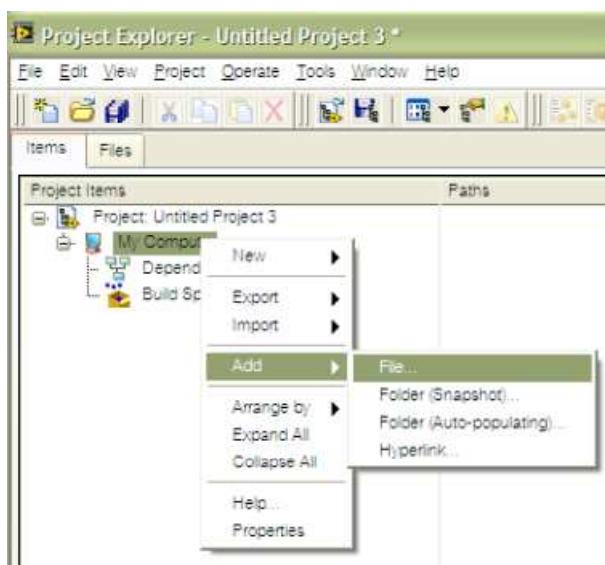


Figura 6-4: Vista de pantalla de proyectos. Fuente Propia.

6.2.1. PANEL FRONTAL

El panel frontal contiene controles e indicadores que sirven para desarrollar la interfaz de usuario. En el panel frontal presenta la paleta de controles que contiene todos los íconos de controles e indicadores para el desarrollo de la

interfaz de usuario. Los controles e indicadores más usados están en la subpaleta “Modern” figura 6.5.

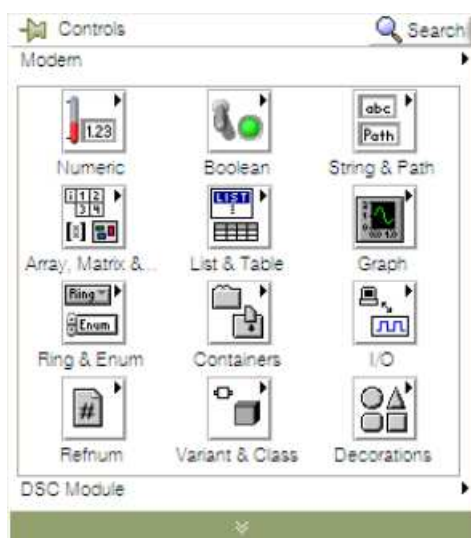


Figura 6-5: Vista subpaleta “Modern”. Fuente Propia.

Todos los elementos del Panel Frontal tienen asociado un Menú Rápido que permite cambiar su apariencia o comportamiento. También los elementos del diagrama de bloques tienen un menú rápido figura 6.6.

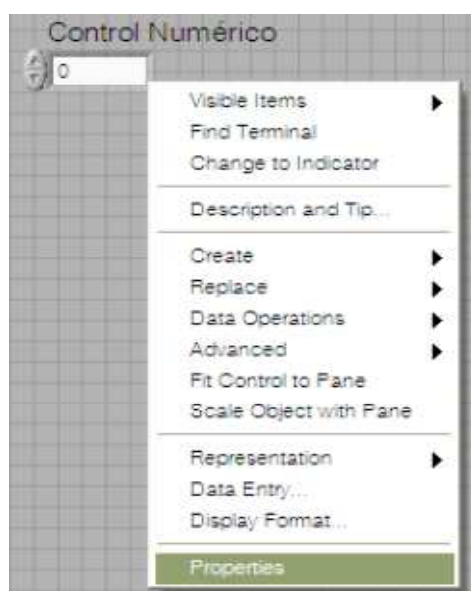


Figura 6-6: Menú rápido. Fuente Propia.

La ventana del panel frontal presenta una barra de Herramientas la cual nos permite configurar la apariencia de la ventana gráfica, de igual forma pasar al estado de operación, cuenta con los siguientes comandos:

1. Run (simulación detenida).
2. Run (VI en ejecución).
3. RunContinuously.
4. Detener el proceso.
5. Detiene el proceso por un tiempo determinado.
6. Íconos de distribución de elementos (permite crear un arreglo de la interfaz gráfica).

6.2.2. DIAGRAMA DE BLOQUES

En el diagrama de bloques no solo se muestran los íconos correspondientes a los elementos colocados en el Panel Frontal, sino también las diferentes funciones, constantes, estructuras y cables utilizados en la construcción del código o programa.

Cada elemento del diagrama de bloques tiene terminales de entrada y/o salida.

Los elementos del Panel Frontal pueden ser vistos en el diagrama de bloques como ícono o como el tipo de dato que representan, figura 6.7.

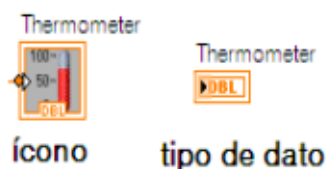


Figura 6-7: Vista ícono o como tipo de dato. Fuente Propia.

Las funciones, constantes, SubVI's del Diagrama de Bloques figura 6.8, no tienen representación en el Panel Frontal.

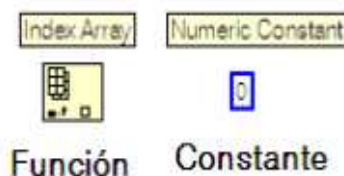


Figura 6-8: Representación de las funciones del VI. Fuente Propia.

Los datos usados en LABVIEW en el diagrama de bloques tienen un color y un tipo de cable característico figura 6.9.

- Booleanos
- Enteros de 32 bits
- Doble Precisión (punto flotante)
- Strings (cadena de caracteres)

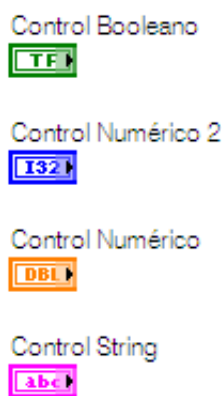


Figura 6-9: Representación de datos usados en LABVIEW. Fuente Propia.

El diagrama de bloques contiene la paleta de funciones donde se encuentra los VI's, funciones y constantes usadas para construir el código del programa. Las funciones más usadas están en la subpaleta "Programming" figura 6.10 .

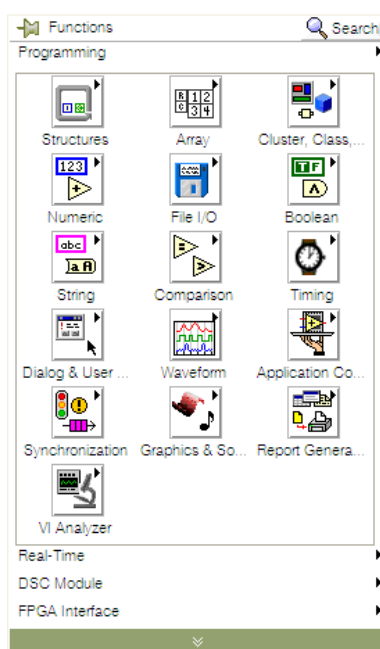


Figura 6-10: Subpaleta "Programming". Fuente Propia.

6.3. IMPLEMENTACIÓN DE UN VI

LABVIEW permite agrupar datos relacionados entre sí, para ello se usan:

- Arreglos: Agrupan datos del mismo tipo.
- Clústers: Agrupan datos de varios tipos.

6.3.1. ARREGLOS

Los arreglos son matrices que agrupan elementos del mismo tipo de dato, pueden tener una o más dimensiones, y en cada una de ellas un número determinado de elementos, figura 6.11. Los elementos en un arreglo están ordenados de tal manera que cada uno tiene índices que indican su posición dentro del arreglo. Se pueden construir arreglos con datos numéricos, booleanos, string, o clúster.

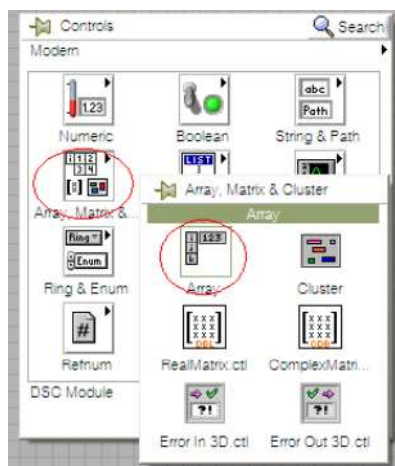


Figura 6-11: Vista de arreglos. Fuente Propia.

Para crear un control o indicador de arreglo, se selecciona en el Panel Frontal el armazón de arreglo. Se coloca dentro del armazón de arreglo, un control o indicador, de tipo numérico, booleano, string, ruta o clúster. El elemento colocado dentro del armazón, define al arreglo en cuanto a su tipo de dato y a su función (control o indicador).

Para poder usar el arreglo en el diagrama de bloques, es necesario colocar un elemento dentro del almacén, figura 6.12.

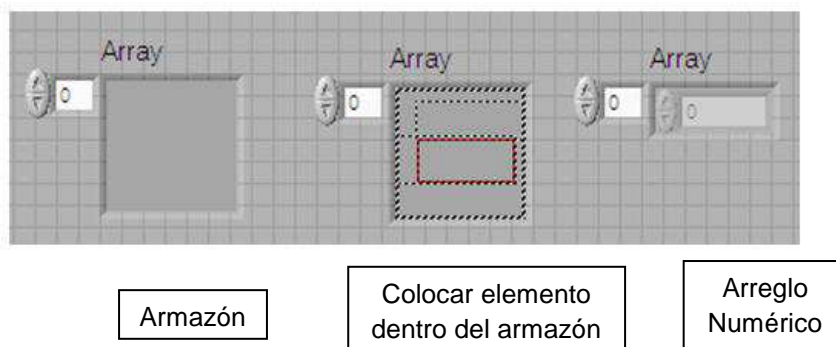


Figura 6-12: Arreglo en el diagrama de bloques. Fuente Propia.

Para trabajar con un vector o una matriz se aumenta el número de dimensiones de un arreglo, se presiona clic derecho sobre el arreglo en el Panel Frontal, y se escoge la opción AddDimension, figura 6.13.



Figura 6-13: AddDimension. Fuente Propia.

Para iniciar un arreglo se tiene la función "InitializeArray" figura 6.14 que permite definir el número de elementos en cada dimensión y el contenido de cada elemento. Un arreglo sin inicializar tiene dimensiones más no elementos.

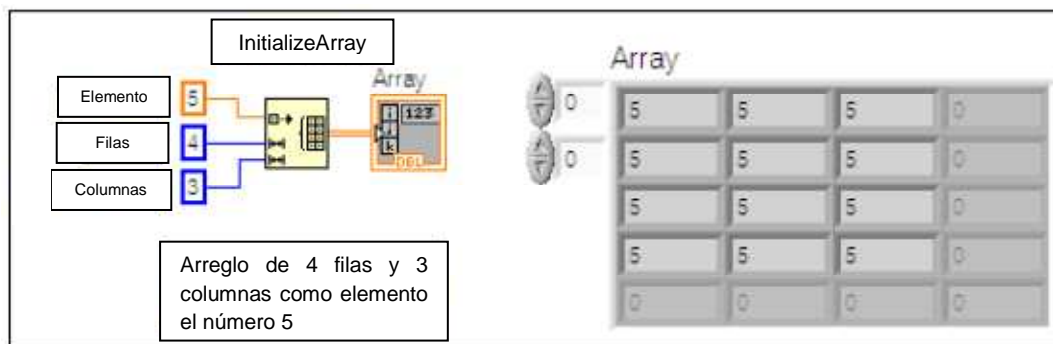


Figura 6-14: Inicio de un arreglo. Fuente Propia.

Para buscar Elementos en un Arreglo se emplea la función “IndexArray” figura 6.15 que permite apuntar a cualquier elemento, o subarray (fila o columna en un 2D Array) y extraer su contenido, para utilizarlo en operaciones posteriores dentro del programa.

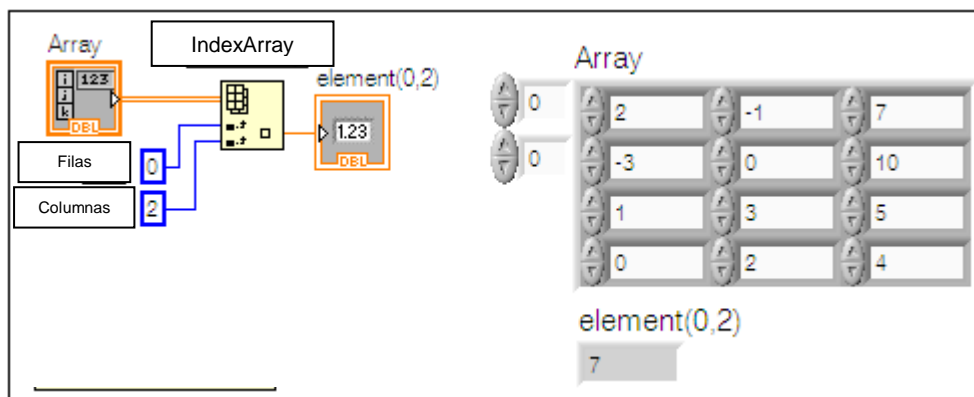


Figura 6-15: Encontrar un elemento en un array. Fuente Propia.

6.3.2. CLÚSTERES

Un clúster agrupa elementos de diferentes tipos de datos (numéricos, booleanos, string, ruta, arreglos). El uso de clústeres elimina el desorden por cableado en el diagrama de bloques.

Para crear un Clúster de controles o indicadores, se selecciona en el Panel Frontal el armazón de Clúster figura 6.16.

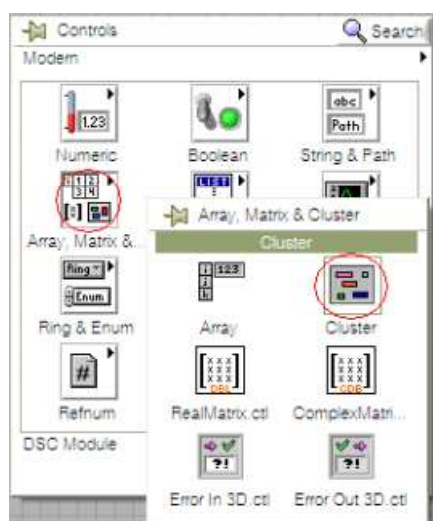


Figura 6-16: Clústeres. Fuente Propia.

Luego se coloca dentro del almacén los elementos deseados que pueden ser de tipo numérico, booleano, string, ruta, o arreglo, o una combinación de ellos figura 6.17.

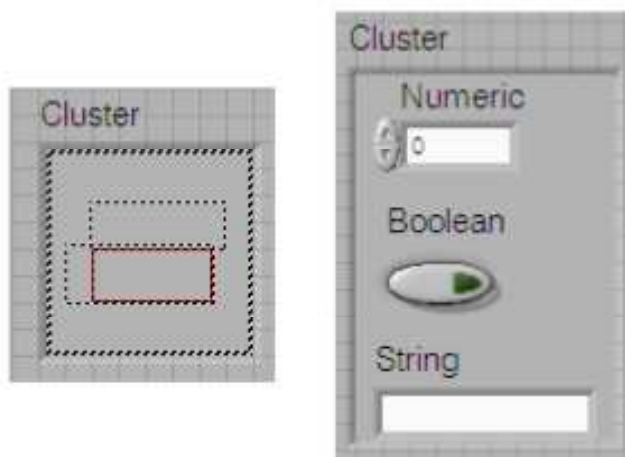


Figura 6-17: Ubicación elementos en el almacén. Fuente Propia.

Los elementos dentro de un Clúster poseen un orden lógico que no tiene que ver con la posición de los elementos dentro del Clúster, sino con el orden de colocación del elemento en el Clúster.

Para cablear Clústeres a otros, ambos Clústeres deben tener el mismo número de elementos. Los elementos correspondientes, determinados por el orden de clúster, deben ser compatibles en sus tipos de datos. Para reorganizar los elementos de un Clúster, se selecciona "ReorderControls In Cluster", que se encuentra en las propiedades del clúster.

Para ensamblar clústeres se tiene la función Bundle figura 6.18 que permite comunicar un clúster a partir de elementos individuales que pueden ser de tipo numérico, booleano, string, ruta o arreglo.

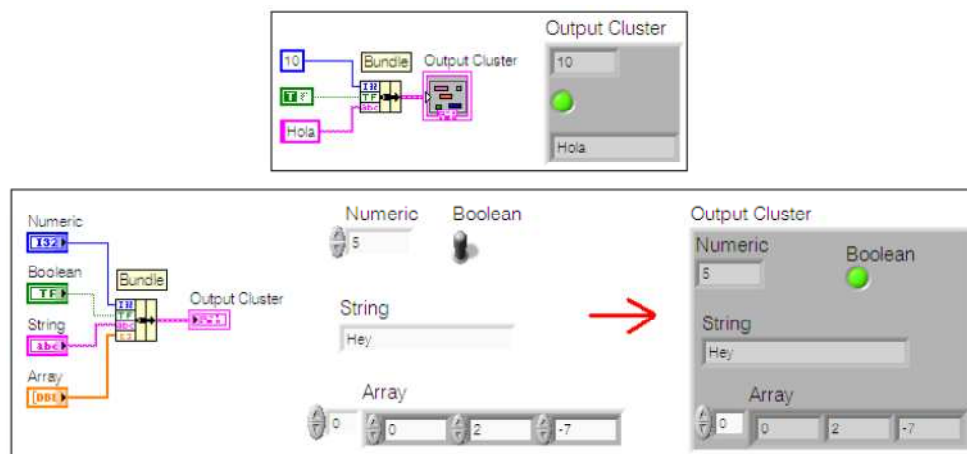


Figura 6-18: Función "Bundle". Fuente Propia.

En el caso de tener dentro de un mismo clúster más de un elemento del mismo tipo de dato, la acción de modificar al clúster se complica, puesto que se vuelve necesario el conocer el orden de clúster. En caso de cambiar el clúster aumentando o quitando elementos, la función Bundle no se ajusta al cambio, por lo que hay que hacer ajustes manualmente. La función "BundlebyName" figura 6.19, permite modificar un clúster identificando a sus elementos en base a su nombre o etiqueta, lo cual evita conocer el orden de clúster.

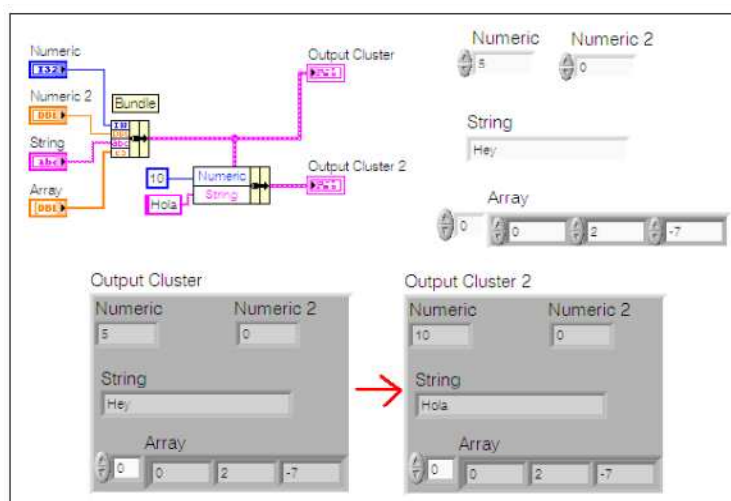


Figura 6-19: Función "BundlebyName". Fuente Propia.

Al descomponer un clúster se extrae uno o varios de los elementos que componen el clúster. Esta extracción facilita el uso de los elementos de un Clúster de forma individual. Para descomponer un clúster se utiliza la función "Unbundle", la cual divide al clúster en sus elementos individuales, según el tipo de dato y el orden de clúster.

La función “UnbundlebyName” figura 6.20, permite descomponer un clúster en función de los nombres o etiquetas de los elementos que componen el clúster. Con “UnbundlebyName” se extrae solo el elemento que se necesita sin necesidad de extraer los demás.

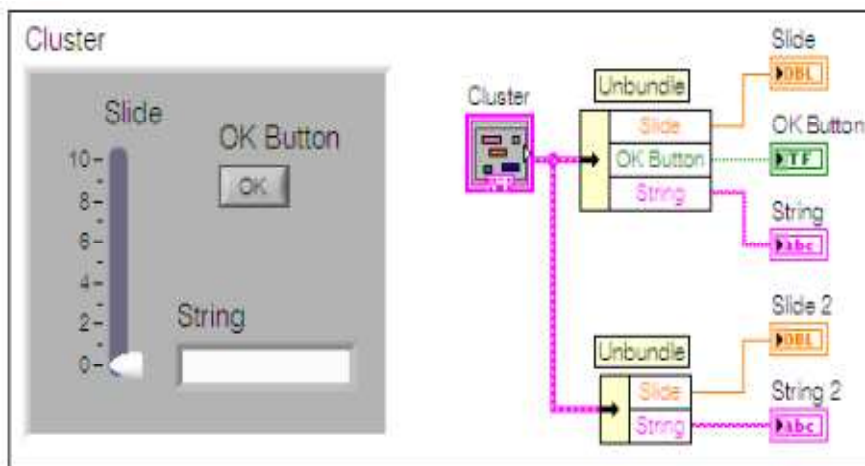


Figura 6-20: Función “UnbundlebyName”. Fuente Propia.

6.3.3. CICLO WHILE

Un WhileLoop figura 6.21 ejecuta un subdiagrama hasta que una condición ocurra, es decir, hasta que su terminal de condición reciba un valor booleano específico. Un WhileLoop tiene un terminal de iteración (terminal de salida), que contiene el número de iteraciones realizadas. La cuenta de iteración inicia en 0.

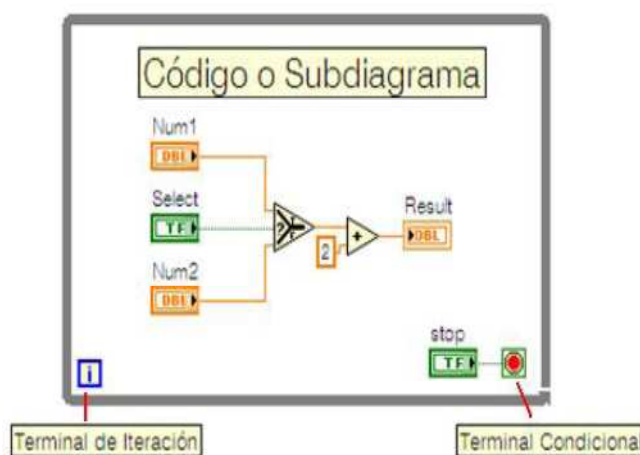


Figura 6-21: Ciclo while. Fuente Propia.

El comportamiento y apariencia por defecto del terminal condicional es “Stop if TRUE”, lo que indica que el WhileLoop ejecuta el código hasta que el terminal condicional tenga un valor booleano de valor verdadero en su entrada.

6.3.3.1. CICLO FINITO CON WHILE LOOP

Se puede controlar el número de iteraciones ejecutadas en un “WhileLoop” figura 6.22, dando un valor booleano adecuado al terminal condicional, mediante un subdiagrama que tome como dato de entrada el contador de iteraciones.

Esto permite que el WhileLoop ejecute solo las iteraciones necesarias.

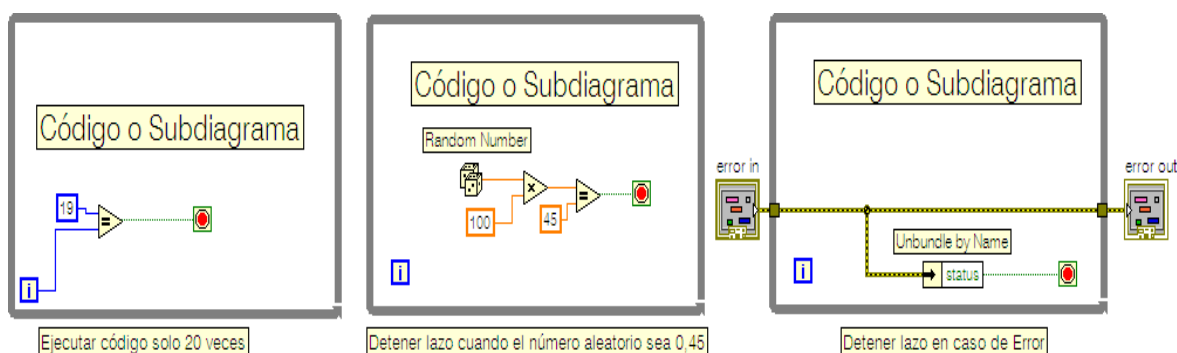


Figura 6-22: Ciclo finito con WhileLoop. Fuente Propia.

6.3.3.2. TÚNELES DE DATOS

Los túneles comunican datos hacia dentro y fuera de las estructuras en LABVIEW. Aparecen como un bloque sólido en el borde de la estructura figura 6.23. El bloque es del color del tipo de dato cableado al túnel. En un WhileLoop con un túnel de entrada, el ciclo se ejecuta solo cuando el dato ha llegado al túnel.

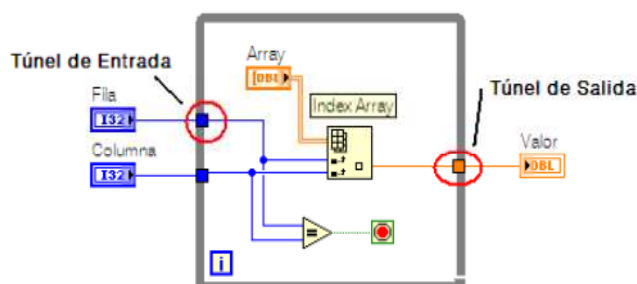


Figura 6-23: Túneles de Datos. Fuente Propia.

En un WhileLoop con un túnel de salida, el dato pasa fuera del túnel solo cuando la ejecución del WhileLoop ha terminado.

Cuando un ciclo termina de ejecutar una iteración, inmediatamente inicia la ejecución de la siguiente, a menos que alcance una condición de paro.

Se puede temporizar la frecuencia de ejecución de cada iteración, mediante funciones de espera. Esto permite al procesador atender otras funciones.

Una función de espera se coloca dentro de un ciclo para que el VI se desactive por una cantidad de tiempo determinada. Existen dos funciones que realizan esta tarea, “WaitUntilNext ms Multiple” y “Wait (ms)” figura 6.24. Se coloca una de estas funciones dentro de la estructura y colocamos una constante numérica correspondiente al tiempo de retardo en milisegundos (ms).

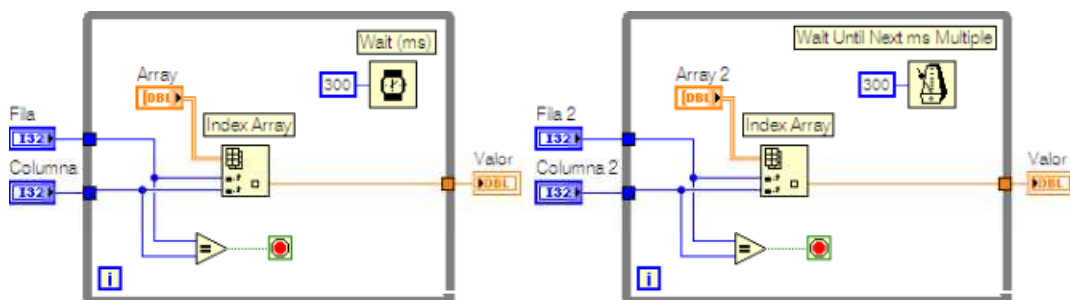


Figura 6-24: Frecuencia de ejecución. Fuente Propia.

6.3.4. REGISTROS DE DESPLAZAMIENTO

Cuando en un ciclo, se requiere conocer los datos de iteraciones previas, podemos utilizar elementos de memoria que guardan estos datos para poder utilizarlos en iteraciones próximas. Estos elementos de memoria en LABVIEW se denominan Registros de Desplazamiento “ShiftRegister”.

Los registros de desplazamiento transfieren valores de datos desde una iteración del ciclo a la siguiente, son similares a las variables estáticas en los lenguajes de programación basados en texto.

Un registro de desplazamiento aparece como un par de terminales directamente opuestos uno con otro a los lados verticales del borde del ciclo.

El terminal del lado derecho contiene la información de la iteración actual, mientras que el terminal del lado izquierdo contiene la información de la iteración anterior; es decir, que al final de cada iteración, el terminal derecho transfiere su información al terminal izquierdo. Para colocar un “ShiftRegister” en una estructura, se selecciona “AddShiftRegister” figura 6.25.



Figura 6-25: Registro de desplazamiento. Fuente Propia.

Un registro de desplazamiento transfiere cualquier tipo de dato y cambia automáticamente al tipo del primer objeto cableado a él.

Se inicializa un registro de desplazamiento para ingresar un dato inicial deseado al ciclo en la primera iteración, o bien para borrar el último valor almacenado por el registro de desplazamiento en la última ejecución del VI.

Un Registro de Desplazamiento se inicializa cableando un control o una constante al lado izquierdo del terminal izquierdo del registro de desplazamiento figura 6.26.

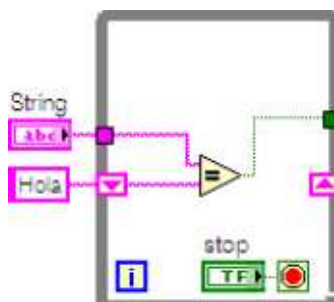


Figura 6-26: Inicialización de un registro de desplazamiento. Fuente Propia.

6.3.5. GRÁFICAS EN LABVIEW

LABVIEW cuenta con varios recursos gráficos para trazar datos. Tres de los más importantes y comunes son:

- Waveform Chart
- Waveform Graph
- XY Graph

6.3.5.1. WAVEFORM CHART

Es un tipo especial de indicador numérico que despliega uno o más puntos de datos adquiridos figura 6.27. Se puede desplegar trazas simples o múltiples.

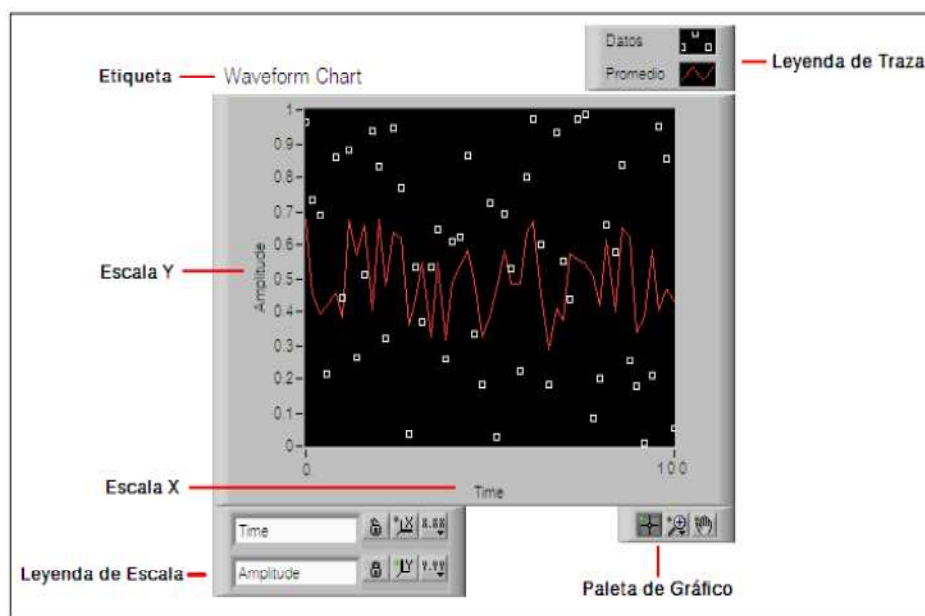


Figura 6-27: Gráfica "waveform chart". Fuente Propia.

6.3.5.2. WAVEFORM GRAPH

Sirve para trazar datos recolectados en un arreglo. Traza funciones con valores simples como $y=f(x)$, con puntos igualmente distribuidos a lo largo del eje x, tales como formas de onda variando en el tiempo.

Se puede realizar trazas simples o múltiples en un WaveformGraph figura 6.28.

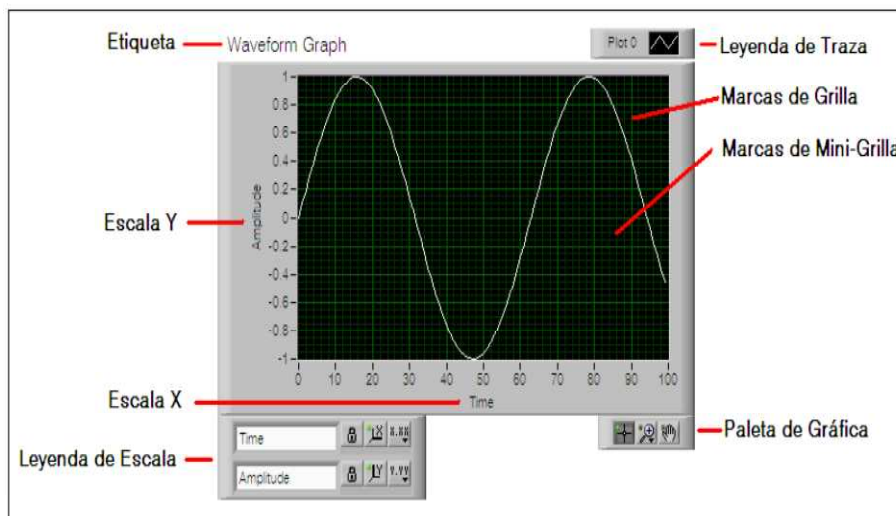


Figura 6-28: Gráfica “waveformgraph”. Fuente Propia.

6.3.5.3. XY GRAPH

Las gráficas XY despliegan cualquier tipo de puntos, ya sean estratificados o no. Existen tres tipos de datos que se puede vincular a una “XY Graph”.

- Un clúster que contiene un arreglo x y un arreglo y.
- Arreglo de puntos, donde un punto es un clúster que tiene un valor x y un valor y.
- Arreglo de datos complejos, en donde la parte real se grafica en el eje x y la parte imaginaria se grafica en el eje y.

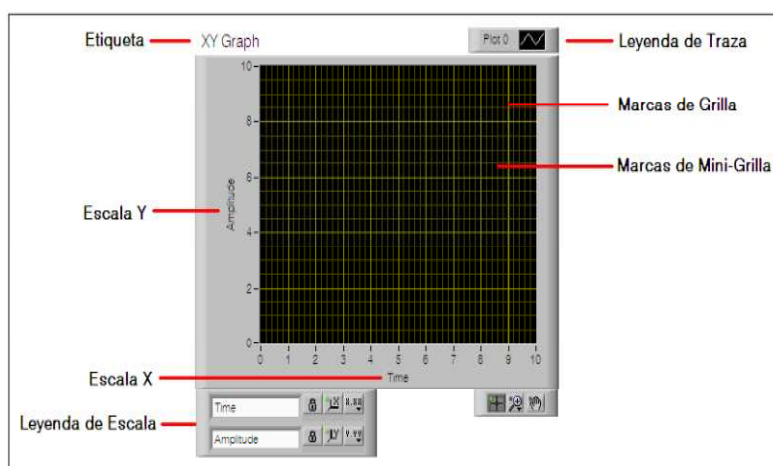


Figura 6-29: “Función XY Graph”. Fuente Propia.

6.3.6. ESTRUCTURA CASE

Una estructura Case posee dos o más casos. Solo un caso o subdiagrama es visible a la vez, y la estructura ejecuta solo un caso a la vez. La estructura Case tiene un terminal de entrada que controla que caso ejecutar.

La etiqueta de selector de caso en la parte superior de la estructura Case figura 6.30, contiene en medio el nombre del valor selector que corresponde al caso y flechas de incremento y decremento en cada lado, las cuales sirven para movernos de un caso a otro.

Si el tipo de dato del terminal selector es booleano, la estructura posee solo dos casos: "TRUE" y "FALSE".

En caso de vincular un dato numérico al terminal selector se tiene cualquier número de casos, siendo el caso "0" el caso por defecto.

En caso de vincular un dato tipo string al terminal selector, se puede tener cualquier número de casos, siendo " " (espacio vacío) el caso por defecto.

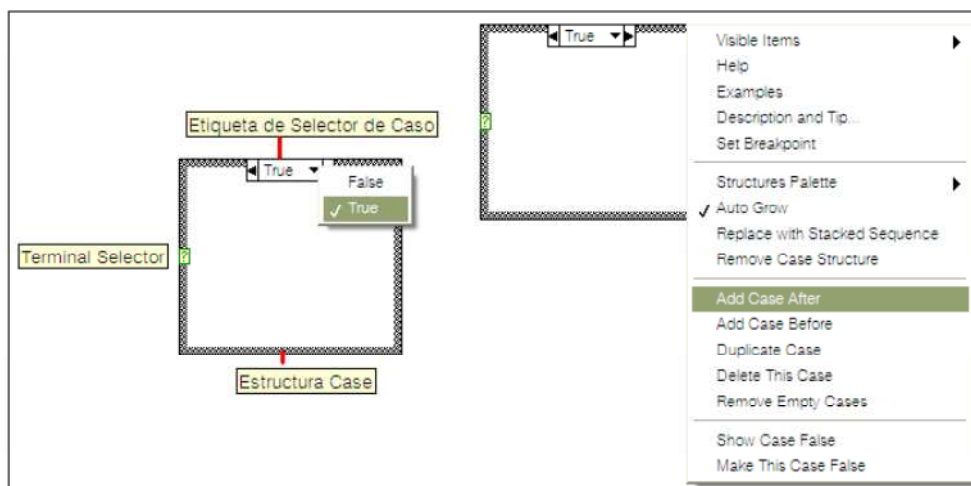


Figura 6-30: Estructura case. Fuente Propia.

6.3.6.1. TÚNELES DE ENTRADA Y SALIDA

En una estructura case se tiene múltiples túneles de entrada o salida.

Las entradas están disponibles en todos los casos, pero los casos no requieren de usar todas las entradas.

Los túneles de salida deben tener un valor vinculado desde cada caso, caso contrario el código no se ejecuta. Mientras un túnel de salida no esté conectado desde todos los casos, el centro del túnel aparece en blanco. Para solucionar este problema debemos unir una salida al túnel en cada caso figura 6.31.

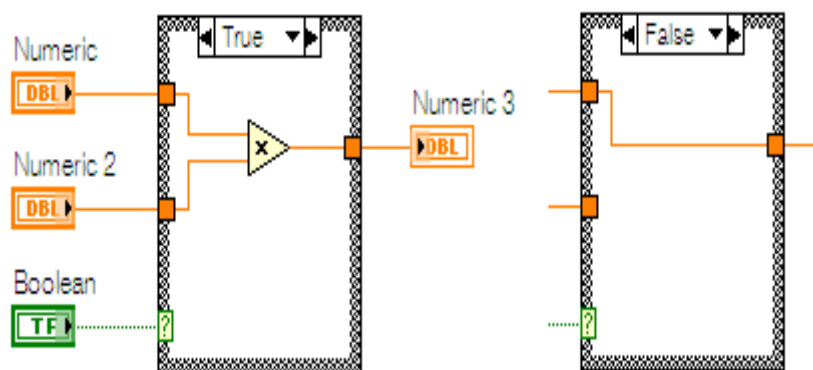


Figura 6-31: Túneles de entrada y salida. Fuente Propia.

6.3.6.2. TIPOS DE SELECTORES DE CASO

6.3.6.2.1. BOOLEANOS.

Ejemplos de selectores del tipo booleano se observa en la figura 6.32.

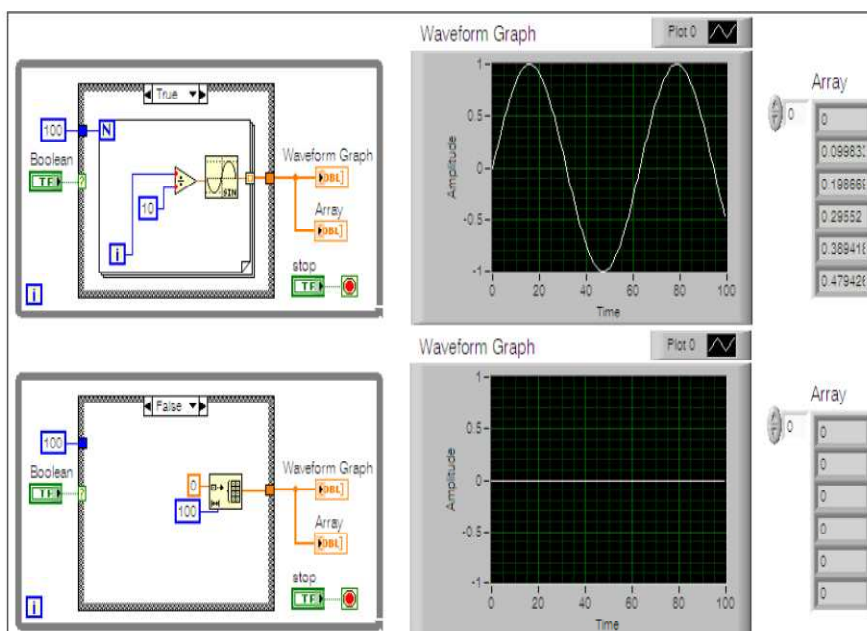


Figura 6-32: Selector booleano. Fuente Propia.

6.3.6.2. Entero: Tiene número indefinido de casos figura 6.33.

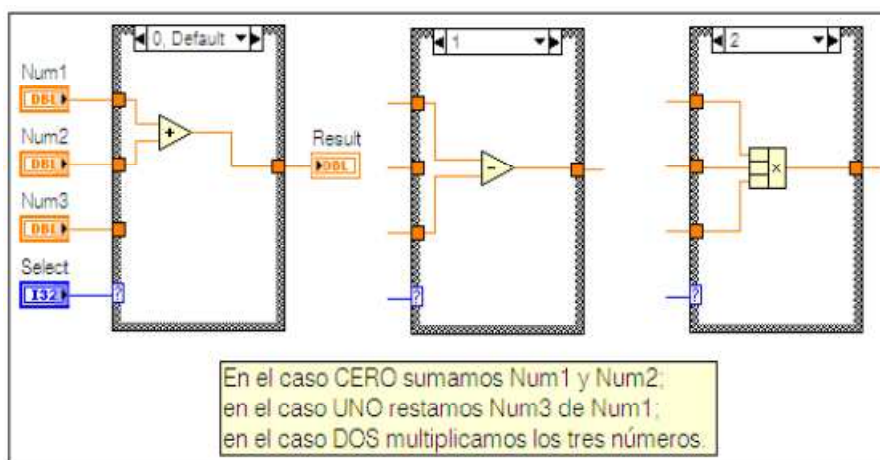


Figura 6-33: Selector entero. Fuente Propia.

6.3.6.2.3. String: Tiene número indefinido de casos figura 6.34.

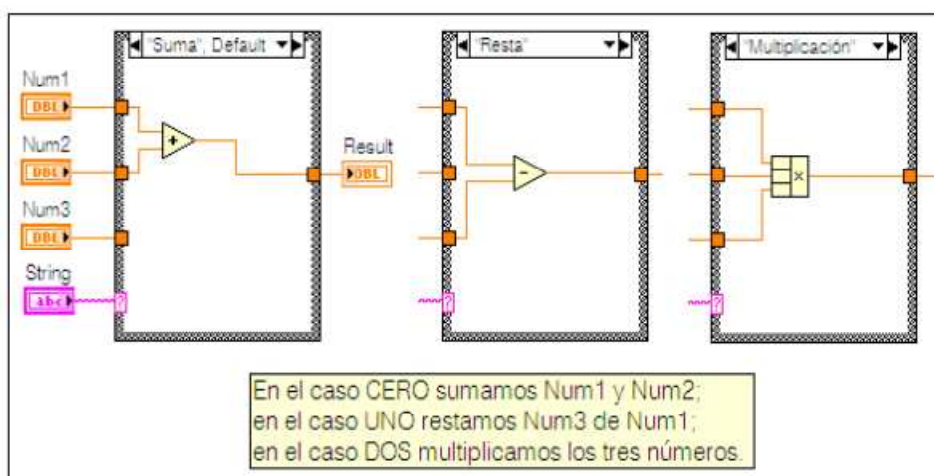


Figura 6-34: Selector string. Fuente Propia.

En el caso de un selector String, debemos escribir en el control de string el nombre del caso. En cada caso se hace doble clic en la etiqueta de caso, y escribir el nombre deseado entre.

6.3.6.2.4. Enum: Tiene número de casos dado por el número de ítems figura 6.35.

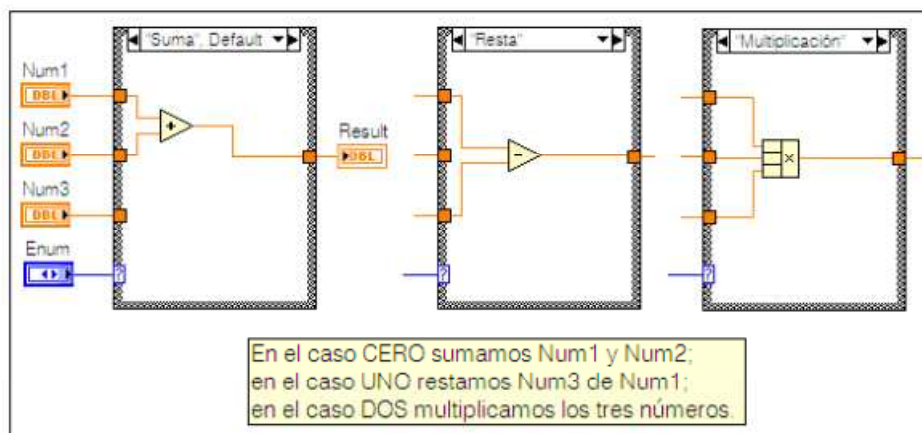


Figura 6-35: Selector de enum. Fuente Propia.

Los nombres de los ítems deben coincidir con los nombres de los casos para poder seleccionar adecuadamente cada caso.

6.3.7. CREACIÓN DE SUBVI'S

Una aplicación modular es más sencilla de modificar y entender, y cada uno de sus componentes tiene el mínimo impacto sobre los demás. Una aplicación modular usa llamados a funciones o segmentos de código. En LABVIEW, un SubVI es un VI dentro de otro VI; es el equivalente a una subrutina en un lenguaje de programación basado en texto. Cualquier VI puede ser un SubVI, para ello basta con definir sus terminales de entrada y salida en el panel conector, y editar el ícono del VI, el cual se encuentra en la parte superior derecha del Panel Frontal y del Diagrama de Bloques.

Cuando se crean VI's se encuentran ciertas operaciones con frecuencia; en estos casos necesitamos repetir varias veces un mismo segmento de código; para reducir el código y volver a la aplicación más ordenada y modular podemos hacer que el segmento de código que se repite con frecuencia sea un SubVI, el cual es llamado cada vez que se necesite.

Luego que el Panel Frontal y el Diagrama de Bloques de un VI estén contruidos, elaboramos el ícono y el panel conector para que podamos usar el VI como un SubVI.

El ícono es una representación gráfica de un VI; puede contener texto, imágenes o una combinación de ambos. Si se utiliza un VI como SubVI el ícono define al SubVI en el diagrama de bloques del VI; es decir al usar el SubVI en un nuevo VI, en el diagrama de bloques del nuevo VI aparece el ícono del SubVI.

Por defecto LABVIEW muestra el siguiente ícono figura 6.36, en cada nuevo VI, en la esquina superior derecha del Panel Frontal y Diagrama de Bloques.



Figura 6-36: Ícono de un nuevo VI. Fuente Propia.

El panel conector es el conjunto de terminales que corresponden a los controles e indicadores de un VI.

El panel conector define las entradas y salidas que se pueden vincular al VI para que pueda ser usado como SubVI.

Un panel conector recibe datos en sus terminales de entrada y pasa los datos al código del SubVI, y luego de la ejecución del mismo los resultados de la ejecución son pasados a los terminales de salida del panel conector.

Por default LABVIEW asigna el panel conector que se observa en la figura 6.37 a todo VI, el cual puede ser modificado por el usuario.

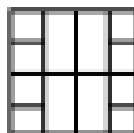


Figura 6-37: Panel conector a todo VI. Fuente Propia.

6.3.7.1. CONFIGURANDO EL PANEL CONECTOR

Para definir un Panel Conector, se hace clic derecho en el ícono de la parte superior derecha del Panel Frontal y se selecciona “Show Conector” figura 6.38. En lugar del ícono aparece el panel conector que por defecto tiene un

patrón de conexión de 28 casilleros. Para cambiar el patrón de conexiones se hace clic derecho en el panel conector y se selecciona “Patterns”. Cada rectángulo o casillero en el panel conector representa un terminal a los que se puede asignar una entrada o salida de nuestro VI. Se usa los terminales de la izquierda para las entradas y los de la derecha para las salidas.

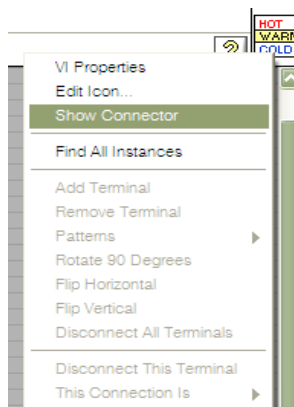


Figura 6-38: Panel Conector. Fuente Propia.

6.3.7.2. TERMINALES PARA CONTROLES E INDICADORES

Para asignar un terminal a un control o indicador del panel frontal, se vincula un terminal del panel conector, con el control o indicador del panel frontal que se desea asignar al terminal. Al hacer clic en un área abierta del panel frontal, el terminal del panel conector cambia al color del tipo de dato asignado como se observa en la figura 6.39.

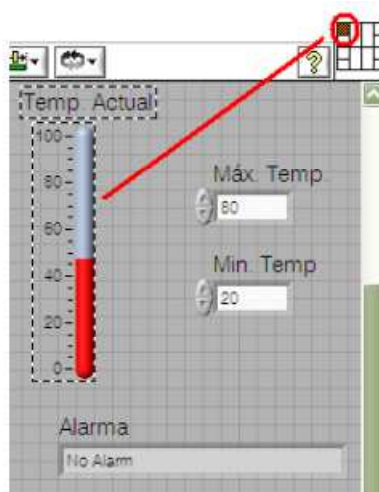


Figura 6-39: Terminales para los controles en SubVI. Fuente Propia.

6.3.7.3. ASIGNAR UN SUBVI

Para colocar un SubVI en el diagrama de bloques, se selecciona el botón “Select” a VI en la paleta “Functions”.

Para editar un SubVI figura 6.40, se puede hacer doble clic sobre el ícono en el diagrama de bloques y se abre tanto el Panel Frontal como el Diagrama de Bloques del SubVI.

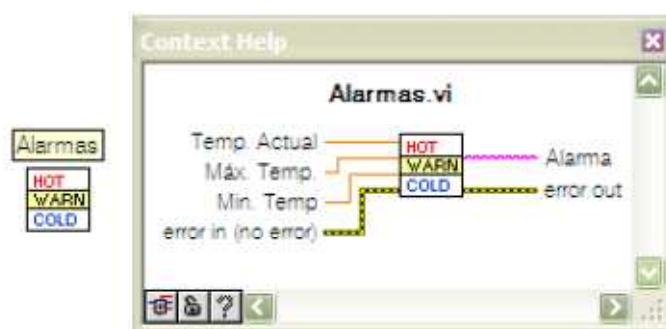


Figura 6-40: Editar un SubVI. Fuente Propia.

Al usar un SubVI la ventana ContextHelp muestra las etiquetas de los terminales. Los terminales requeridos aparecen en negrita, los recomendados como texto plano y los opcionales aparecen opacos. Toda función en LABVIEW (o también SubVI) necesita sus entradas requeridas vinculadas para funcionar.

6.3.8. ANALIZANDO Y GUARDANDO DATOS DE MEDICIÓN.

El análisis y almacenamiento de datos es usualmente una parte importante de cualquier proyecto. Por eso es necesario aprender sobre la manipulación de cadenas y analizar datos numéricos.

La adquisición de datos es parte esencial de un trabajo donde las tareas requieren de una interacción con procesos físicos, con el fin de extraer información relevante para tomar decisiones, obtener resultados. Para eso los datos deben ser manipulados y analizados.

6.3.8.1. LEYENDO Y ESCRIBIENDO DATOS A ARCHIVO

Una operación típica de leer y escribir de un archivo involucra los siguientes procesos:

- Crear o abrir un archivo existente.
- Leer desde, o escribir en, el archivo.
- Cerrar el archivo.

Los VIs para un archivo y algunas funciones, tales como las funciones “Readfrom Text File” y “Writeto Text File”, pueden realizar todos los tres pasos de operaciones comunes de archivos. Si se escribe un archivo en un ciclo, se use VIs de archivo de Bajo Nivel.

6.3.8.1.1. VERTIMIENTO A DISCO CON FUNCIONES DE BAJO NIVEL

El vertimiento a disco es una técnica para mantener archivos abiertos mientras se realizan múltiples operaciones de escritura, por ejemplo, dentro de un ciclo.

Los VIs pueden ser más eficientes si se evita abrir y cerrar los mismos frecuentemente.

- **No vertimiento a disco:** Abre y cierra el archivo durante cada iteración de ciclo figura 6.41.

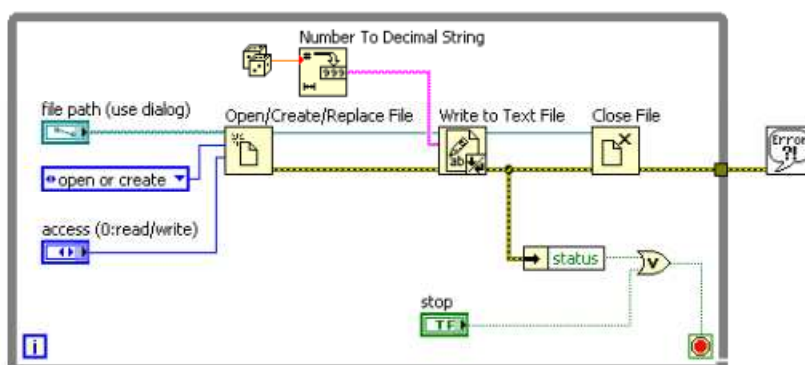


Figura 6-41: No vertimiento a disco. Fuente Propia.

- **Vertimiento a disco:** Abre y cierra el archivo una sola vez, antes y después del ciclo, reduciendo así el número de veces que el VI

debe interactuar con el Sistema Operativo para abrir y cerrar el archivo figura 6.42.

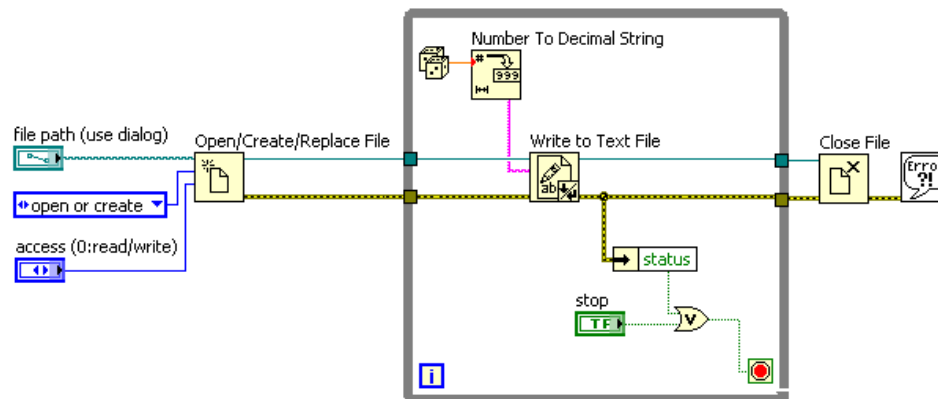


Figura 6-42: Vertimiento a disco. Fuente Propia.

Una vez conocidos estos comandos, se puede comenzar con la programación del LABVIEW.

6.4. PROGRAMACIÓN EN EL LABVIEW

6.4.1. DISEÑO DE LA INTERFAZ HMI

Para el interfaz de usuario, se debe tener en cuenta que el programa requiere que el usuario ingrese datos de forma manual, la información restante va a quedar a disposición del usuario para que la manipule a su gusto.

Para lograr una buena interacción con el usuario, se utiliza una pantalla HMI diseñada en LABVIEW, en ella se van a desplegar todas las páginas que contienen las herramientas (botones, barras de text, títulos, indicaciones, gráficas) que se utiliza para que el usuario sea capaz de ejecutar el programa de una forma adecuada y sencilla, con el objetivo de obtener las curvas características de la bomba centrífuga.



Figura 6-43: Pantalla inicial del programa. Fuente Propia.

Al presionar INICIO en la pantalla inicial del programa figura 6.43, el proceso va a comenzar como pantalla principal se tiene un cuadro de dialogo que indica donde se guarda los archivos que se miden con el programa para poder manipular estos archivos en EXCEL figura 6.44.

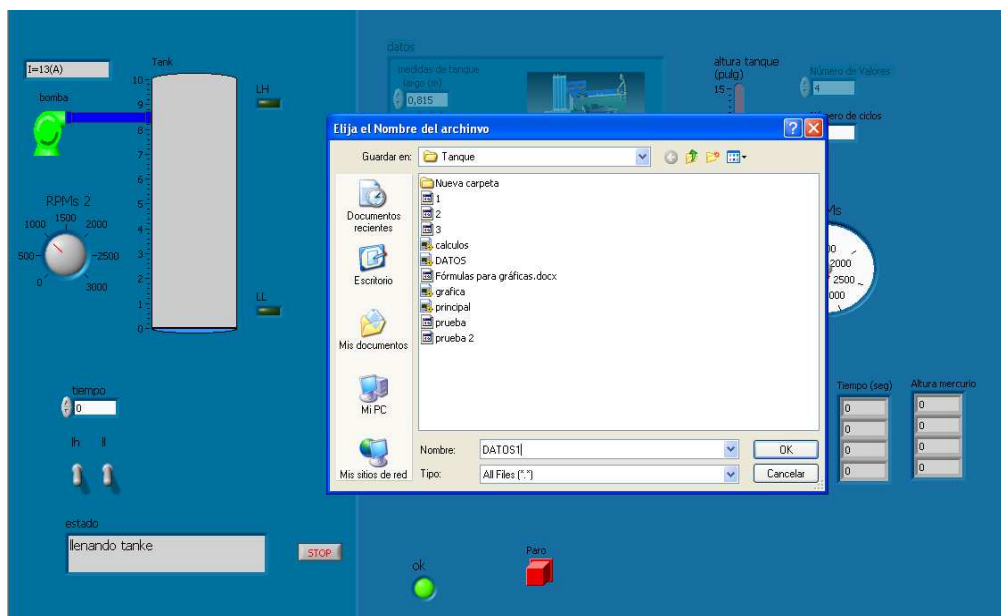


Figura 6-44: Ventana de inicio de programa. Fuente Propia.

Una vez direccionado el archivo donde se guardan los datos obtenidos durante el proceso, se ingrese a la pantalla general de datos donde se configura las variables propias del sistema, las cuales son:

1. La sección transversal interna de los tanques constituyen variables propias del sistema para construir las curvas características de la bomba centrífuga.
2. El área transversal interna de las secciones del Tubo Venturi.
3. Las dimensiones del rodete.
4. Y el peso de calibración de la bomba.

La figura 6.45 muestra la pantalla general de datos

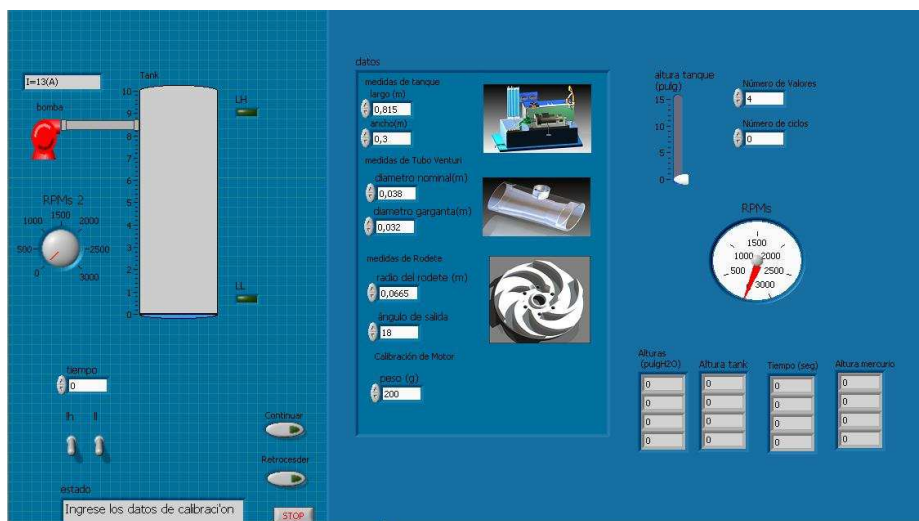


Figura 6-45: Pantalla general de datos. Fuente Propia.

Cuando se finaliza el proceso de ingreso de variables propias del sistema el programa permite pasar a la adquisición de datos por medio del botón “continuar”, una vez activado, se bloquea la pantalla de datos principales y se activa la pantalla de adquisición de datos en donde mediante un control podemos elegir la cantidad de datos que se desee tomar, así también el número de ciclos para los diferentes número de revoluciones que se necesita medir en la práctica. Al conocer el número de ciclos y la cantidad de datos que se desea tomar se activa un botón de marcha, el cual permite ingresar los valores de altura de agua y mercurio que se determinan de los manómetros de

la bomba, el número de revoluciones adquirido con el encoder y el nivel de tanque figura 6.46.



Figura 6-46: Pantalla de adquisición de datos. Fuente Propia.

Cuando los datos del tanque de nivel se determinan se habilita un nuevo botón “paro” el cual permite detener el ciclo por cualquier error que se presente durante el proceso y se enciende el contador del tiempo de llenado del tanque de medida figura 6.47.

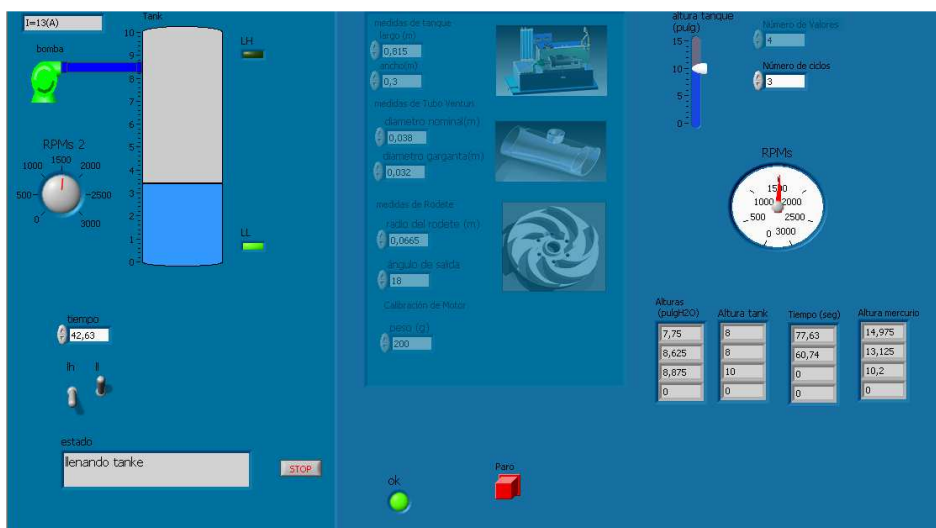


Figura 6-47: Pantalla de paro de ciclo y llenado de tanque de medida. Fuente Propia.

Al finalizar la adquisición de datos del programa se presenta la primera gráfica de la calibración del tubo venturi con la lista de datos, así como la comparación entre la curva real y la curva ideal figura 6.48.

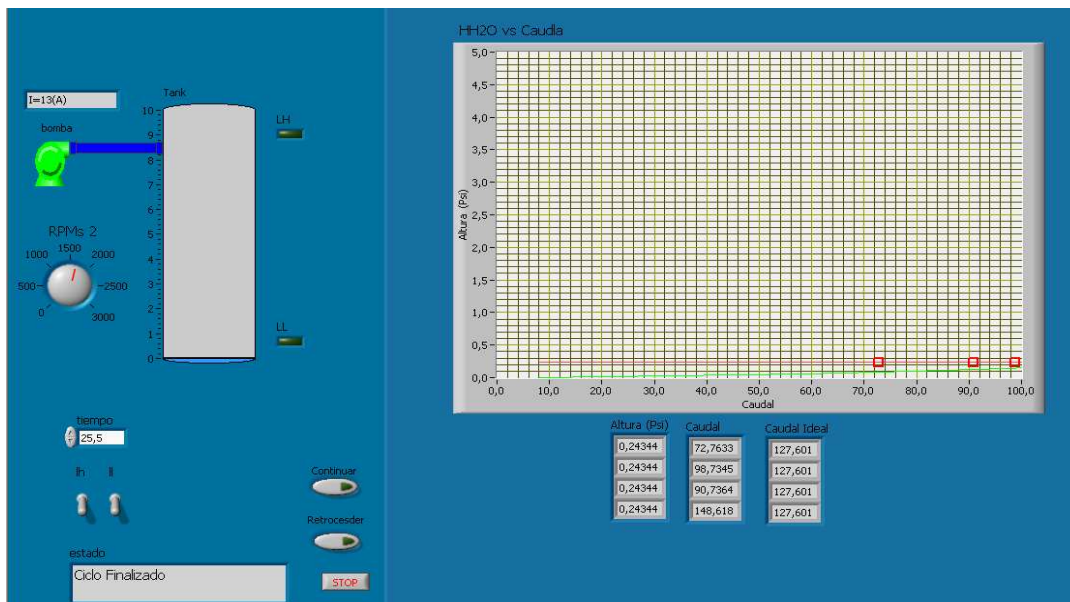


Figura 6-48: Gráfica altura en función del caudal del tubo Ventuari. Fuente Propia.

Mediante el botón continuar se direcciona a la segunda gráfica de la altura manométrica de la bomba en función del caudal. Cada gráfica consta de diferentes opciones para cambiar el tipo de línea, grosor, y diferentes parámetros de formato figura 6.49 .

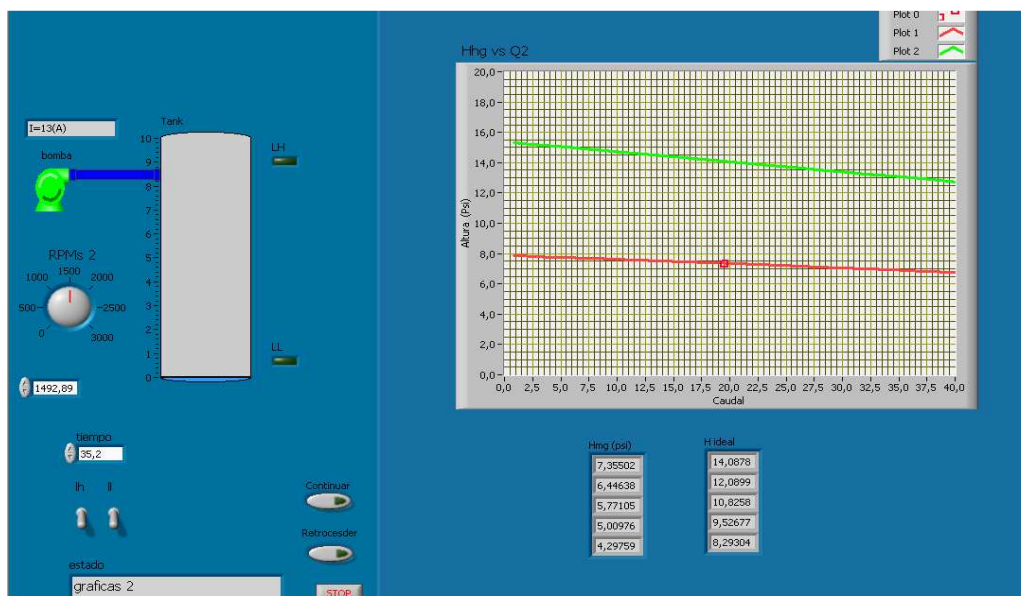


Figura 6-49: Gráfica altura manométrica de mercurio en función del caudal. Fuente Propia.

Al presionar nuevamente el botón continuar se posiciona en la siguiente pantalla donde se visualiza el rendimiento de la bomba en función del caudal figura 6.50.

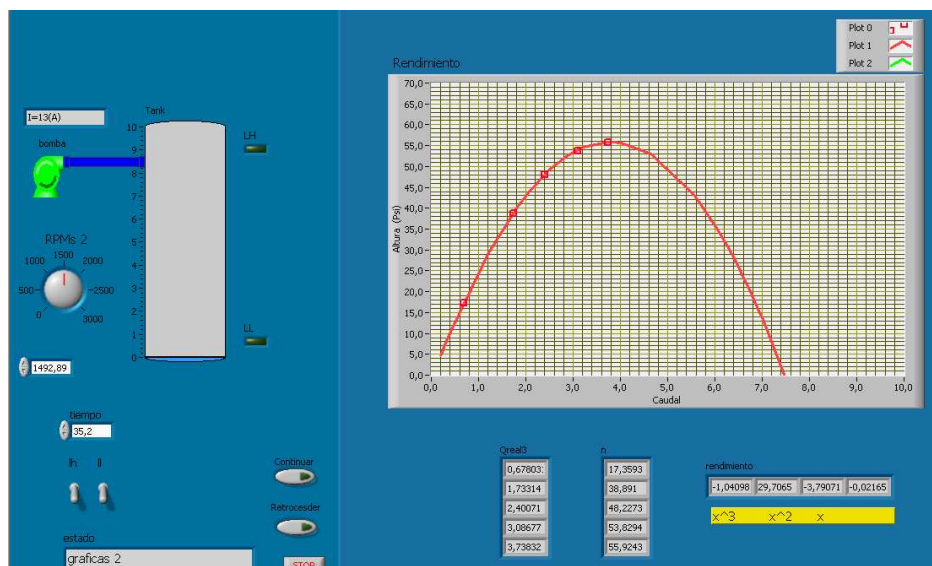


Figura 6-50: Gráfica de rendimiento de la bomba en función del caudal. Fuente Propia.

La gráfica siguiente es la comprobación del sistema que despliega una línea proporcional entre la altura y el caudal para un valor de velocidad, si el sistema tiene un adecuado funcionamiento 6.51.

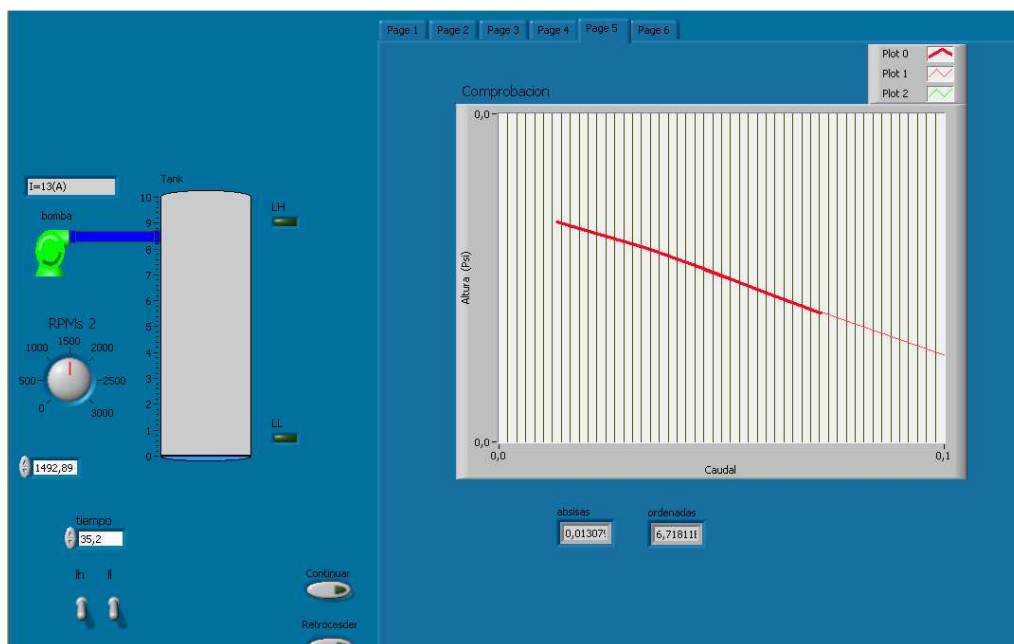


Figura 6-51: Gráfica comprobatoria $\frac{\text{salto}}{\text{velocidad}^2}$ vs $\frac{\text{caudal}}{\text{velocidad}}$. Fuente Propia.

La gráfica final que ejecuta el programa solo se despliega si el número de ciclos es mayor a uno, es decir, para diferente valor de revoluciones elegidas, se establece una comparación entre cada una de las curvas obtenidas en cada uno de los ciclos figura 6.52.

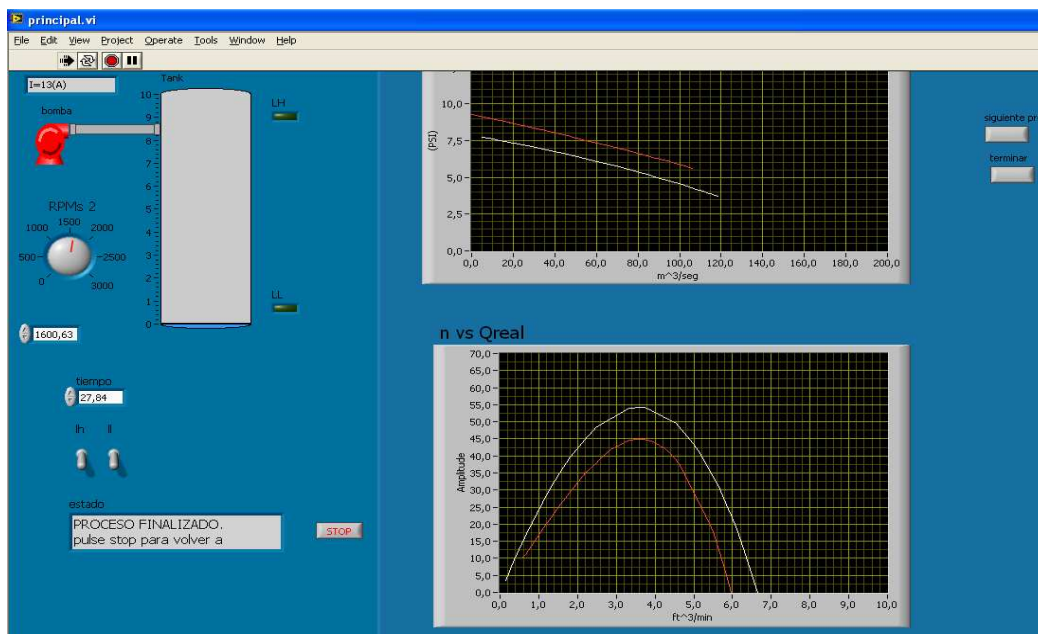


Figura 6-52: Gráficas comparativas de saltos y rendimientos en función del caudal a diferentes RPM. Fuente Propia.

Al finalizar el programa y la toma de datos podemos manipular los datos obtenidos por medio de EXCEL figura 6.53, los datos generados se guardan en la dirección de archivo que se solicita al iniciar la ejecución del programa.

13	ALTURA TAN	ALTURA (psi)	TIEMPO (seg	CAUDAL	RENDIMIENTO
14	4	0	77,63	19,527	0
15	8	0	61,74	49,106	0
16	8	0	43,85	69,14	0
17	10	0	42,63	88,899	0
18	10	0	33,2	114,149	0
19	15	0	45,85	123,983	0
20	15	0	42,85	132,664	0

Figura 6-53: Enlace con LABVIEW – EXEL para guardar datos. Fuente Propia.

6.4.2. SUBROUTINAS DEL PROGRAMA SUBVI

Para desarrollar la programación en LABVIEW se realiza diferentes subrutinas que se conocen con SubVI, se crearon tanto para la realización de cálculos, almacenamiento de datos, y gráficas para facilitar la programación y entendimiento del programa en conjunto figura 6.54.

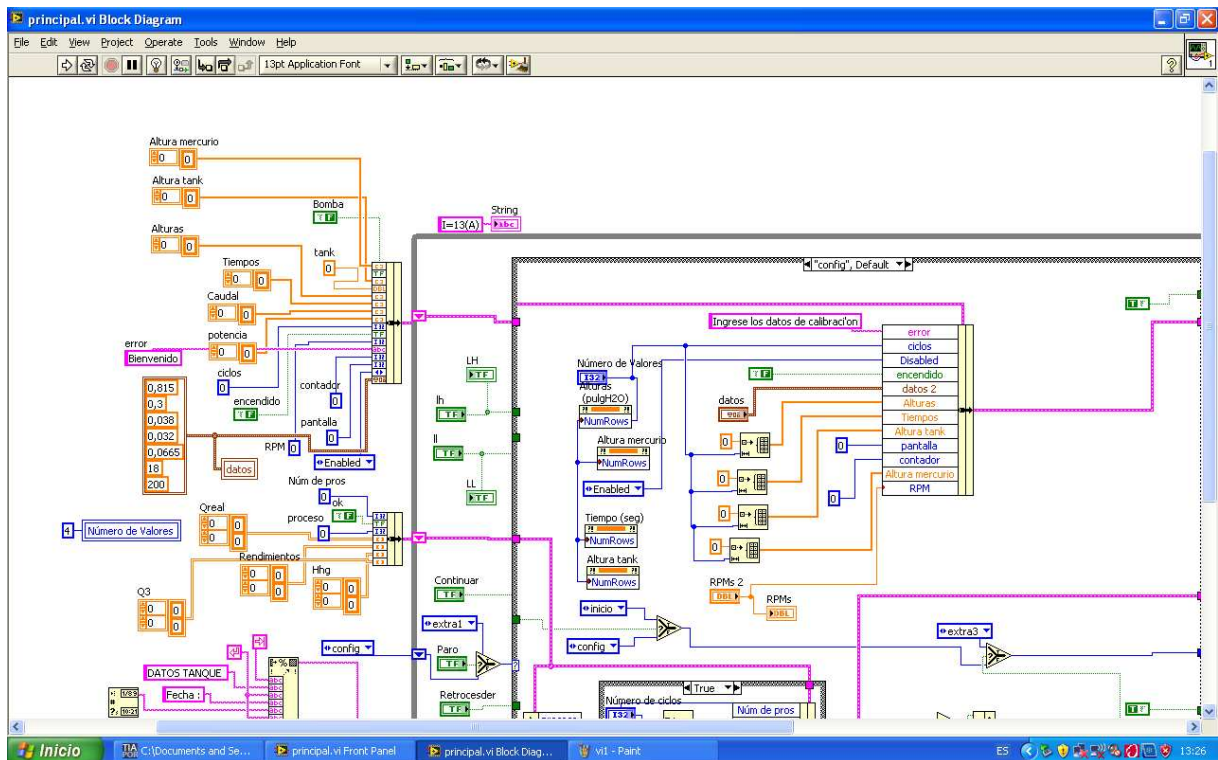


Figura 6-54: Diagrama de Bloques principal. Fuente Propia.

6.4.2.1. SUBVIDE CÁLCULOS

La subrutina de cálculos empieza con la adquisición de datos tomados en la pantalla principal cada uno es tomado mediante y direccionado para ser usado en cada uno de los calculo que se mencionan en el CAPÍTULO 3, necesarios para desarrollar las curvas características, mediante el bloque de operaciones se realiza cada proceso, y bloques de fórmulas se introduce los variables para el desenvolvimiento adecuado del programa, los cálculos obtenidos mediante los bloques se almacenan en clúster, el cual contiene todas las variables calculadas y necesarias para la obtención de las curvas características, como se observa en la figura 6.55.

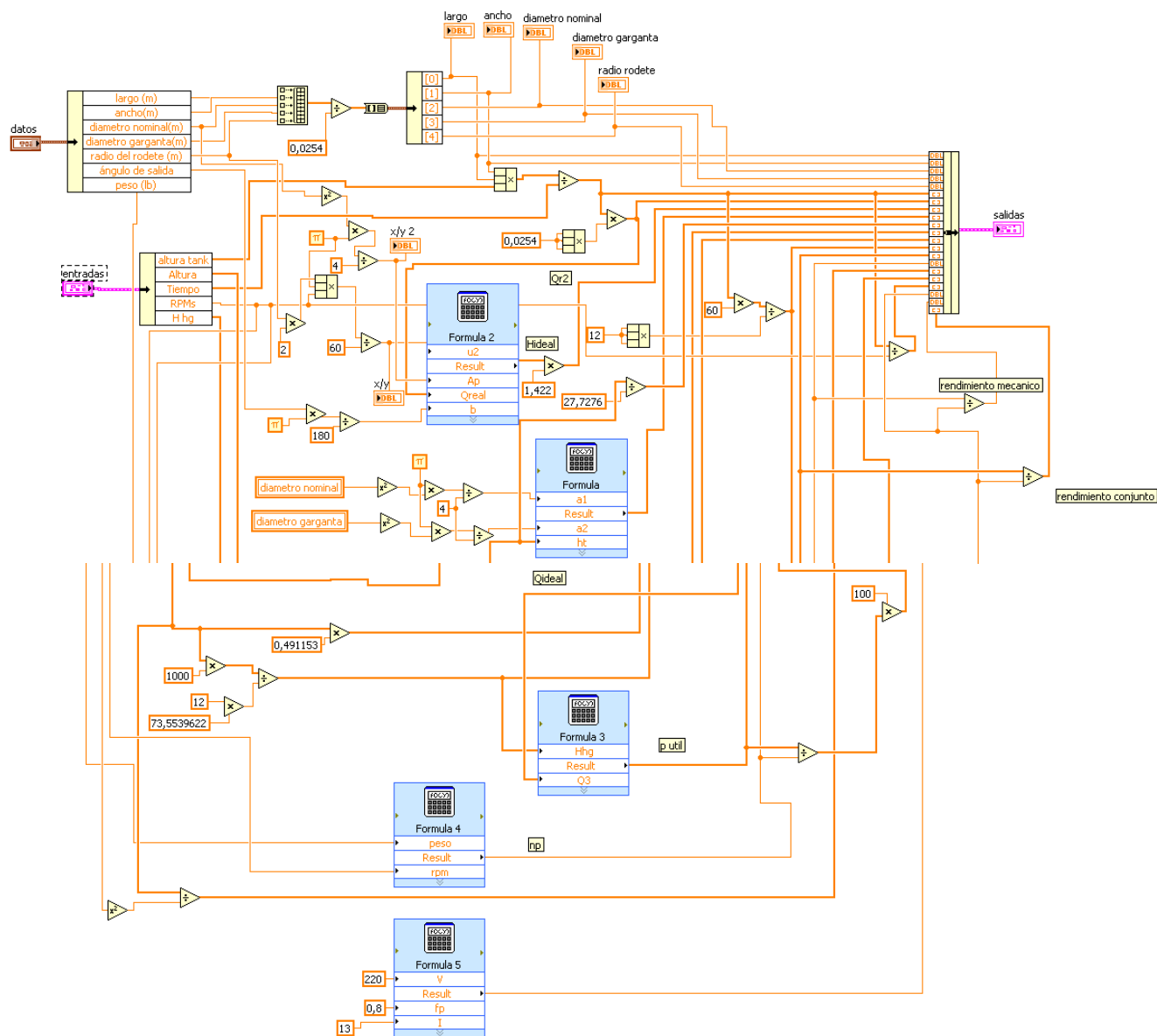


Figura 6-55: SUBVI de cálculos. Fuente Propia.

6.4.2.2. SUBVI DE GRÁFICAS

La subrutina de gráficas permite generar los diferentes polinomios a los que corresponde cada una de las curvas características y mediante el uso de mínimos cuadrados trazar cada una de las curvas, indicando el orden característicos del polinomio y los datos que serán empleados en cada una de las gráficas, el SubVI calcula los coeficiente y mediante un rutina de números randómicos (números al azar) se genera cada uno de los puntos que son trazados figura 6.56.

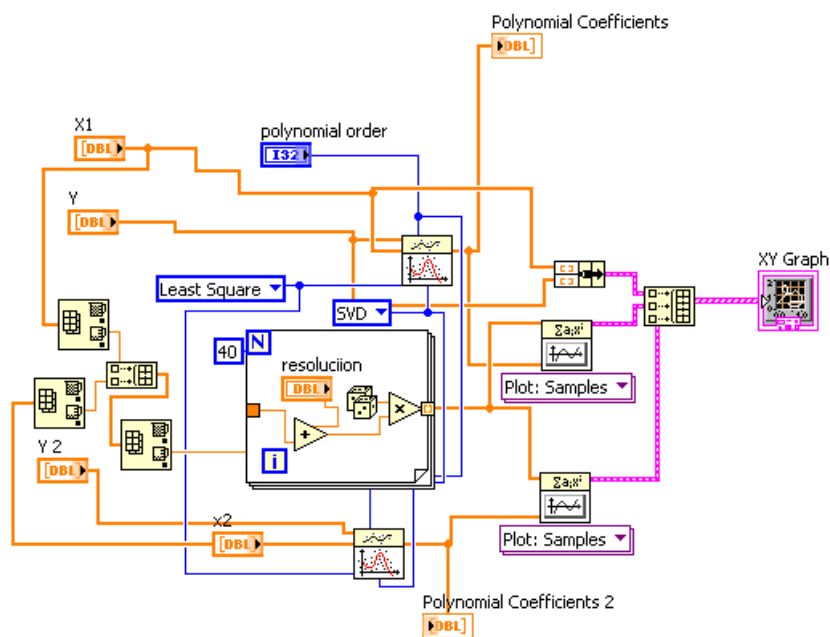


Figura 6-56: SUBVI de gráficas. Fuente Propia.

6.4.2.3. SUBVI DE DATOS

La subrutina direcciona la página en la cual se guardan los datos que se miden durante la ejecución del programa, y genera el orden establecido para que cada valor tomado sea guardado y almacenado de manera ordenada durante cada ciclo y se visualiza en EXCEL para cualquier cálculo posterior y diferentes comprobaciones con el sistema figura 6.57.

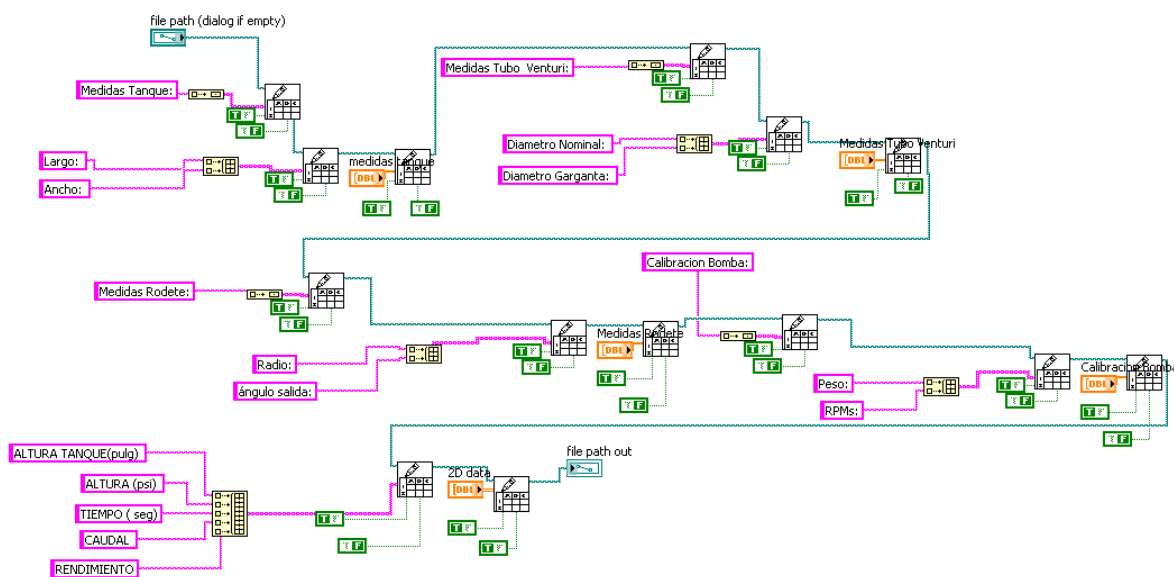


Figura 6-57: SUBVI de datos. Fuente Propia.

6.4.3. DESARROLLO DEL DIAGRAMA DE BLOQUE GENERAL

El diagrama de bloque general consta de tres partes la parte de entrada de datos, parte principal, donde se realizan cada una de las operaciones y conexiones con los diferentes SubVI que se desarrollan y la parte de salida de datos que permite establecer las diferentes iteraciones con cada uno de los bloques de programa.

6.4.3.1. DIAGRAMA DE BLOQUE DE ENTRADA DE DATOS

El diagrama de datos de entrada permite la adquisición de todas las variables que el usuario ingresa para la obtención de las curvas características, mediante bloques genera la fecha y hora en la que se realiza la práctica, y es donde se asegura que una vez finalizado el programa regrese a los valores por defecto establecidos figura 6.58.

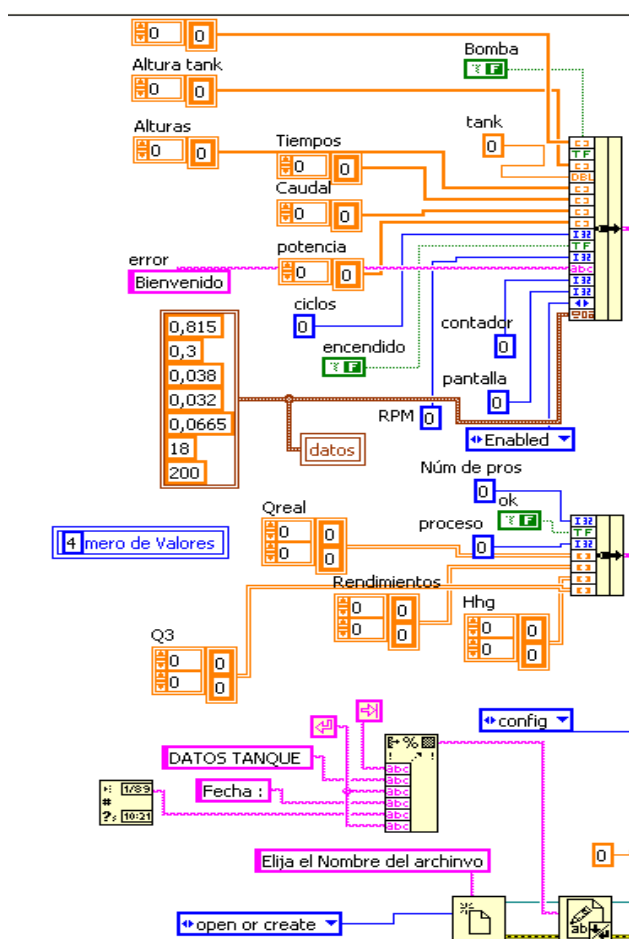


Figura 6-58: Diagrama de datos. Fuente Propia.

En la parte central del programa se tiene dos estructuras “Case” que permite al programa desarrollar en cada una de las pantallas descritas con anterioridad, así la pantalla inicio conecta con cada una de las siguientes pantallas en conformidad el programa avance por órdenes del usuario figura 6.59.

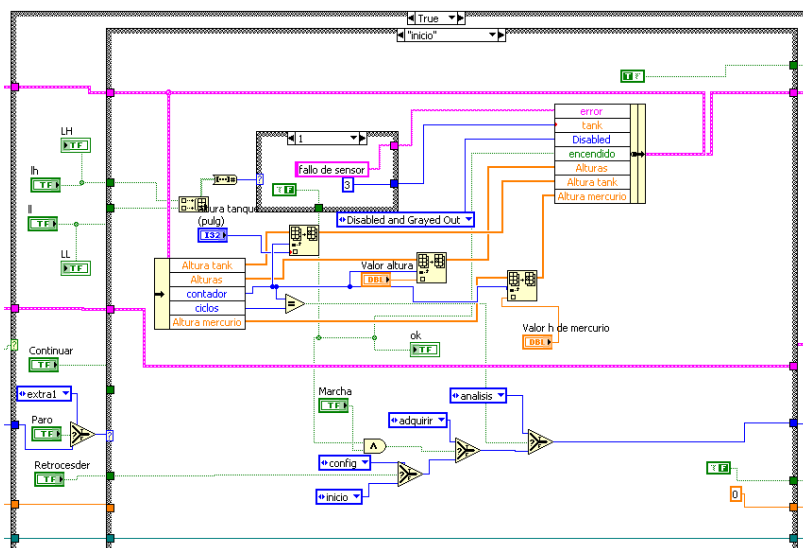


Figura 6-59: Pantalla inicio. Fuente Propia.

La pantalla del “caseadquirir” permite almacenar y trabajar con los datos tomados por el sensor de nivel y despliega señales de alarma cuando el tanque se encuentra lleno, vacío para evitar cualquier error del sistema y desarrollar el programa de una forma adecuada para el usuario figura 6.60.

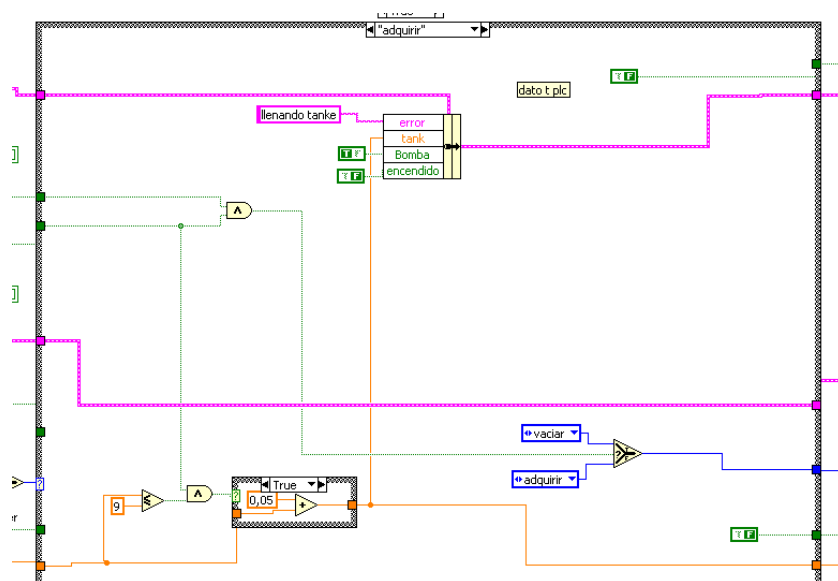


Figura 6-60: Pantalla adquirir. Fuente Propia.

Dentro de la estructura “case” análisis se encuentra una estructura de película la cual genera entre los datos que son graficados una relación para observar cada uno de los datos que se emplean en la realización de cada una de las curvas figura 6.61.

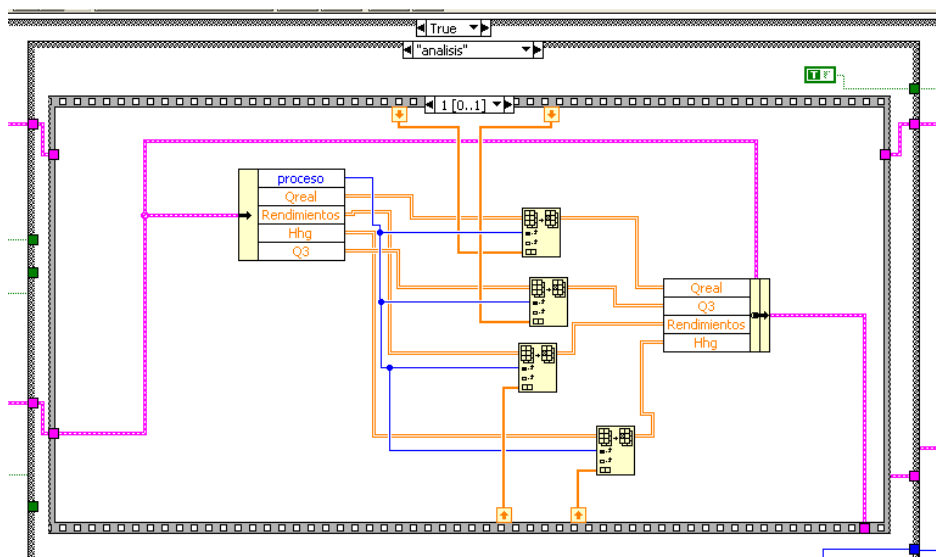


Figura 6-61: Estructura “case” análisis. Fuente Propia.

En la estructura “case” de gráficas se tiene la presencia del SubVI que genera las subrutinas para la obtención de los polinomios característicos de cada una de las curvas características figura 6.62.

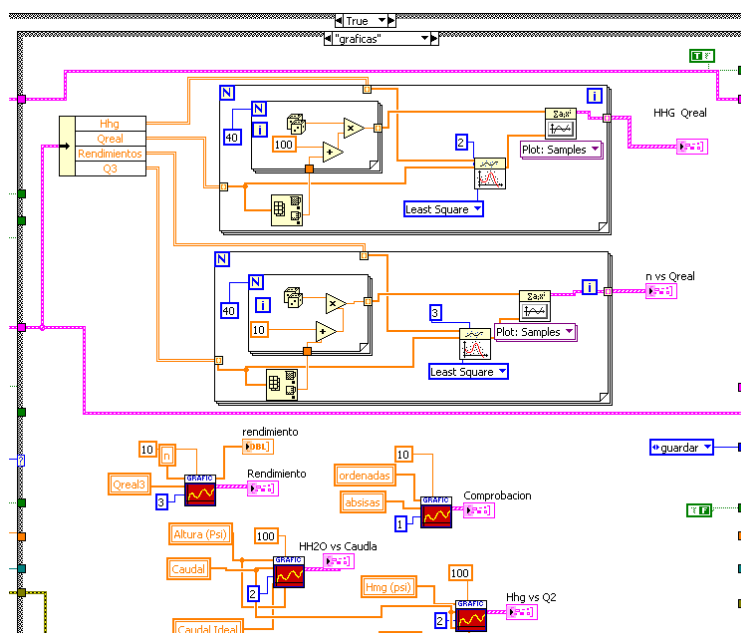


Figura 6-62: Estructura “case” de gráficas. Fuente Propia.

CAPÍTULO 7

7.1. CONCLUSIONES

De todo lo expuesto en esta tesis se concluye:

- El objetivo principal y cada uno de los objetivos secundarios del presente proyecto han sido alcanzados con éxito, ya que se logró obtener resultados satisfactorios a los requerimientos técnicos del Sistema de supervisión y control.

- Una de las decisiones fundamentales que se debe de tomar una vez conocidos todos los requerimientos para un correcto funcionamiento del sistema de control, es la selección del PLC la cual tiene que realizarse bajo parámetros técnicos, los entornos de programación de los PLC's de las diversas marcas presentan similitudes esenciales en los lenguajes de programación, pero normalmente los PLC's de última generación tienen características en la interface programados – plataforma que mejoran la funcionalidad y mejoran la productividad y desarrollo de proyectos, son diferentes.

- El Sistema de supervisión y control puede ser operado por los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Mecánica con adecuado manejo de las instrucciones conocimiento teórico de Bombas Centrifugas, sin necesidad de conocimientos de programación de la plataforma S7-1200 Basic o del Programa LABVIEW.

- El sistema de control presenta las características necesarias para que la automatización del equipo continúe, en lo referente a las señales analógicas con un controlador lógico programable y sensores de las partes del proceso

automatizado de última tecnología, un lenguaje de programación amigable y ampliamente conocido como es el LABVIEW.

7.2. RECOMENDACIONES

- Continuar con el proceso de automatización del Equipo de Prueba con Bomba Centrífuga del Laboratorio de Fluidos mediante la incorporación de medidores de presión analógicos, medidores de flujo para censar el caudal y un variador de frecuencia para modificar las revoluciones del motor.
- Utilizar los instructivos de operación del equipo para obtener un correcto funcionamiento del sistema de control y supervisión.
- Al utilizar el selector de revoluciones del motor se debe realizar desde el valor correspondiente a cero grados eléctricos e ir subiendo paulatinamente para evitar que el arranque del motor sea brusco.
- No es recomendable hacer que el motor eléctrico trabaje a revoluciones cercanas a 2800 RPM ya que esta es la velocidad angular de diseño y se debe tener en cuenta que la bomba tiene más de cuarenta años de funcionamiento.
- En los casos en que se requiere tomar un dato con una apertura de la válvula de compuerta de una o dos vueltas es preferible que la altura que se requiera alcanzar sea alrededor de 5 pulgadas ya que si se utiliza mayores niveles en el tanque de medida se forzara a la bomba a trabajar más por más tiempo.

- Se recomienda impulsar los Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Mecánica para que respondan a las exigencias del medio externo mediante una repotenciación o en su defecto renovación de los equipos para el análisis de los diversos fenómenos.

7.3. BIBLIOGRAFÍA.

7.3.1. BIBLIOGRAFÍA TEXTOS.

1. ANDAGANA H CHURO E,(2006),“*Diseño e Implementación de un Sistema de Control Distribuido Didáctico para el Laboratorio de Control de Procesos*”, Tesis EPN, Ecuador, Quito.
2. ARÉVALO, HERRERA, (2009), “*Manual Labview 8.5 Básico e Intermedio*”, Ecuador.
3. CRUZ D. y PROAÑO J, (2009)“*Diseño, Programación y Construcción del Control de un Sistema Hidráulico de Nivel Empleando un Autómata Programable (PLC) Cumpliendo con la Norma IEC*”, Tesis EPN, Ecuador, Quito.
4. MATAIX, CLAUDIO, (1986), “*Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas*”, Segunda Edición, Ediciones del Castillo, Madrid.
5. OGATA, K, (2004), “*System dynamics*”, 4th ed., Pearson – Prentice Hall, U.S.A.
6. OGATA, K., (1987), “*Dinámica de Sistemas*”; 1ra ed.; Prentice Hall Hispanoamericana, México.
7. OGATA K, (1987), “*Ingeniería de Control Moderna*”, 3era ed, Prentice Hall Hispanoamericana, México.

8. RUANO E, (2009), “*Diseño, Construcción y Automatización con un PLC Allen-Bradley Micrologix 1100 de un Caldero Didáctico de Vapor Saturado*”, Quito, Tesis EPN, Ecuador, Quito.
9. SIEMENS, (2011), “*Autómatas programables SIMATIC S7 – 1200*”, Alemania.
10. SIEMENS, (2011), “*Guía de instalación del software STEP 7 BASIC Versión 10v.5*”.Alemania.
11. STREETER, PEDRO, (1975), “*Mecánica de Fluidos*”, Mc Graw- Hill; México.
12. WHITE, F., (1998), “*Fluid Mechanics*”, 4th ed., WCB – McGraw Hill, U.S.A.

7.3.2. DIRECCIONES CONSSULTADAS EN INTERNET.

1. <http://distics.com/view>.
2. <http://es.rs-online.com>.
3. <http://instrumentacionindustrial2007-1.com>.
4. <http://instrumentacionunexpo.com>.
5. <http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal>.
6. <http://snsoresdenivel.com>.
7. <http://thedenneys.org>.
8. <http://wxlotus.en.made-in-china.com>.
9. <http://www.automation.siemens.com>.
10. <http://www.doschivos.com/display>.
11. <http://www.el.bqto.unexpo.edu>.
12. <http://www.info-ab.uclm.es>.
13. http://www.pakplc.com/HMI/MP/MP_page.htm.
14. <http://www.plctutor.com/plc-components.html>.
15. <http://www.profesores.frc.utn.edu.ar>.
16. <http://www.sapiens.itgo.com/documents/doc60.htm>.
17. <http://www.sapiens.itgo.com/documents/doc60.ht>.
18. <http://www.solostocks.com>.
19. <https://www.swe.siemens.com/spain>.
20. <http://www.utvm.edu.mx>.
21. <http://xinjemkpl.en.makepolo.com>.

ANEXOS

A – HOJAS DE DATOS TÉCNICOS DE HARDWARE.

B – DETALLES DE LA CONSTRUCCIÓN.

C – GUÍA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS – EQUIPO PARA PRUEBAS DE UNA BOMBA CENTRIFUGA OPERACIÓN MANUAL (PROPUESTA).

D – GUÍA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS – EQUIPO PARA PRUEBAS DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA OPERACIÓN AUTOMÁTICA (PROPUESTA).

E – PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS –EQUIPO PARA PRUEBAS DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA (PROPUESTA) – DESARROLLADA.

F – PLANOS.

A – HOJAS DE DATOS TÉCNICOS DE HARDWARE.

SIEMENS

Rua Werner Siemens, 111- Lapa - São Paulo - Brasil - CEP: 05069-900 - CNPJ: 44.013.159/0002-05 CAS (Brasil): 0800.119484

Ficha Técnica

Producto: Sensor de nivel 3UX0 002-0AA02

Este manual contiene información para instalar y operar el producto. Lea cuidadosamente antes de comenzar su uso.

Descripción: Los sensores 3UX0 se utilizan en combinación con los niveles de los controladores en líquidos conductores.

Aplicación: Se utilizan para detectar líquidos conductores no inflamable de acuerdo con las características técnicas del electrodo.

Características Técnicas

Acero Inoxidable Recubierto en ABS;

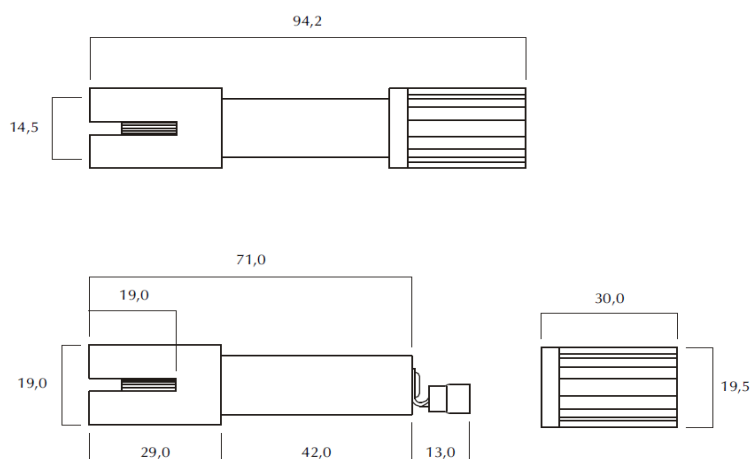
Temperatura Máxima: +65°C;

Tensión en el electrodo: 10 a 30Vca;

Corriente Máxima: 30mA.

Observaciones: Al conectar el cable al sensor de péndulo, impregnada con resina epoxi la tapa, sellar permanentemente la conexión. El cable que se conecta al electrodo debe ser de 1 mm de lado (16 AWG) o la sección 1.5 mm² (14 AWG) y siempre conectado eléctricamente con conductos independientes para la parte de la fuerza, evitando la inducción electromagnética en estos controladores.

Dimensiones en mm



Modelo

MI0115E080226

Rotary Encoder

HE series

INSTRUCTION MANUAL

Thank you for purchasing HANYOUNG product. Please check whether the product is the exactly same as you ordered. Before using the product, please read this instruction manual carefully.

MAIN PRODUCTS

- DIGITAL : Temperature Controller, Counter, Timer, Speedmeter, Tachometer, Panel Meter, Recorder
- SENSOR : Proximity Sensor/Photo Electric Sensor, Rotary Encoder, Optical Fiber Sensor, Pressure Sensor
- ANALOG : Timer, Temperature Controller

HEAD OFFICE

1381-3, Juan-Dong, Nam-Gu Incheon, Korea
TEL: (82-32)876-4697 FAX: (82-32)876-4696

HANYOUNG HUX



Safety information

CAUTION

1. Before using the product you purchased, make sure that it is exactly what you ordered.
2. Make sure that there is no damage or abnormality of the product during the delivery.
3. The transmitter for measuring the length is composed of precision parts, so can easily be damaged with external impact, therefore handle with care.
4. The shield wire of the transmitter for length measurement is not connected to the case.
5. When the product gets wet, the inspection is essential because there is danger of an electric leakage or fire.
6. For the continuous and safe use of this product, the periodical maintenance is recommended.
7. If you use the product with methods other than specified by the manufacturer, there may be bodily injuries or property damages.

On Mega Test

An internal pressure of 500V DC exists between the Case and the electric circuit, however, there are dangers of damage the electrical circuit if voltage is applied accidentally, so do not perform mega tests.

On Installation

1. During installation, do not apply impact on or twist the shaft of the transmitter for length measurement.
2. During installation, do not apply excessive force when combining the shaft of transmitter for length measurement and the instrument.
3. During installation, take caution because the life span of the transmitter for length measurement is dependent on the usage condition and the environment.
4. Do not decompose, modify, revise or repair this product. This may be a cause of malfunction, electric shock or fire.
5. Reassemble this product while the power is OFF. Otherwise, it may be a cause of malfunction or electric shock.

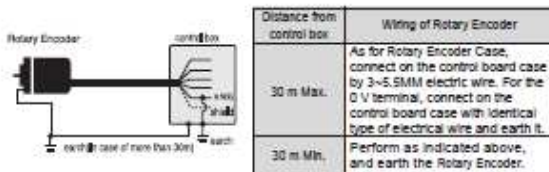
About Wiring

1. Separate an input signal cable from an output signal cable. If separating is not possible, please use the input signal cable after shielding it.
2. If there is excessive noise from the power supply, using insulating transformer and noise filter is recommended.
3. Do not connect anything to the unused terminals.
4. After checking the polarity of terminal, connect wires at the correct position.
5. As for wiring, ensure they are as short as possible.
6. Having the same pipe for wiring of the transmitter for length measurement with the power line or an identical connection could cause malfunction, therefore please take caution.
7. Wrong connection of the wiring of transmitter for length measurement may damage the internal circuit. Please take sufficient caution.

About vibration

1. If intense vibration or impact is applied on the transmitter for length measurement, the wrong pulse is generated causing malfunction, therefore, absolute care is necessary when selecting the installation and disposition location.
2. As much as the amount of pulse per cycle, the slit gap of rotation slit is narrower, therefore can be easily affected by vibration, and the vibration applied during slow rotation or when stationary, may get transmitted to the shaft or the main body, causing wrong pulse generation, therefore, please take caution. The vibration applied to the transmitter for length measurement can become a cause for wrong pulse generation, so please take caution in terms of installation location or location for attachment.

For noise prevention



The caution on the safety stated above, must be kept, otherwise malfunction can be induced.

Ratings

HE40B	6	600	3	T	24	
Mode	Shaft external diameter	Pulse number per revolution	Phase type	Output type	Power voltage	Wire Specification
HE40B ø40 mm Shaft type	6 : ø6 mm	*1, 10, 50, 60, 100, 120, 200, 250, 300, 360	2: A, B 3: A, B, Z 3C: A, B, Z	O: NPN Open collector N: NPN Voltage	5: 5Vdc 12: 12Vdc 6: 12Vdc 24: 24Vdc (12/24Vdc)	No mark Standard type C: Connector
	8 : ø8 mm (Option)	0, 1000, 1024, 2000, 2048, 3000, 3600, 5000	4: A, I/A B, B 6: A, I/A B, B Z, Z (Standard: A, B, Z)	T: Totem-pole L: Line driver (Line Drive: 5V d.c)		
HE50B ø50 mm Shaft type	8 : ø8 mm	*1, 10, 50, 60, 100, 120, 200, 250, 300, 360				

*** mark : Only A, B phase can output (Line Drive output is A, I/A, B, /B)
* The item that is not in the above revolution is order made product

Specification

Mode #	HE11B -CHC-NC	HE11B -CHC-NO	HE11B -CHC-TO	HE11B -CHC-LO
Output type	NPN Voltage output	NPN Open collector output	Totem Pole Output	Line Driver Output
Output type	A, B, Z phase			A, B, Z, A, B, Z phase
Phase difference on Output	Phase difference between A, B phase: T/4 ± 7% (Cycle of A phase = T)			
Max Response Frequency	300 kHz			
Power voltage	5 - 12 V d.c / 12 - 24 V d.c ± 5%			5 V d.c ± 5%
Current Consumption	70 mA Max. (No-load) Line Drive output below 30 mA (No-load)			
Connection method	WIRE			
Control output	Load voltage : 30 V Max. Load Current : 30 mA Max. Residual Voltage : 0.4 V Max.		For Low Load Current: 30 mA Max. Residual Voltage: 0.4 V Max. For High Load Current: 10 mA Max. Residual Voltage: Above -25% of rated voltage	For Low Load Current: 20 mA Max. Residual Voltage: 0.4 V Max. For High Load Current: 20 mA Max. Residual Voltage: 2.5 V Max.
Response Time	1 μs Max. (Cable length 1.5 m / sink=30 mA)		1 μs Max. (Cable length 1.5 m / sink=10 mA)	1 μs Max. (Cable length 1.5 m / sink=30 mA)
Starting Torque	(ø40: 40 gf · cm (0.04 N · m) Max.) (ø50: 80 gf · cm (0.08 N · m) Max.)			
Moment of inertia	(ø40: 40 g · cm ² Max., (ø50: 80 g · cm ² Max.)			
Permissible Shaft Loading	(ø40: Radial: Within 2kgf, Thrust: Within 1kgf (ø50: Radial: Within 2.5kgf, Thrust: Within 1.2kgf)			
Max. Permissible Revolution	5000 rpm			
Bearing Life	1.2 x 10 ⁶ rpm · hour			
Insulation Resistance	Over 100 (MΩ) (Base on 500 V d.c omega between terminal and case)			
Dielectric strength	800 V a.c (Between terminal and case at 50Hz for 1 minute)			
Vibration Resistance	10-55Hz (Cycle for 1 minute), Double amplitude width: 1.5mm, Each X · Y · Z direction for 2 hours			
Shock Resistance	(ø40: 50 G Max., (ø50: 75 G Max.)			
Operating Ambient Temperature	-10 ~ 60 °C (Without condensation), Storage Temperature: -25 ~ 85 °C			
Operating Ambient Humidity	35 ~ 85 % RH			
Protection	Protection IP 60 (IEC Standard)			
Wire Specification	5P, (ø 5.0 mm, Length: 1.5 m, Shield cable) Line Drive Type: 8P, (ø 5.0 mm, Length: 1.5 m, Shield cable)			
Weight	(ø40: 170 g, (ø 50: 200 g)			
Accessory	(ø18.0 mm Coupling Bracket) (ø40mm Bracket - Separate sales)			

B – DETALLES DE LA CONSTRUCCIÓN

CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

DETALLES DE CONSTRUCCIÓN

Para la construcción del sistema de control se utilizarán diferentes herramientas, máquinas y aparatos de medida.

HERRAMIENTAS

Rayadores, brocas, brocas de centro, cuchillas: acero rápido, escuadras, nivel, sierra manual, limas, destornilladores, cuchillas, martillo.

MÁQUINAS

Taladro vertical y manual, soldadora eléctrica, amoladora, cizalla.

APARATOS DE MEDIDA

Flexómetro, regletas, calibrador pie de rey, tacómetro, multímetro, cronómetro.

MONTAJE DEL SISTEMA DE CONTROL

En la etapa de montaje del sistema de control se optó por conseguir asistencia de personal técnico en montajes industriales.

Como referencia de esta etapa, a continuación se indican fotografías relacionadas con la construcción, montaje y calibración del sistema de control.



Figura Anexo 1: Base para la sujeción del encoder. Fuente Propia.



Figura Anexo 2: Fijación del encoder. Fuente Propia.



Figura Anexo 3: Calibración del encoder con el eje del motor eléctrico. Fuente Propia.



Figura Anexo 4: Instalación de los elementos eléctricos en el gabinete. Fuente Propia.



Figura Anexo 5: Instalación finalizada de los componentes. Fuente Propia.

**C – GUÍA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS –
EQUIPO PARA PRUEBAS DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA OPERACIÓN
MANUAL (PROPUESTA).**

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

LABORATORIO DE MECÁNICA FLUIDOS

GUÍA PRÁCTICA DE LABORATORIO

“EQUIPO DE ENSAYO CON BOMBA CENTRÍFUGA”

PROPUESTA POR:

DAVID ALFONSO ENRÍQUEZ MASACHE

JULIÁN ALBERTO SIMBAÑA GUAÑUNA

REVISIÓN:

Dr. PhD. ÁLVARO AGUINAGA

ING. CARLOS VALLADARES

ING. IVÁN SOLA

Quito, agosto de 2011

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

LABORATORIO DE MECÁNICA FLUIDOS

PRÁCTICA DE LABORATORIO

1. TEMA: EQUIPO PARA PRUEBAS DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA

2. OBJETIVO DEL ENSAYO:

El objetivo fundamental de la práctica es utilizar los conocimientos teóricos adquiridos del funcionamiento de la Bomba Centrífuga y analizar las diversas curvas que determinan el comportamiento del equipo ante la variación de los parámetros de funcionamiento.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 BOMBA CENTRÍFUGA

3.1.1. INTRODUCCIÓN

Las bombas centrífugas son turbomáquinas que transfieren energía a un líquido mediante la acción de un elemento en rotación denominado rodete, que impulsa al fluido a circular a través de unos canales delimitados por álabes de modo que el fluido entra en la dirección axial y sale en la dirección radial.

La energía específica (es decir, la energía por unidad de volumen, masa o peso de fluido) que una bomba dada es capaz de transmitir al fluido depende del caudal circulante, el cual puede variar entre 0 y un cierto caudal máximo. También la energía consumida por la bomba (la que absorbe del motor de accionamiento) y el rendimiento (relación entre la energía entregada al fluido y la energía consumida) son función del caudal en circulación.

La representación gráfica de la energía específica, la potencia consumida y el rendimiento de la bomba en función del caudal se denominan curvas características de la bomba. Estas curvas constituyen la información básica necesaria para

predecir las magnitudes de operación de la bomba en un circuito dado, y por lo tanto suelen ser aportadas por los fabricantes en sus catálogos.

3.1.2. PARTES PRINCIPALES

3.1.2.1. BOMBA CENTRÍFUGA Y MOTOR

La bomba centrífuga que se tiene en el equipo es del tipo impulsor abierto con un rodete de 5.438 pulgadas de diámetro exterior, en la cubierta de la bomba existen conexiones de salida de presión a distintos radios que permiten determinar el incremento de presión a través del impulsor mediante una conexión a un múltiple provisto de las llaves de control necesarias para medir la presión como se requiera.

La bomba se encuentra accionada por un motor de tipo polo de repulsión de velocidad variable con una potencia de 2 HP, la velocidad del eje es de 400 a 2800 rpm con un brazo del par – motor de 1 pie.

3.1.2.2. TANQUES

El tanque de depósito principal es de medidas aproximadas de 4 x 2 x 2 pies confeccionado en acero dúctil y provisto de una llave de drenaje en la parte inferior izquierda, sobre este tanque se encuentra montado el tanque de medición volumétrica.

En la parte superior derecha del tanque de medición volumétrica con planta rectangular de 12 x 32 pulgadas cuyas se ubica una válvula de drenaje rápido, junto con un tubo rebosadero de emergencia. La instalación cuenta con una válvula de estrangulación tipo compuerta que permiten variar el caudal de agua circulante.

3.1.2.3. VENTURI Y TUBERÍAS

La tubería de succión de la bomba es normalizada de hierro dúctil cuenta con una válvula de pie y una conexión para medir la presión. En la tubería de salida de la bomba se incorpora la válvula de estrangulación tipo compuerta. Existe además un juego de instrumentos medidores de la presión y la succión con toda la tubería necesaria de pequeño diámetro, y llaves para posibilitar lecturas múltiples de presión.

El tubo Venturi tiene una sección de entrada que tiene un diámetro inicial igual al diámetro de la tubería y una sección cónica convergente que termina con un diámetro igual al de la garganta, está diseñado con una abertura normal de 1.5 pulgadas y un diámetro en la garganta de 1.28 pulgadas.

3.1.2.4. EQUIPOS DE MEDIDA PARA LA PRESIÓN.

Manómetro de Mercurio este instrumento permite determinar las presiones hidrostáticas diferenciales desarrolladas por la bomba, hasta 30 pies y manómetro diferencial de agua a presión opera en conjunto con el Venturi para determinar el caudal.

Medidor de presión en la succión y un medidor de presión en la descarga de la bomba tienen una capacidad de medida de 0 – 15 y 0 -100 pies de agua respectivamente.

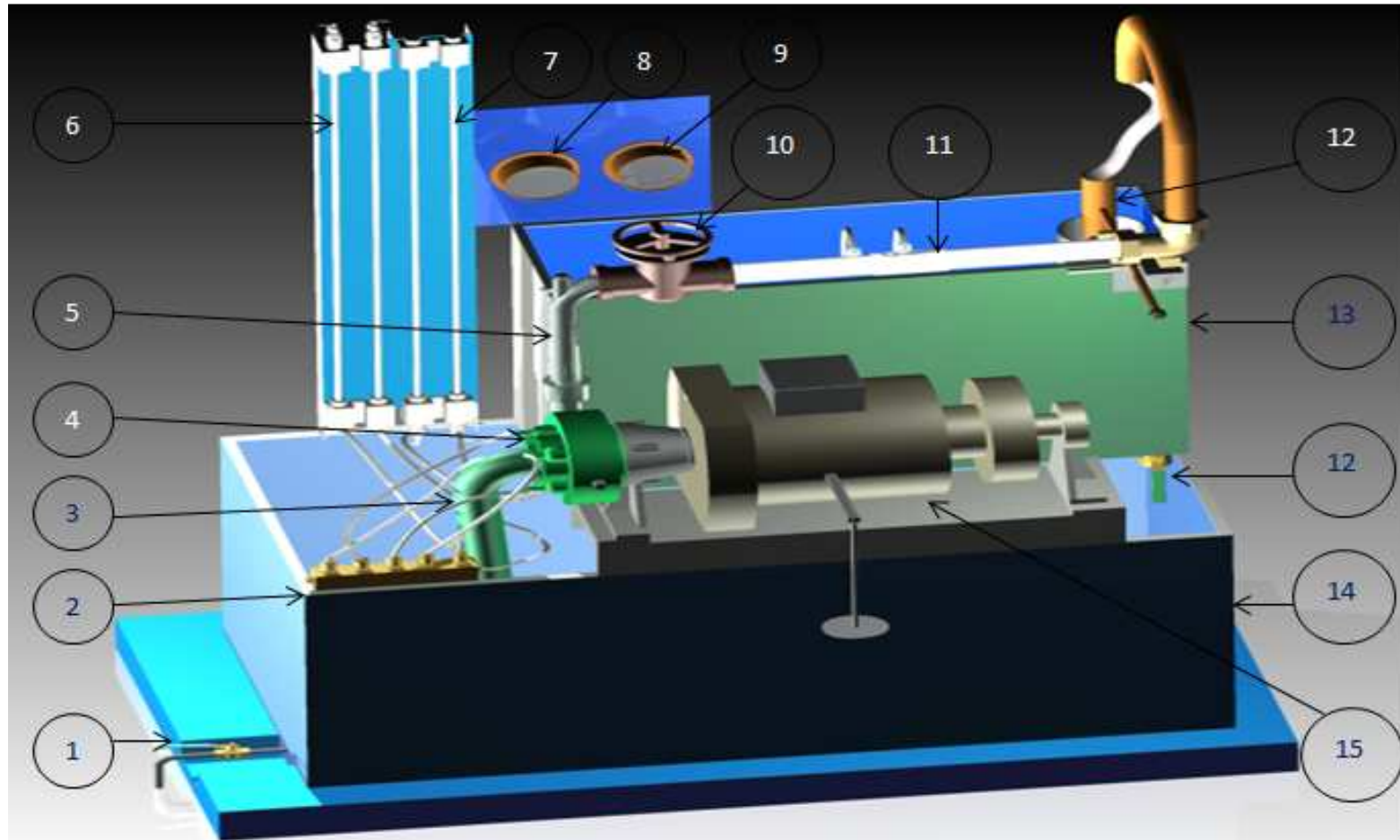
4. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DEL LABORATORIO

El equipo de para pruebas de una bomba centrífuga sirve en esencia para obtener las curvas de funcionamiento y rendimiento mediante la variación de las revoluciones que transfiere el motor eléctrico a la bomba y apertura en diversas posiciones de la válvula de estrangulación tipo compuerta.

Los parámetros variables permiten determinar el caudal que se mide mediante un tanque de medida volumétrica, un nivel lateral visible incorporado al tanque, un desvío de operación manual y un cronómetro.

La presión se determina en los manómetros, medidor de presión en la succión y medidor de presión en descarga convenientemente direccionada por un múltiple que cuenta con una serie de llaves conectadas a un sistema cañerías.

4.1. ESQUEMA DEL EQUIPO PARA PRUEBAS DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA



Esquema 1: Equipo de pruebas bomba centrífuga

- 1) Válvula de drenaje rápido.
- 2) Múltiple
- 3) Tubería de succión.
- 4) Bomba
- 5) Tubería descarga.
- 6) Manómetro de mercurio.
- 7) Manómetro diferencial de agua.
- 8) Medidores de presión succión
- 9) Medidores de presión descarga
- 10) Válvula de compuerta.
- 11) Tubo Venturi.
- 12) Desvió operación manual.
- 13) Tanque de medición volumétrica.
- 14) Tanque deposito principal.
- 15) Motor

La lectura del régimen de velocidades, los valores de altura en el tanque de medida se registran con los instrumentos que se indican a continuación.

- Altura de agua en el tanque de medida:
- Caudal: Se mide en función de la altura en el tanque de medida y el tiempo transcurrido para que se alcance la altura anterior mediante un cronómetro.
- Presión: Se obtiene mediante el manómetro de mercurio y el manómetro de agua.
- Velocidad angular: El número de revoluciones se determinan mediante un tacómetro.
- Torque: Se obtiene mediante el peso necesario para equilibrar el motor.

5. TERMINOLOGÍA Y FÓRMULAS

Q = Flujo de la Bomba en [$\text{pie}^3 / \text{min}$].

n = Velocidad en el eje de la Bomba [RPM].

H_s = Presión hidrostática de entrada a la bomba en [$\text{pie H}_2\text{O}$].

H_d = Presión hidrostática de salida a la bomba en [$\text{pie H}_2\text{O}$].

r = Radio del brazo del par – motor en [pie].

W = Carga aplicada al brazo del par – motor en [lb].

62.4 = Peso específico del agua en [lb /pie³].

ΔV = Voltaje en [V].

I = Intensidad de corriente en [A].

N_W = Potencia hidráulica de salida o potencia útil en [H.P.].

$$N_W = \frac{62,4. (H_d - H_s). Q}{33000}$$

N_P = Potencia transmitida a la bomba en [B.H.P.].

$$N_P = \frac{2. \pi. W. r. n}{33000}$$

N_E = Potencia eléctrica en [H.P.].

$$N_E = \frac{\Delta V. I}{745,69987}$$

η = Rendimiento aproximado de la bomba.

$$\eta = \frac{N_W}{N_P} \times 100[\%]$$

η_m = Rendimiento Mecánico.

$$\eta_m = \frac{N_P}{N_E} \times 100[\%]$$

η_C = Rendimiento del conjunto.

$$\eta_C = \frac{N_W}{N_E} \times 100[\%]$$

H_{Hg} = Diferencia de altura en el manómetro de Mercurio en [pulg].

H_1 y H_2 Alturas en los manómetros en pulgadas.

$$H_{Hg} = H_1 - H_2$$

H_{ideal} = Diferencia de altura manométrica ideal [Psi].

$$H_{ideal} = \frac{u \left(u - \frac{Q}{\Delta_{rodete} \cdot \tan \beta} \right)}{g}$$

β = Ángulo de salida del rodete [grados sexagesimales].

u = Velocidad del rodete [m/s].

Δ_{rodete} = Área del rodete [m^2].

d_{rodete} = Diámetro del rodete en [m].

$$u = \frac{\pi \cdot n \cdot d_{rodete}}{60}$$

$$\Delta_{rodete} = \pi \frac{d_{rodete}^2}{4}$$

A_T = Sección transversal del tanque en [$pulg^2$].

a = largo del tanque en [pulg].

b = ancho del tanque en [pulg].

$$A_T = a \cdot b$$

h = Nivel de agua en el tanque en [pulg].

T = Tiempo en [s].

V = Volumen de agua en [$pulg^3$].

$$V = A_T \cdot h$$

Q_1 = Caudal en [pulg³ / s].

$$Q_1 = \frac{V}{t}$$

Para el Cálculo de Cd.

Cd = Coeficiente de descarga.

d_1 = Diámetro nominal del tubo Venturi [pulg].

d_2 = Diámetro de la garganta del tubo Venturi [pulg].

a_1 = Área nominal del tubo Venturi [pulg²].

$$a_1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4}$$

a_2 = Área de la garganta del tubo Venturi [pulg²].

$$a_2 = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4}$$

g = Aceleración de la gravedad 32.174 [pie / s²].

Q_{ideal} = Caudal ideal en [pulg³ / s].

$$Q_{ideal} = C_d \frac{a_1 a_2}{\sqrt{a_1^2 - a_2^2}} \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

6. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

6.1. PROCEDIMIENTO PARA LA CALIBRACIÓN DEL TUBO VENTURI

1. Cebiar la bomba.
2. Llenar el tanque principal hasta que un nivel superior de la válvula de pie.
3. Cerrar la válvula de compuerta.
4. Presionar el botón de encendido la bomba.
5. Equilibrar el motor con el sistema de pesas.
6. Cerrar la válvula de drenaje del tanque de medida volumétrica.
7. Regular la apertura de la válvula de compuerta.
8. Determinar la diferencia de alturas del manómetro de agua.
9. Cuantificar el caudal, tomando el tiempo que toma llenar el volumen del tanque para determinado nivel.
10. Retornar el flujo de agua mediante el dispositivo manual hacia el tanque principal.
11. Abrir la válvula de drenaje del tanque de medida volumétrica.
12. Repetir la toma de datos de caudal y altura manométrica regulando la apertura de la válvula de compuerta secuencialmente.
13. Obtener un C_d promedio para el tubo Venturi.

6.2. PROCEDIMIENTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS A DIFERENTES REVOLUCIONES.

1. Realizar los numerales 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 del ítem 6.1.
2. Determinar la diferencia de alturas del manómetro de mercurio.
3. Realizar los numerales 9, 10, 11 y 12 del ítem 6.1.
4. Presione el botón apagar.
5. Drene el tanque y limpie el espacio ocupado por el equipo.

Tabla de datos en unidades Inglesas

Nº Vueltas	Salto (pulgadas)			Calibración del Venturi (metros)							Manómetro (Hg)			Resultados							Rendimientos			
	H _s	H _d	H _T	H ₁	H ₂	A _T	h	V	t	Q	H ₁	H ₂	H _T	R.P.M.	W (lbs)	N _W	N _P	ΔV	I	N _E	□ _m	□	□ _C	
Apertura Válvula de Compuerta	Succión	Descarga	Total	Lectura manométrica		Sección y Nivel Tanque		Volumen	Tiempo	Cant. H2O	Succión	Descarga	Total	Potencia Hidráulica			Potencia Eléctrica			Mecánica	Hidráulica	Conjunto		

7. PREPARACIÓN DEL INFORME

El informe constará de los siguientes ítems.

1. Esquema de las instalaciones de prueba.
2. Hoja de ensayos con los datos tabulados.
3. Ejemplo de cálculos realizados.
4. Representar gráficamente la curva H vs Q del Venturi metro.
5. Graficar en un diagrama H vs Q con la marcha de la bomba a una velocidad determinada, para diferentes cargas.
6. Graficar el rendimiento de la bomba en función del caudal.
7. Graficar salto / velocidad al cuadrado como ordenadas y caudal / velocidad como abscisas y comprobar que todos los puntos caen en la misma línea.
8. Calcular la potencia eléctrica de entrada.
9. Calcular el rendimiento mecánico del motor.
10. Calcular el rendimiento del conjunto.
11. Conclusiones
12. Recomendaciones
13. Bibliografía

D – GUÍA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS – EQUIPO PARA PRUEBAS DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA OPERACIÓN AUTOMÁTICA (PROPUESTA).

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

LABORATORIO DE MECÁNICA FLUIDOS

GUÍA PRÁCTICA DE LABORATORIO

“EQUIPO DE ENSAYO CON BOMBA CENTRÍFUGA”

PROPUESTA POR:

DAVID ALFONSO ENRIQUEZ MASACHE

JULIÁN ALBERTO SIMBAÑA GUAÑUNA

REVISIÓN:

Dr. PhD. ÁLVARO AGUINAGA

ING. CARLOS VALLADARES

ING. IVÁN SOLA

Quito, agosto de 2011

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

LABORATORIO DE MECÁNICA FLUIDOS

PRÁCTICA DE LABORATORIO

1. TEMA: EQUIPO PARA PRUEBAS DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA.

2. OBJETIVO DEL ENSAYO:

Los objetivos de la práctica son utilizar los conocimientos teóricos adquiridos del funcionamiento de la Bomba Centrífuga y familiarizar al estudiante con los sistemas de control SCADA, mediante la supervisión de las diversas curvas que determinan el comportamiento del equipo ante la variación de los parámetros de funcionamiento.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. BOMBA CENTRÍFUGA

3.1.1. INTRODUCCIÓN

Las bombas centrífugas son turbo máquinas que transfieren energía a un líquido mediante la acción de un elemento en rotación denominado rodete, que impulsa al fluido a circular a través de unos canales delimitados por álabes de modo que el fluido entra en la dirección axial y sale en la dirección radial.

La energía específica (es decir, la energía por unidad de volumen, masa o peso de fluido) que una bomba es capaz de transmitir al fluido depende del caudal circulante, el cual puede variar entre 0 y un valor máximo. También la energía consumida por la bomba (la que absorbe del motor de accionamiento) y el rendimiento (relación entre la energía entregada al fluido y la energía consumida) son función del caudal en circulación.

La representación gráfica de la energía específica, la potencia consumida y el rendimiento de la bomba en función del caudal se denominan curvas características de la bomba. Estas curvas constituyen la información básica necesaria para predecir las magnitudes de operación de la bomba en un circuito dado, y por lo tanto suelen ser aportadas por los fabricantes en sus catálogos.

3.1.2. PARTES PRINCIPALES

3.1.2.1. BOMBA CENTRÍFUGA Y MOTOR

La bomba centrífuga que se tiene en el equipo es del tipo impulsor abierto con un rodete de 5.438 pulgadas de diámetro exterior, en la cubierta de la bomba existen conexiones de salida de presión a distintos radios que permiten determinar el incremento de presión a través del impulsor mediante una conexión a un múltiple provisto de las llaves de control necesarias para medir la presión como se requiera

La bomba se encuentra accionada por un motor de tipo polo de repulsión de velocidad variable con una potencia de 2 HP, la velocidad del eje es de 400 a 2800 rpm con un brazo del par – motor de 1 pie.

3.1.2.2. TANQUES

El tanque de depósito principal es de medidas aproximadas de 4 x 2 x 2 pies confeccionado en acero dúctil y provisto de una llave de drenaje en la parte inferior izquierda, sobre este tanque se encuentra montado el tanque de medición volumétrica.

En la parte superior derecha del tanque de medición volumétrica con planta rectangular de 12 x 32 pulgadas se ubica una válvula de drenaje rápido, junto con un tubo rebosadero de emergencia. La instalación cuenta con una válvula de estrangulación tipo compuerta que permiten variar el caudal de agua circulante.

3.1.2.3. VENTURI Y TUBERÍAS

La tubería de succión de la bomba es normalizada de hierro dúctil cuenta con una válvula de pie y una conexión para medir la presión. En la tubería de salida de la bomba se incorpora la válvula de estrangulación tipo compuerta. Existe además un juego de instrumentos medidores de la presión y la succión con toda la tubería necesaria de pequeño diámetro, y llaves para posibilitar lecturas múltiples de presión.

El Tubo Venturi tiene una sección de entrada que tiene un diámetro inicial igual al diámetro de la tubería y una sección cónica convergente que termina con un diámetro igual al de la garganta, está diseñado con una abertura normal de 1.5 pulgadas y un diámetro en la garganta de 1.28 pulgadas.

3.1.2.4. EQUIPOS DE MEDIDA PARA LA PRESIÓN

Manómetro de Mercurio este instrumento permite determinar las presiones hidrostáticas diferenciales desarrolladas por la bomba, hasta 30 pies y manómetro diferencial de agua a presión opera en conjunto con el Venturi para determinar el caudal.

Medidor de presión en la succión y un medidor de presión en la descarga de la bomba tienen una capacidad de medida de 0 – 15 y 0 -100 pies de agua respectivamente.

3.1.2.5. SISTEMA DE CONTROL Y SUPERVISIÓN

El sistema de control cuenta con un conjunto de sensores encoder y electrosondasconectadas convenientemente suministran información al controlador lógico programable para que se procese la información y mediante una conexión acorde a los protocolos de comunicación con el HMI permite la interfaz usuario – máquina.

4. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DEL LABORATORIO

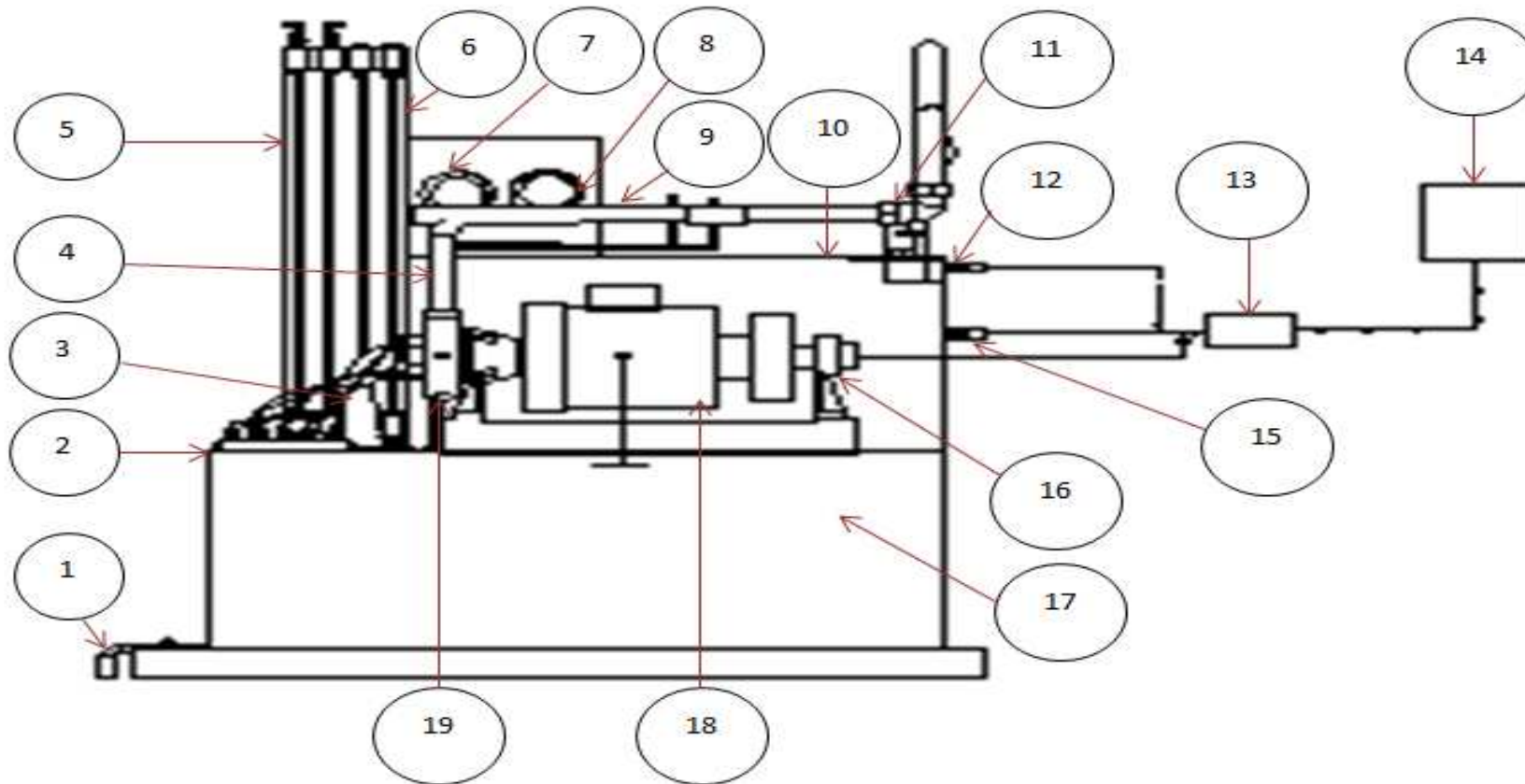
El equipo de para pruebas de una bomba centrífuga con sistema SCADA sirve en esencia para obtener las curvas de funcionamiento y rendimiento censado de las revoluciones que transfiere el motor eléctrico a la bomba a través de un encoder y apertura en diversas posiciones de la válvula de estrangulación tipo compuerta.

Loa parámetros variables permiten determinan el caudal que se mide mediante un tanque de medida volumétrica, un desvió de operación manual, dos electrosondas que envían un dato de nivel al encoder que mediante una subrutina calcula el tiempo de llenado.

La presión se determina en los manómetros, medidor de presión en la succión y medidor de presión en descarga convenientemente direccionada por un múltiple que cuenta con una serie de llaves conectadas a un sistema cañerías.

La Supervisión de los datos y curvas obtenidas de realiza a través de la pantalla HMI.

4.1. ESQUEMA DEL EQUIPO PARA PRUEBAS DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA



Esquema 1: Equipo para pruebas con bomba centrífuga con el control incorporado.

- 1) Válvula de drenaje rápido.
- 2) Múltiple.
- 3) Tubería de succión.
- 4) Tubería descarga.
- 5) Manómetro de mercurio.
- 6) Manómetro diferencial de agua.
- 7) Medidores de presión succión.
- 8) Medidores de presión descarga.
- 9) Tubo Venturi.
- 10) Tanque de medición volumétrica.
- 11) Desvió operación manual.
- 12) Medidor de nivel alto
- 13) PLC.
- 14) HMI
- 15) Medidor de nivel bajo
- 16) Encoder
- 17) Tanque deposito principal.
- 18) Motor.
- 19) Bomba.

La lectura del régimen de velocidades, los valores de altura en el tanque de medida se registran con los instrumentos que se indican a continuación.

- Altura de agua en el tanque de medida: Valor determinado mediante electro sondas.
- Caudal: Se mide en función de la altura en el tanque de medida y el tiempo transcurrido para que se alcance la altura anterior, esta relación es calculada por el programador lógico programable PLC.
- Presión: Se obtiene mediante el manómetro de mercurio y el manómetro de agua.
- Velocidad angular: El número de revoluciones se determinan mediante el encoder.
- Torque: Se obtiene mediante el peso necesario para equilibrar el motor.

5. TERMINOLOGÍA Y FÓRMULAS

Q = Flujo de la Bomba en [$\text{pie}^3 / \text{min}$].

n = Velocidad en el eje de la Bomba [RPM].

H_s = Presión hidrostática de entrada a la bomba en [$\text{pie H}_2\text{O}$].

H_d = Presión hidrostática de salida a la bomba en [$\text{pie H}_2\text{O}$].

r = Radio del brazo del par – motor en [pie].

W = Carga aplicada al brazo del par – motor en [lb].

62.4 = Peso específico del agua en [lb / pie^3].

ΔV = Voltaje en [V].

I = Intensidad de corriente en [A].

N_W = Potencia hidráulica de salida o potencia útil en [H.P.].

$$N_W = \frac{62,4. (H_d - H_s). Q}{33000}$$

N_P = Potencia transmitida a la bomba en [B.H.P.].

$$N_P = \frac{2. \pi. W. r. n}{33000}$$

N_E = Potencia eléctrica en [H.P.].

$$N_E = \frac{\Delta V. I}{745,69987}$$

\square = Rendimiento aproximado de la bomba.

$$\square = \frac{N_W}{N_P} \times 100[\%]$$

\square_m = Rendimiento Mecánico.

$$\square_m = \frac{N_P}{N_E} \times 100[\%]$$

\square_C = Rendimiento del conjunto.

$$\square_C = \frac{N_W}{N_E} \times 100[\%]$$

H_{Hg} = Diferencia de altura en el manómetro de Mercurio en [pulg].

H_1 y H_2 Alturas en los manómetros en pulgadas.

$$H_{Hg} = H_1 - H_2$$

H_{ideal} = Diferencia de altura manométrica ideal [Psi].

$$H_{ideal} = \frac{u \left(u - \frac{q}{\Delta_{rodete} \cdot \tan \beta} \right)}{g}$$

β = Ángulo de salida del rodete [grados sexagesimales].

u = Velocidad del rodete [m/s].

Δ_{rodete} = Área del rodete [m²].

d_{rodete} = Diámetro del rodete en [m].

$$u = \frac{\pi \cdot n \cdot d_{rodete}}{60}$$

$$\Delta_{rodete} = \pi \frac{d_{rodete}^2}{4}$$

A_T = Sección transversal del tanque en [pulg²].

a = largo del tanque en [pulg].

b = ancho del tanque en [pulg].

$$A_T = a \cdot b$$

h = Nivel de agua en el tanque en [pulg].

T = Tiempo en [s].

V = Volumen de agua en [pulg³].

$$V = A_T \cdot h$$

Q_1 = Caudal en [pulg³ / s].

$$Q_1 = \frac{V}{t}$$

Para el Cálculo de C_d .

C_d = Coeficiente de descarga.

d_1 = Diámetro nominal del tubo Venturi [pulg].

d_2 = Diámetro de la garganta del tubo Venturi [pulg].

a_1 = Área nominal del tubo Venturi [pulg²].

$$a_1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4}$$

a_2 = Área de la garganta del tubo Venturi [pulg²].

$$a_2 = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4}$$

g = Aceleración de la gravedad 32.174 [pie / s²].

Q_{ideal} = Caudal ideal en [pulg³ / s].

$$Q_{ideal} = C_d \frac{a_1 a_2}{\sqrt{a_1^2 - a_2^2}} \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

6. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

1. Cebar la bomba.
2. Llenar el tanque principal hasta que un nivel superior de la válvula de pie.
3. Cerrar la válvula de compuerta.
4. Presionar el botón de encendido la bomba.
5. Presionar el botón de marcha.
6. Equilibrar el motor con el sistema de pesas.
7. Cerrar la válvula de drenaje del tanque de medida volumétrica.
8. Regular la apertura de la válvula de compuerta.
9. Ingresar al sistema los valores de alturas del manómetro de agua.
10. Ingresar al sistema los valores de alturas del manómetro de mercurio.
11. Abrir la válvula de drenaje del tanque de medida volumétrica.
12. Repetir la toma de datos de caudal y altura manométrica cuatro veces regulando la apertura de la válvula de compuerta con un número de revoluciones.
13. Cambiar la velocidad angular del motor mediante el selector de revoluciones.
14. Realizar todas indicaciones que se presentan en la pantalla HMI
15. Guardar los datos obtenidos convenientemente.
16. Presionar el botón apagar.
17. Drenar el tanque y limpie el espacio ocupado por el equipo.

7. PREPARACIÓN DEL INFORME

El informe constará de los siguientes ítems:

1. Analizar la curva H vs Q del Tubo Venturi.
2. Analizar el diagrama H vs Q con la marcha de la bomba a una velocidad determinada, para diferentes cargas.
3. Analizar el rendimiento de la bomba en función del caudal.
4. Explicar el motivo de que en la gráfica salto / velocidad al cuadrado como ordenadas y caudal / velocidad como abscisas porque todos los puntos caen en la misma línea.
5. Tomar los datos de potencia eléctrica de entrada.
6. Tomar los datos de rendimiento mecánico del motor.
7. Tomar los datos de rendimiento del conjunto.
8. Conclusiones.
9. Recomendaciones.
10. Bibliografía.

E – PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS – EQUIPO PARA PRUEBAS DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA (PROPUESTA) – DESARROLLADA.

F – PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS – EQUIPO PARA PRUEBAS DE UNA BOMBA CENTRIFUGA (PROPUESTA) – DESARROLLADA.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

LABORATORIO DE MECÁNICA FLUIDOS

PRÁCTICA DE LABORATORIO

“EQUIPO DE ENSAYO CON BOMBA CENTRIFUGA”

PROPUESTA POR:

DAVID ALFONSO ENRIQUEZ MASACHE

JULIÁN ALBERTO SIMBAÑA GUAÑUNA

REVISIÓN:

Dr. Ph.D. ÁLVARO AGUINAGA

ING. CARLOS VALLADARES

ING. IVÁN SOLA

Quito, agosto de 2011

ESCUELA POLITÉCNICANACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

LABORATORIO DE MECÁNICA FLUIDOS

PRÁCTICA DE LABORATORIO

1. TEMA: EQUIPO PARA PRUEBAS DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA
2. OBJETIVO DEL ENSAYO:

El objetivo fundamental de la práctica es utilizar los conocimientos teóricos adquiridos del funcionamiento de la Bomba Centrífuga y analizar las diversas curvas que determinan el comportamiento del equipo ante la variación de los parámetros de funcionamiento.

3. TERMINOLOGÍA Y FÓRMULAS

Q = Flujo de la Bomba en [$\text{pie}^3 / \text{min}$].

n = Velocidad en el eje de la Bomba [RPM].

H_s = Presión hidrostática de entrada a la bomba en [$\text{pie H}_2\text{O}$].

H_d = Presión hidrostática de salida a la bomba en [$\text{pie H}_2\text{O}$].

r = Radio del brazo del par – motor en [pie].

W = Carga aplicada al brazo del par – motor en [lb].

62.4 = Peso específico del agua en [lb / pie^3].

ΔV = Voltaje en [V].

I = Intensidad de corriente en [A].

N_W = Potencia hidráulica de salida o potencia útil en [H.P].

$$N_W = \frac{62,4 \cdot (H_d - H_s) \cdot Q}{33000}$$

N_P = Potencia transmitida a la bomba en [B.H.P].

$$N_P = \frac{2 \cdot \pi \cdot W \cdot r \cdot n}{33000}$$

N_E = Potencia eléctrica en [H.P].

$$N_E = \frac{\Delta V \cdot I}{745,69987}$$

n = Rendimiento aproximado de la bomba.

$$n = \frac{N_W}{N_P} \times 100[\%]$$

n_m = Rendimiento Mecánico.

$$n_m = \frac{N_P}{N_E} \times 100[\%]$$

n_C = Rendimiento del conjunto.

$$n = \frac{N_W}{N_E} \times 100[\%]$$

H_{Hg} = Diferencia de altura en el manómetro de Mercurio en [pulg].

H_1 y H_2 Alturas en los manómetros en pulgadas.

$$H_{Hg} = H_1 - H_2$$

H_{ideal} = Diferencia de altura manométrica ideal [Psi].

$$H_{ideal} = \frac{u \left(u - \frac{Q}{\Delta_{rodete} \cdot \tan \beta} \right)}{g}$$

β = Ángulo de salida del rodete [grados sexagesimales].

u = Velocidad del rodete [m/s].

Δ_{rodete} = Área del rodete [m²].

d_{rodete} = Diámetro del rodete en [m].

$$u = \frac{\pi \cdot n \cdot d_{rodete}}{60}$$

$$\Delta_{rodete} = \pi \frac{d_{rodete}^2}{4}$$

A_T = Sección transversal del tanque en [pulg²].

a = largo del tanque en [pulg].

b = ancho del tanque en [pulg].

$$A_T = a \cdot b$$

h = Nivel de agua en el tanque en [pulg].

T = Tiempo en [s].

V = Volumen de agua en [pulg³].

$$V = A_T \cdot h$$

Q_1 = Caudal en [pulg³ / s].

$$Q_1 = \frac{V}{t}$$

Para el Cálculo de Cd.

Cd = Coeficiente de descarga.

d_1 = Diámetro nominal del tubo Venturi [pulg].

d_2 = Diámetro de la garganta del tubo Venturi [pulg].

a_1 = Área nominal del tubo Venturi [pulg²].

$$a_1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4}$$

a_2 = Área de la garganta del tubo Venturi [pulg²].

$$a_2 = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4}$$

g = Aceleración de la gravedad 32.174 [pie / s²].

Q_{ideal} = Caudal ideal en [pulg³ / s].

$$Q_{ideal} = C_d \frac{a_1 a_2}{\sqrt{a_1^2 - a_2^2}} \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

4. DESARROLLO

10.1. CALIBRACIÓN DEL TUBO VENTURI

Ejemplo de cálculo del Q_1

Numero de medida 10

$$Q_{10} = \frac{V_{10}}{t_{10}} = \frac{4926,7}{54,07} = 91,12 \left[\frac{\text{pulg}^3}{\text{s}} \right]$$

Tabla de datos obtenidos en la calibración del Tubo Venturi

#	Diferencia de Alturas				Caudales					Cd
	Manómetro de Agua				Nivel	Volumen	Tiempo	Caudal real	Caudal ideal	
	H ₁	H ₂	H _T	H _T	h	V	t	Q ₁	Q _{ideal}	
	pulg H ₂ O	pulg H ₂ O	pulg H ₂ O	psi	pulg	pulg ³	s	pulg ³ /s	pulg ³ /s	
1	25,375	24,5	0,875	0,032	10	3789,76	80,85	46,87	49,00	0,96
2	28	23,375	4,625	0,167	10	3789,76	34,18	110,88	112,66	0,98
3	29,125	22,25	6,875	0,248	10	3789,76	27,96	135,54	137,35	0,99
4	28,625	20,875	7,75	0,280	10	3789,76	26,3	144,10	145,83	0,99
5	28,5	19,875	8,625	0,311	10	3789,76	25,18	150,51	153,84	0,98
6	27,875	19	8,875	0,320	10	3789,76	24,29	156,02	156,06	1,00
7	32,75	26	6,75	0,243	13	4926,68	36,3	135,72	136,10	1,00
8	31,75	26,75	5	0,180	13	4926,68	42,3	116,47	117,13	0,99
9	31	27	4	0,144	13	4926,68	47,29	104,18	104,77	0,99
10	30,5	27	3,125	0,113	13	4926,68	54,07	91,12	92,60	0,98
11	29,75	27,75	2	0,072	13	4926,68	68,18	72,26	74,08	0,98
12	28,75	28	0,375	0,014	13	4926,68	242,3	20,33	32,08	0,63
13	32,75	25,125	7,625	0,275	13	4926,68	34,18	144,14	144,65	1,00
14	32,25	25	6,875	0,248	13	4926,68	36,74	134,10	137,35	0,98
15	32	25,75	6,25	0,225	13	4926,68	38,52	127,90	130,96	0,98
16	31,375	26	5,25	0,189	13	4926,68	41,18	119,64	120,03	1,00
17	30,75	26,5	4,25	0,153	13	4926,68	46,96	104,91	107,99	0,97
18	30,125	27	3,25	0,117	13	4926,68	55,41	88,91	94,44	0,94
19	29	28,875	0,125	0,005	13	4926,68	290	16,99	18,52	0,92
20	33,875	24	9,5	0,343	13	4926,68	31,29	157,45	161,46	0,98
21	30,375	27,25	3,125	0,113	13	4926,68	54,96	89,64	92,60	0,97
22	30,625	27	3,75	0,135	13	4926,68	49,07	100,40	101,44	0,99
								valor promedio		0,9628

Ejemplo de cálculo de C_d

$$C_d = \frac{Q_{10}}{Q_{ideal\ 10}}$$

$$Cd = \frac{91,72 \frac{pulg^3}{s}}{92,60 \frac{pulg^3}{s}} = 0,98$$

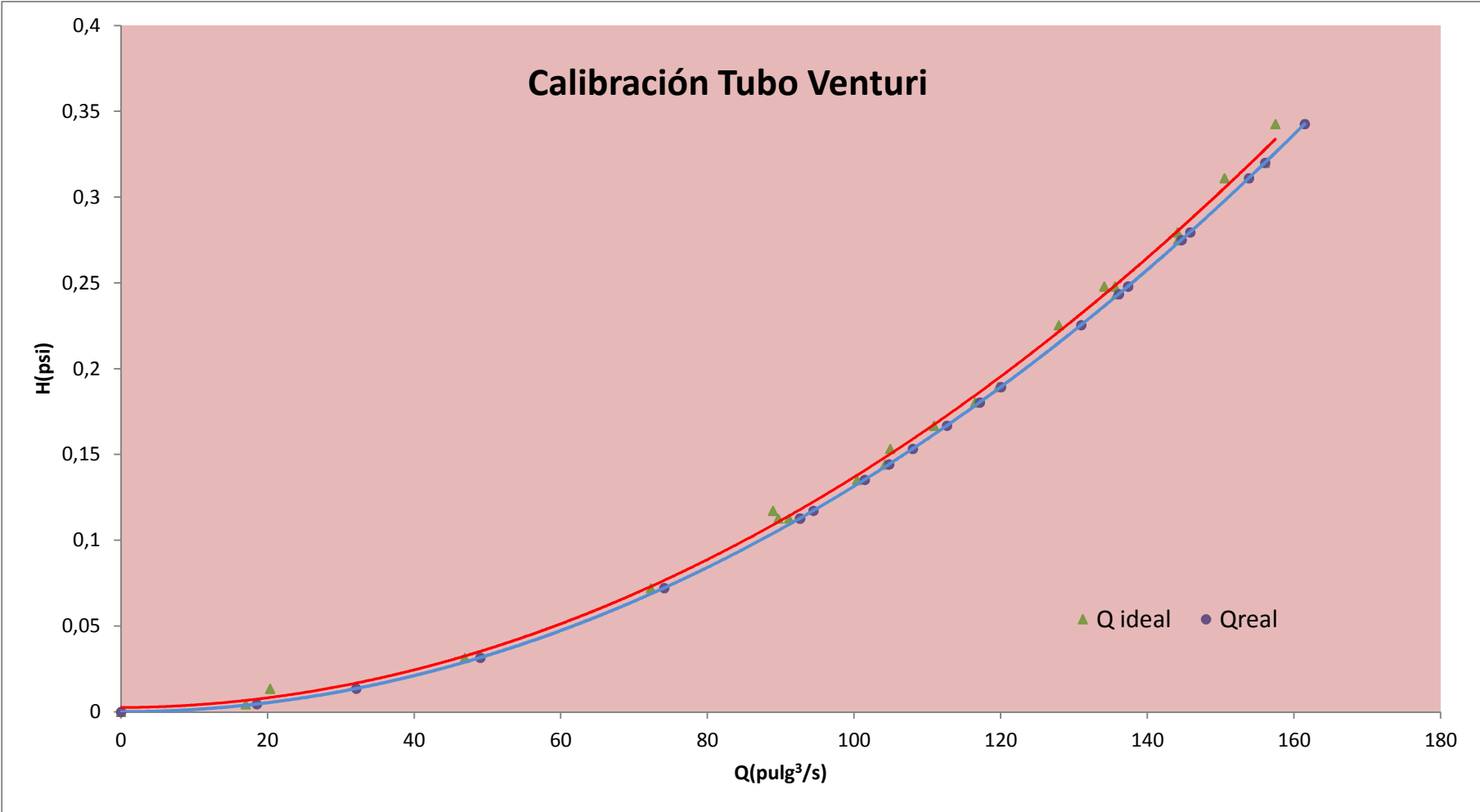
$$Q_{ideal} = C_d \frac{a_1 - a_2}{\sqrt{a_1^2 - a_2^2}} \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

$$\begin{aligned} Q_{ideal} &= 0,98 \frac{(1,76pulg^2 \cdot 1,29pulg^2)}{\sqrt{(1,76pulg^2)^2 - (1,29pulg^2)^2}} \sqrt{2.386,09 \frac{pulg}{s^2} \cdot 3,125pulg} \\ &= 92,60 \left[\frac{pulg^3}{s} \right] \end{aligned}$$

Ejemplo de transformación Ha Psi.

$$H_{pulg\ H_2O} = \frac{3,125}{27,7276} = 0,113 [PSI]$$

Con los valores de obtenidos podemos realizar la curva H vs Q_{ideal} y H vs Q_1



Calibración del Tubo Venturi

10.2. CONSTRUCCIÓN DE LA CURVA CAUDAL EN FUNCIÓN DE LA ALTURA MANOMÉTRICA.

Ejemplo de transformación H a Psi.

Numero de medida 10

$$H_{Hg10} = \frac{10,2 \text{ pulg.} \cdot 25,4}{51,74} = 5,009 [PSI]$$

Tabla de datos Altura manométrica vs Caudal

#	Peso	Velocidad	Manómetro de Mercurio			Altura	Volumen	Tiempo	Caudal	Altura ideal		
	W	Ve	H _T	H _T	H _T	h	V	t	Q ₁	u	H _{ideal}	H _{ideal}
	gramos	RPM	pulg Hg	psi	kPa	pulg	pulg ³	s	pulg ³ /s	m/s	pulg Hg	psi
1	200	1500	14,975	7,36	1,07	4	1515,93	77,63	19,53	10,45	10,00	14,23
2	200	1500	14,5	7,12	1,03	4	1515,93	41,52	36,51	10,45	9,22	13,10
3	200	1500	13,125	6,45	0,93	8	3031,86	60,74	49,92	10,45	8,59	12,22
4	200	1500	12,475	6,13	0,89	8	3031,86	49,29	61,51	10,45	8,05	11,45
5	200	1500	11,75	5,77	0,84	8	3031,86	43,85	69,14	10,45	7,70	10,95
6	200	1500	11,25	5,53	0,80	8	3031,86	39,63	76,50	10,45	7,36	10,46
7	200	1500	8,125	3,99	0,58	10	3789,83	33,2	114,15	10,45	5,61	7,98
8	200	1500	9,125	4,48	0,65	10	3789,83	37,18	101,93	10,45	6,18	8,78
9	200	1500	8,75	4,30	0,62	10	3789,83	35,2	107,67	10,45	5,91	8,40
10	200	1500	10,2	5,01	0,73	10	3789,83	42,63	88,90	10,45	6,78	9,64
11	200	1500	7,5	3,68	0,53	10	3789,83	31,29	121,12	10,45	5,29	7,52
12	200	1500	7,375	3,62	0,53	15	5684,74	45,85	123,99	10,45	5,15	7,33
13	200	1500	7,125	3,50	0,51	15	5684,74	44,63	127,37	10,45	4,99	7,10
14	200	1500	6,875	3,38	0,49	15	5684,74	42,85	132,67	10,45	4,75	6,75

Ejemplo de cálculo del $H_{ideal Hg 10}$

$$u_{10} = \frac{\pi \cdot 1500 [RPM] \cdot 0,133 [m]}{60} = 10,45 \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$\Delta_{rodete\ 10} = \pi \frac{(d_{rodete\ 10})^2}{4} = \pi \frac{(0,133[m])^2}{4} = 0,001134[m^2]$$

$$H_{ideal\ 10} = \frac{10,45 \left[\frac{m}{s} \right] \left(10,45 \left[\frac{m}{s} \right] - \frac{0,0015 \left[\frac{m^3}{s} \right]}{0,001134 [m^2] \cdot \tan 18^\circ} \right)}{9,8 \left[\frac{m^2}{s} \right]} = 9,64 [PSI]$$

Con los valores de obtenidos podemos realizar la curva H vs Q y H_{ideal} vs Q

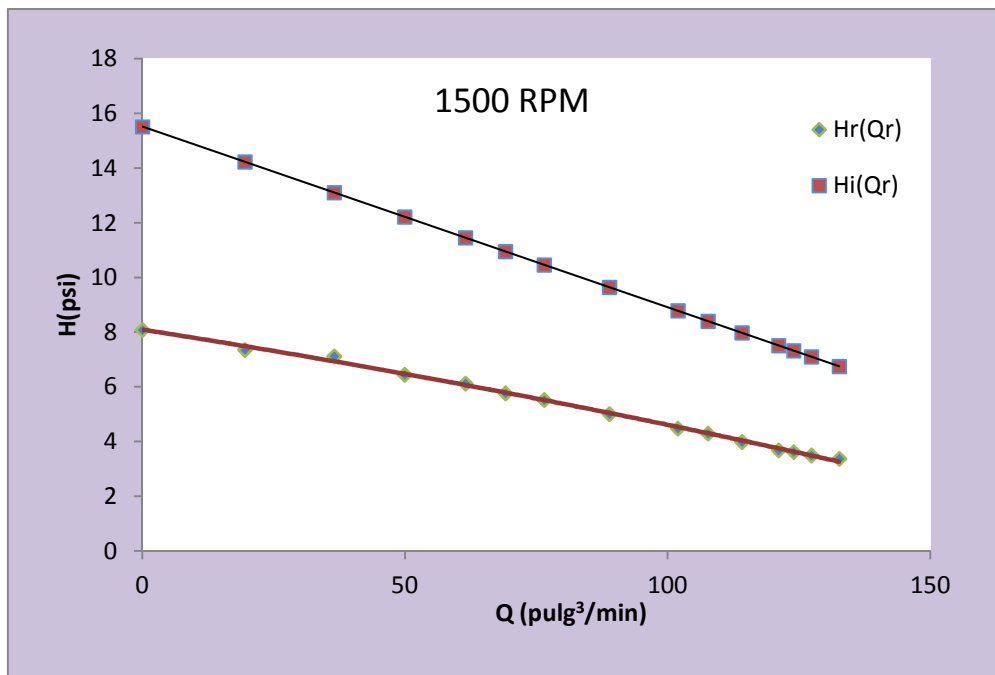


Figura H vs Q a 1500RPM

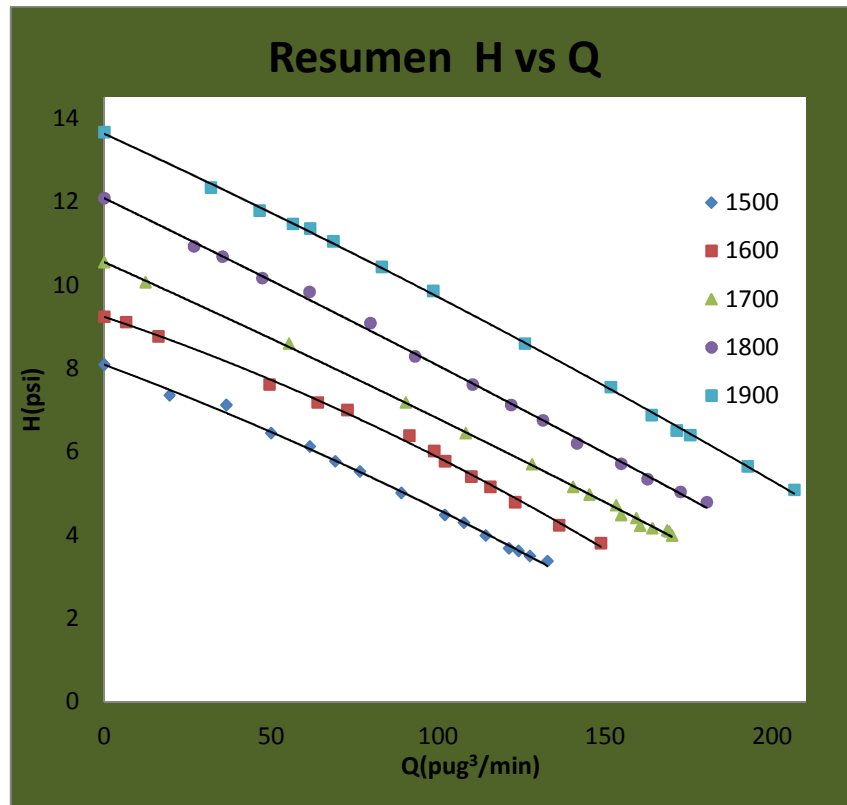


Figura H vs Q a varias RPM

10.3. CONSTRUCCIÓN DE LA CURVA DE RENDIMIENTO vs CAUDAL.

Ejemplo de cálculo del N_w

Numero de medida 10

$$N_{W 10} = \frac{(21,5 - 12,5)(\text{pulg}_{Hg}) \cdot 107,67 \left(\frac{\text{pulg}^3}{s}\right) \cdot 62,4}{33000} = 0,701[H.P]$$

Ejemplo de cálculo del N_p

$$N_{P 10} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 0,44[lb] \cdot 1[pie] \cdot 1500[RPM]}{33000} = 0,12589[B.H.P]$$

Ejemplo de cálculo del \square

$$n_{10} = \frac{N_{W 10}}{N_{P 10}} \times 100[\%] = \frac{0,701}{0,1259} \times 100 = 55,66 \%$$

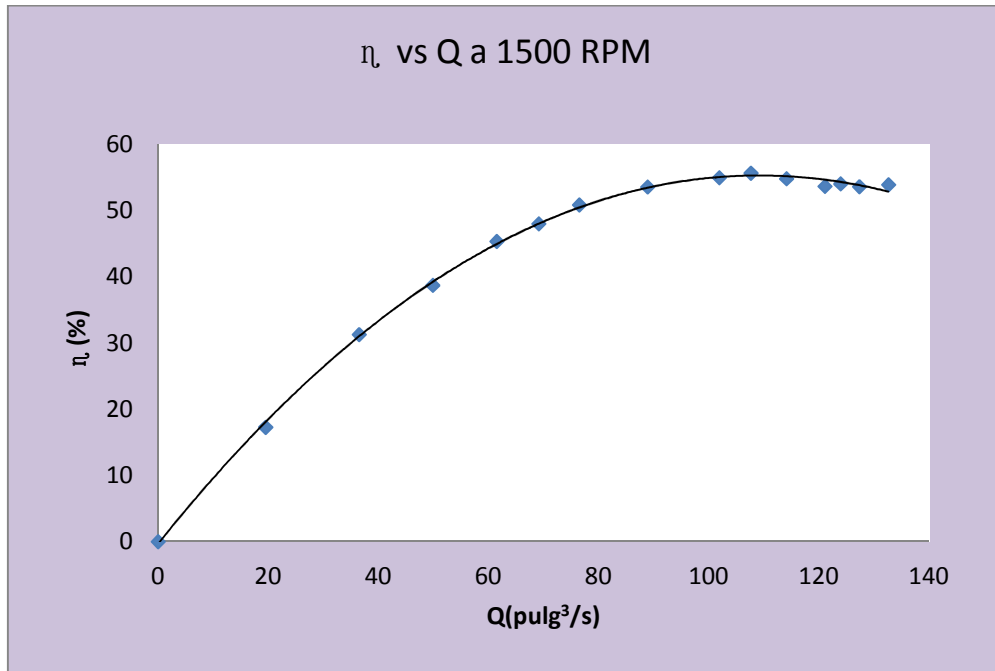


Figura n vs Q a 1500RPM

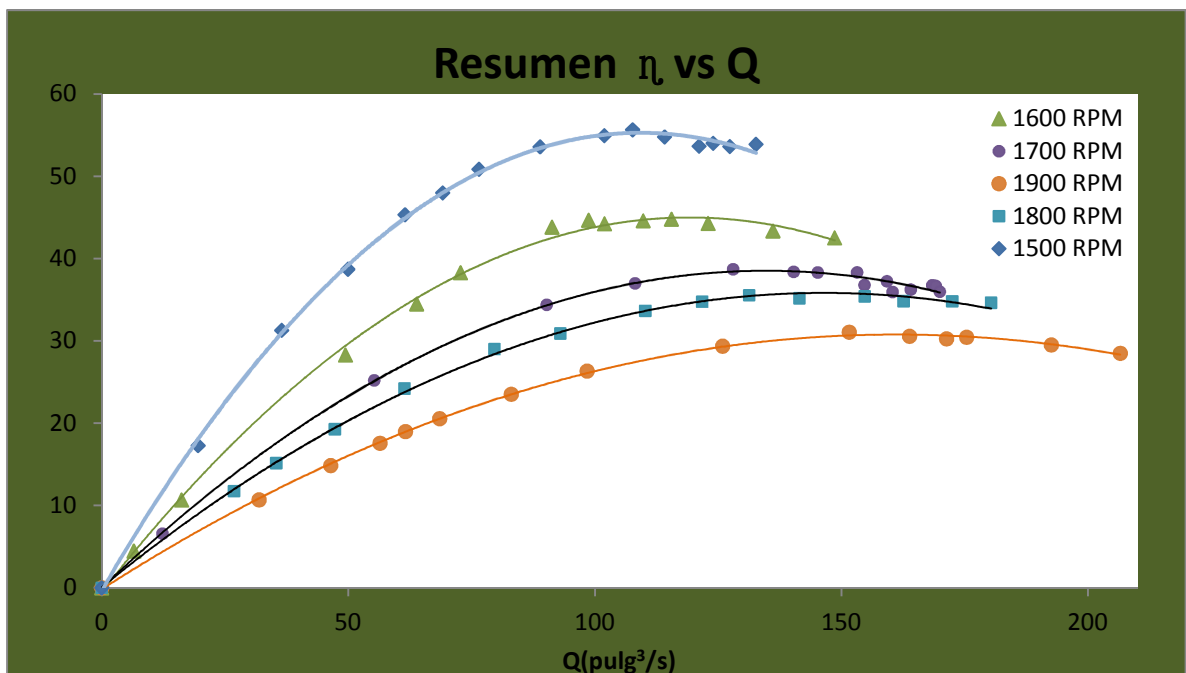


Figura n vs Q a varias RPM

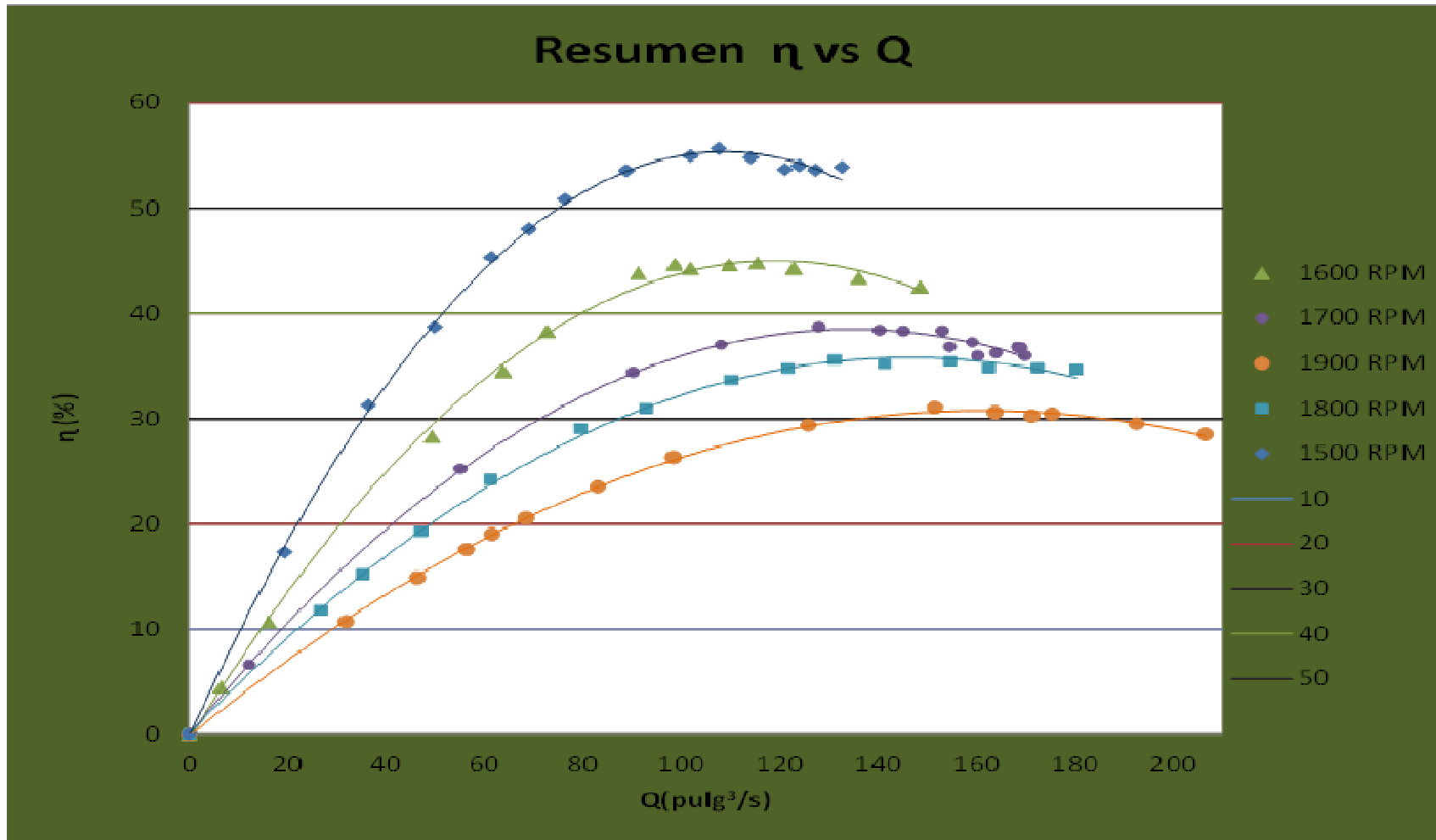


Figura Curvas η vs Q y líneas de iso rendimiento

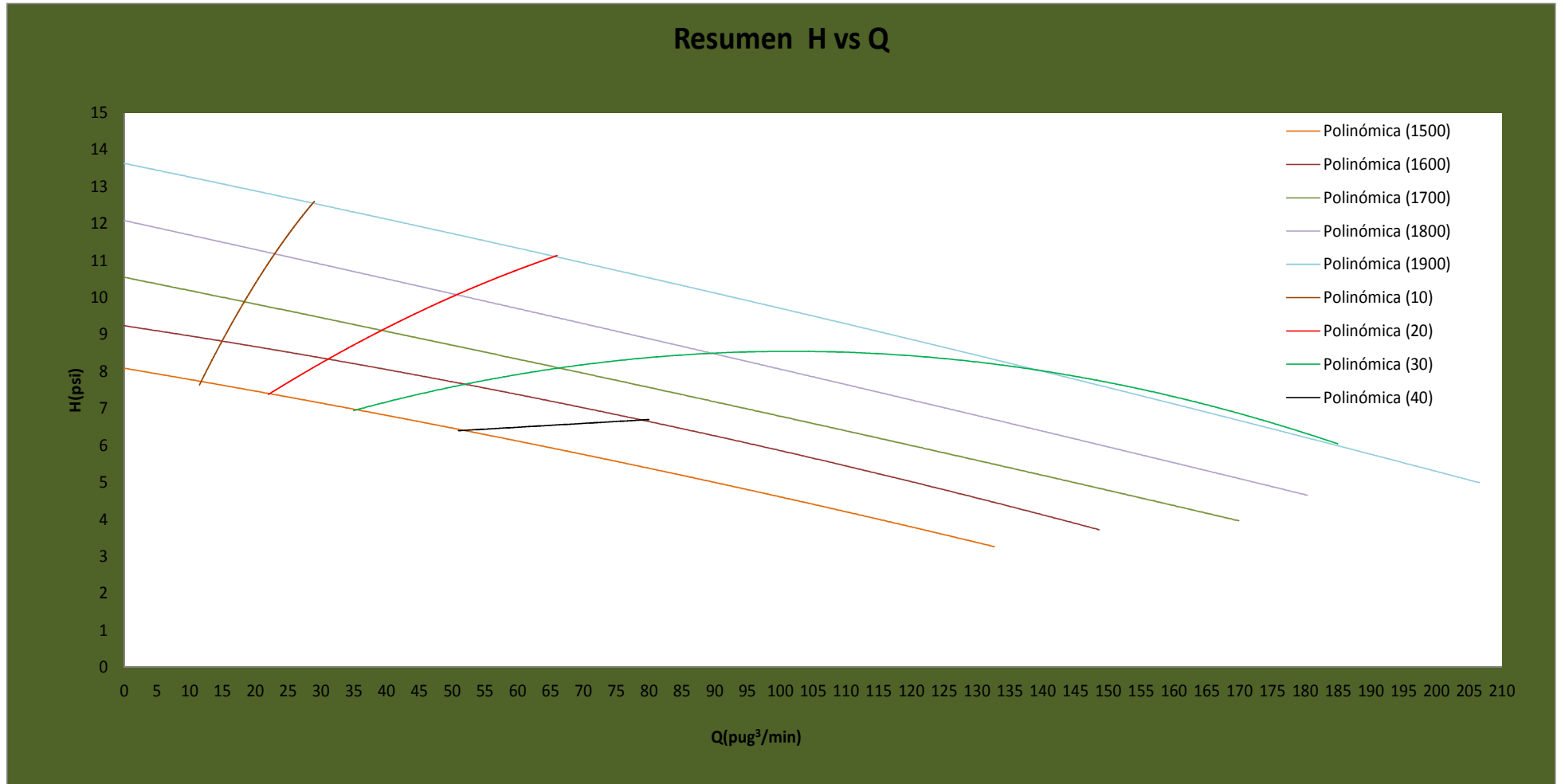


Figura Curvas H vs Q y líneas de iso rendimiento

10.4. CÁLCULO DE RENDIMIENTOS MECÁNICO Y DEL CONJUNTO

Ejemplo de cálculo del N_E

$$N_{E\ 10} = \frac{\Delta V_{10} \cdot I_{10}}{746} = \frac{220V \cdot 23A}{745,699} = 6,786 [H.P]$$

Ejemplo de cálculo del $\eta_{m\ 10}$

$$\eta_{m\ 10} = \frac{N_{P\ 10}}{N_{E\ 10}} \times 100[\%] = \frac{0,126}{6,786} \cdot 100 = 1,86\%$$

Ejemplo de cálculo del $\eta_{C\ 10}$

$$\eta_{C\ 10} = \frac{N_{W\ 10}}{N_{E\ 10}} \times 100[\%] = \frac{0,07}{6,786} \cdot 100 = 1,03\%$$

5, CONCLUSIONES

- El equipo para pruebas de una Bomba centrífuga del Laboratorio De Mecánica de Fluidos de la Escuela Politécnica Nacional tiene las condiciones necesarias para realizar las prácticas de laboratorio con solvencia.
- Las curvas que se obtuvieron en la presente práctica representan el funcionamiento real de una bomba centrífuga por tanto pueden ser utilizadas para realizar análisis de bombas centrífugas industriales y determinar sus respectivas familias de curvas.

6.RECOMENDACIONES

- Al utilizar el selector de revoluciones del motor se debe realizar desde el valor correspondiente a cero grados eléctricos e ir subiendo paulatinamente para así evitar que el arranque del motor sea brusco.

- No es recomendable hacer que el motor eléctrico trabaje a revoluciones cercanas a 2800 RPM ya que esta es la velocidad angular de diseño y se debe tener en cuenta que la bomba tiene más de cuarenta años de funcionamiento.
- En los casos en que se requiere tomar un dato con una apertura de la válvula de compuerta de una o dos vueltas es preferible que la altura que se requiera alcanzar sea alrededor de 5 pulgadas ya que si se utiliza mayores niveles en el tanque de medida se forzara a la bomba a trabajar más por más tiempo.

7.BILIOGRAFÍA

1. MATAIX, CLAUDIO, (1986), “*Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas*”, Segunda Edición, Ediciones del Castillo, Madrid.
2. OGATA, K., (1987), “*Dinámica de Sistemas*”; 1ra ed.; Prentice Hall Hispanoamericana, México.
3. STREETER, PEDRO, (1975), “*Mecánica de Fluidos*”, Mc Graw- Hill; México.

G – GUÍA DE UTILIZACIÓN DE SISTEMA DE CONTROL.

TUTORIAL DE MANEJO DE LA APLICACIÓN

La caja que contiene el PLC y los botones está constituida por los diferentes elementos, descritos a continuación.

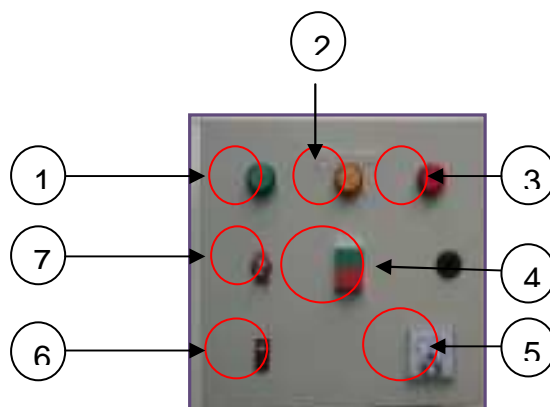


Figura 1. 1. Panel de control. Fuente Propia.

1. Luz verde (Indica el inicio de llenado del tanque).
2. Luz amarilla (Indica cuando se llega al nivel seleccionado 4, 10 y 15 pulgadas).
3. Luz roja (Indica el encendido de la bomba)
4. Pulsador de marca y paro de la bomba cuando se opera en manual.
5. Indicador de amperaje.
6. Botón de encendido del PLC.
7. Botón de manual y automático.

TUTORIAL DE MANEJO

El sistema funciona de manera automática y manual para proceder con la utilización del equipo se debe seguir los siguientes pasos.

SISTEMA MANUAL

Para tomar los datos de manera manual se procede de la siguiente manera:

1. Encender el PLC con el botón del ítem 6, (Botón encendido PLC).

2. Colocar el botón de selección ítem 7, (Botón manual y automático) hacia abajo marcando la opción “off” lo que indica que se encuentra apagado el sistema automática.
3. Pulsar el botón de marcha o encendido de la bomba ítem 4 (color verde), y proceder a la toma de datos especificada en el anexo C Guía de Práctica de Mecánica de Fluidos para pruebas de una bomba centrífuga operación manual.
4. Una vez finalizada la práctica parar la bomba con el botón de paro de la bomba ítem 4 (color rojo).
5. Al finalizar apagar el PLC con el botón del ítem 6.

SISTEMA AUTOMÁTICO

1. Encender el PLC con el botón del ítem 6, (Botón encendido PLC).
2. Colocar el botón de selección ítem 7, (Botón manual y automático) hacia arriba marcando la opción “on” lo que indica que se encuentra encendido el sistema automático.
3. En el sistema automático la bomba puede ser encendida y apagada desde el computador y de forma manual, para la forma manual refiérase al encendido de la parte manual del instructivo.
4. Conectar el cable de Ethernet en la computadora.
5. Seguir paso a paso el tutorial de manejo de la aplicación en Labview para la construcción de pruebas.
6. Finalizado el proceso se puede apagar de forma manual y automática en caso de cualquier emergencia para apagar la bomba se pulsa el botón de paro (botón rojo) ítem 4.

TUTORIAL DE MANEJO DE LA APLICACIÓN EN LABVIEW.

Para la correcta utilización del software se debe seguir los pasos numerados a continuación:

1. Dar clic en el icono del PC Access que se encuentra en el escritorio para establecer la comunicación entre el sistema y Labview.

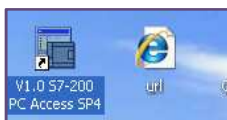


Figura 1. 2: Ícono de PC Access.Fuente Propia.

- Se carga el PC Access y se muestra la pantalla de inicio, se selecciona el PLC establecido s7 1200, y aparece las variables que se utiliza durante la ejecución del programa.

Nombre	ID de ítem	Dirección	Tipo de datos	Acceso
apagado	MicroWin.s7 12...	I0.5	BOOL	RW
ciclo_1	MicroWin.s7 12...	M7.0	BOOL	RW
encendido	MicroWin.s7 12...	I0.6	BOOL	RW
nivel alto	MicroWin.s7 12...	I0.3	BOOL	RW
nivel bajo	MicroWin.s7 12...	I0.4	BOOL	RW
rpm	MicroWin.s7 12...	MD50	DINT	RW
tiempnivel	MicroWin.s7 12...	MD22	DINT	RW

Figura 1. 3: Pantalla de las variables del PC Access. Fuente Propia.

- A continuación se seleccionan todas las variables que se encuentran en la pantalla de inicio y se da clic en el icono “Agregar ítems actuales al cliente prueba”.

Nombre	ID de ítem	Dirección	Tipo de datos	Acceso
Agregar ítems actuales al cliente de prueba		I0.5	BOOL	RW
apagado	MicroWin.s7 12...	I0.5	BOOL	RW
ciclo_1	MicroWin.s7 12...	M7.0	BOOL	RW
encendido	MicroWin.s7 12...	I0.6	BOOL	RW
nivel alto	MicroWin.s7 12...	I0.3	BOOL	RW
nivel bajo	MicroWin.s7 12...	I0.4	BOOL	RW
rpm	MicroWin.s7 12...	MD50	DINT	RW
tiempnivel	MicroWin.s7 12...	MD22	DINT	RW

Figura 1. 4: Ítems para el cliente prueba. Fuente Propia.

- Las variables seleccionadas se añaden a una nueva pantalla “cliente prueba”, una vez que se verifique que todas las variables se encuentren en ésta pantalla se da clic en el ícono “cliente prueba” y se minimiza el programa.

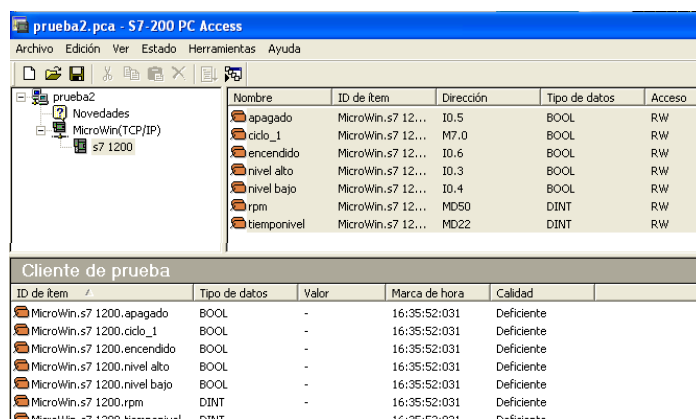


Figura 1. 5: Cliente prueba. Fuente Propia.

Nota: En caso de realizar alguna modificación o algún inconveniente refiérase al Capítulo 5, página 132.

- Una vez establecida la conexión se procede con la interfaz gráfica desarrollada en Labview, para iniciar se da clic en la carpeta que contiene el programa la cual se encuentra en el escritorio con el nombre de “programa”
- Al abrir la carpeta se encuentran todos los archivos necesarios para la ejecución del programa, dar clic en el icono “tanque Labview Project”.

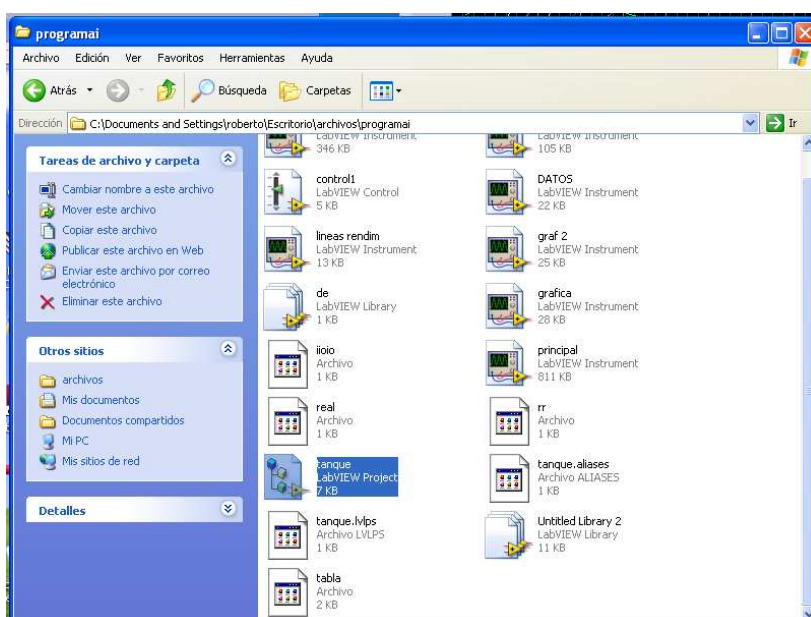


Figura 1. 6: Carpeta del programa. Fuente Propia.

Nota: No abrir ningún archivo que se encuentre dentro de la carpeta en caso de realizar alguna modificación remitirse al Capítulo 6 pagina 166, antes de realizar cualquier modificación.

7. En la pantalla de Labview aparece el proyecto tanque en la subcarpetas aparece las pantallas de ejecución del programa, dar clic en ítem “principal.vi” para iniciar el programa.

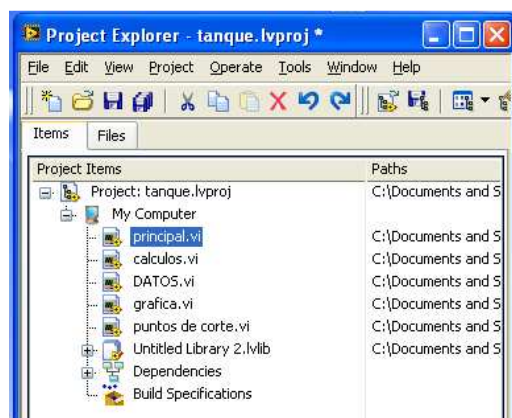


Figura 1. 7: Pantalla de proyecto. Fuente Propia.

8. Aparece la pantalla general del programa, se da clic en el icono “run”.

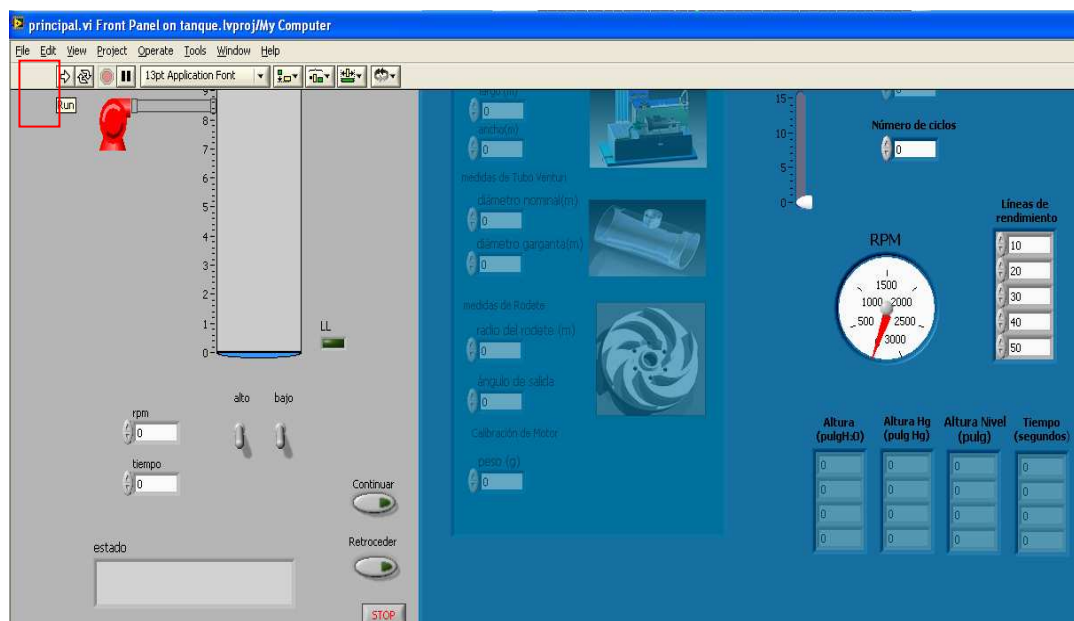


Figura 1. 8: Pantalla de para iniciar el programa. Fuente Propia.

9. Al establecer el inicio del programa, aparece la pantalla donde se guarda los datos que se introducen en el programa todos los datos sonalmacenados en

este archivo, para luego ser utilizados por el usuario, el archivo puede ser leído en EXCEL o notepad.

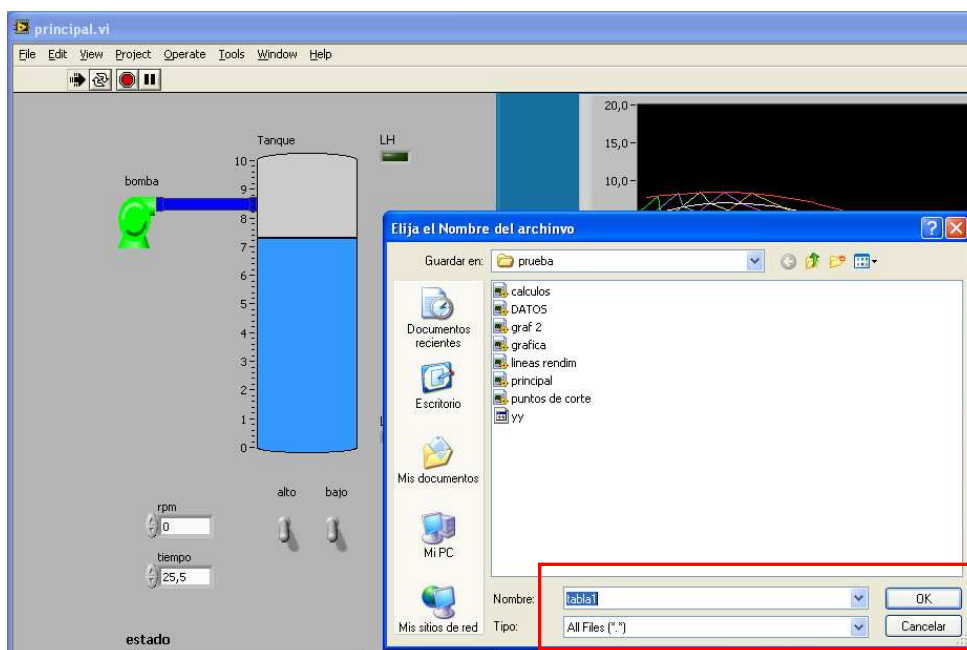


Figura 1. 9: Pantalla para guardar el archivo de datos. Fuente Propia.

10. Cuando se especifica el lugar donde se guardan los datos medidos aparece la pantalla de inicio del programa, se da clic en el botón "inicio" para proceder con la toma de datos.



Figura 1. 10: Pantalla inicial del programa. Fuente Propia.

11. Esperar que el sistema se estabilice y cense las revoluciones adecuadas en el recuadro de rpm del programa.

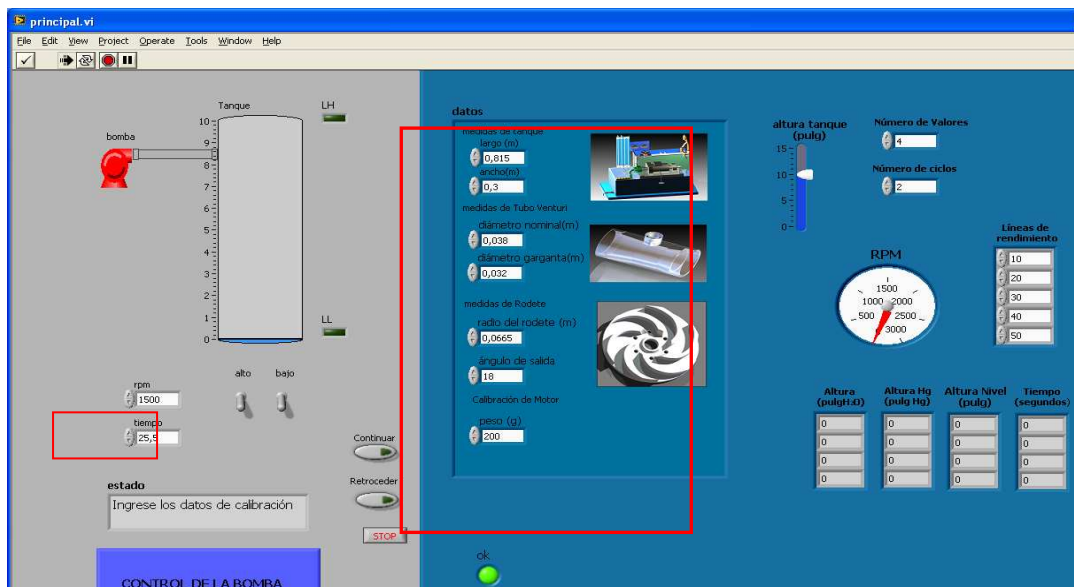


Figura 1. 11: Pantalla de datos iniciales de operación. Fuente Propia.

En el cuadro de datos se encuentran todos los parámetros necesarios para establecer los cálculos respectivos, el programa tiene los datos por defectos que se tomaron en la realización de la presente tesis refiérase al Capítulo 3 página 35.

12. Una vez establecido los parámetros de trabajo se debe determinar la cantidad de datos, que se toman para la obtención de las curvas características refiérase al Capítulo 3 página 57.

13. Se determina el número de ciclos que es la cantidad de curvas que se obtendrá en el programa para diferentes revoluciones.

14. Las líneas de rendimiento se determinan en el porcentaje deseado.

Nota: las líneas de rendimiento es preferible que se encuentren entre valores menores a 35% para revoluciones altas, debido a que si la recta no corta ninguna curva las líneas de isorendimiento no podrían ser graficadas por el programa.

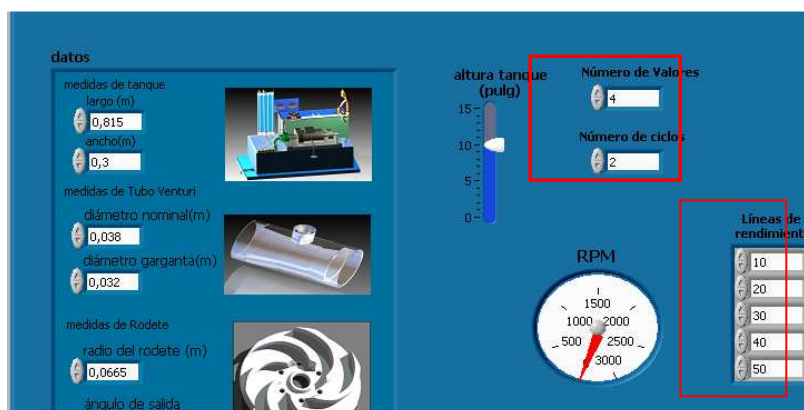


Figura 1. 12: Numero de datos, ciclos y líneas de rendimiento. Fuente Propia.

15. Una vez establecido los parámetros iniciales de operación y la cantidad de datos se procede al encendido de la bomba, en la parte inferior izquierda de la pantalla se encuentran los botones de encendido y apagado de la bomba se proceda a dar clic en el botón de encendido.
16. Se debe esperar un tiempo adecuado para establecer las revoluciones deseadas de la bomba, y anotar la masa requerida para calibrarla.

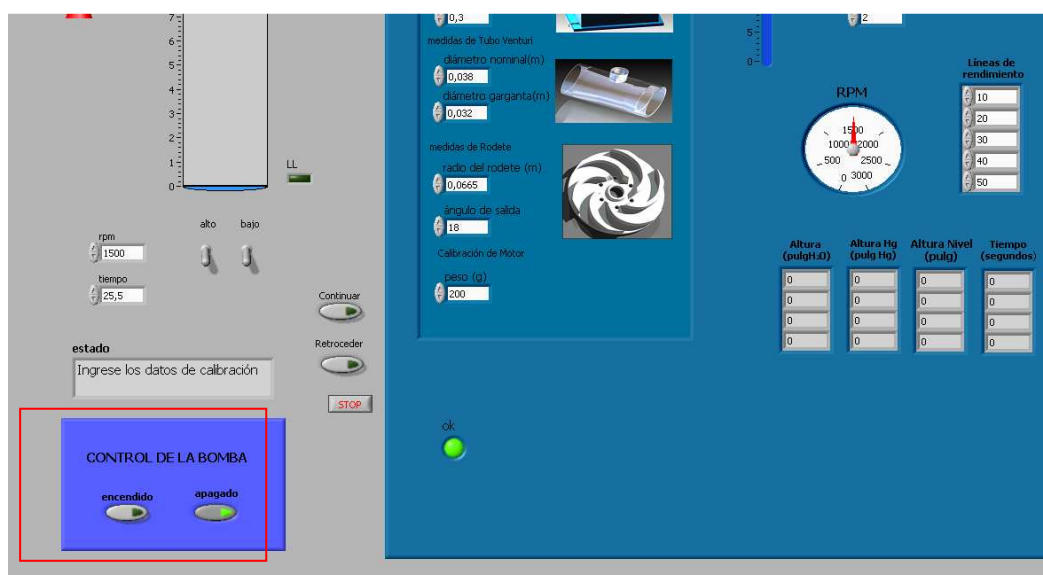


Figura 1. 13: Pantalla de encendido de la bomba. Fuente Propia.

17. Se da clic en el botón continuar y se bloquea el cuadro de datos. Aparece un nuevo botón “marcha”.

Nota: En caso de cometer un error en el ingreso previo de datos se puede regresar a la pantalla anterior mediante el botón retroceder.

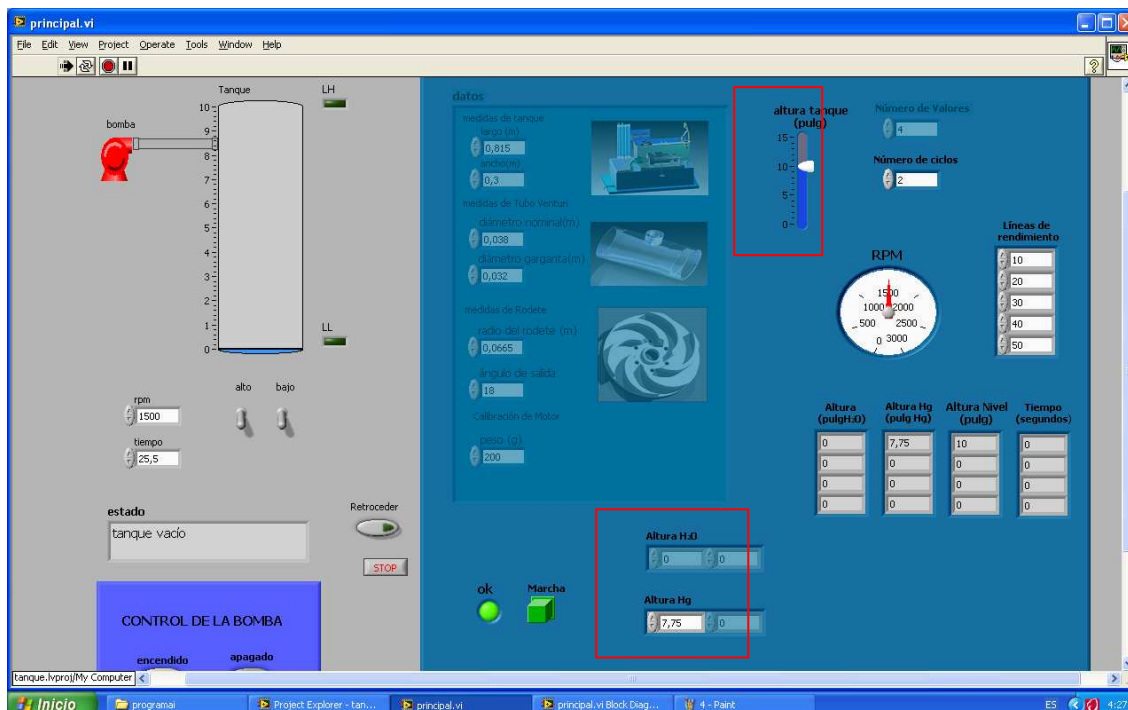


Figura 1. 14: Pantalla de nivel y alturas de presión. Fuente Propia.

18. Se ingresan los valores de altura del manómetro de agua y del manómetro de mercurio, en los recuadros que aparecen respectivamente.
 19. Se regula la posición de nivel del tanque de medida, los valores entre los cuales se pueda variar el sensor es de 4, 10 y 15 pulgadas.
 20. Se procede a dar clic en el botón marcha para continuar con el proceso.
 21. Se coloca el mecanismo para el llenado del tanque de medida cuando el tanque empieza su llenado se enciende la luz verde y cuando termina el proceso se enciende la luz amarilla del panel de control.
- Nota:** En caso de ingresar de manera errónea un dato se puede regresar dando clic en el botón “paro”

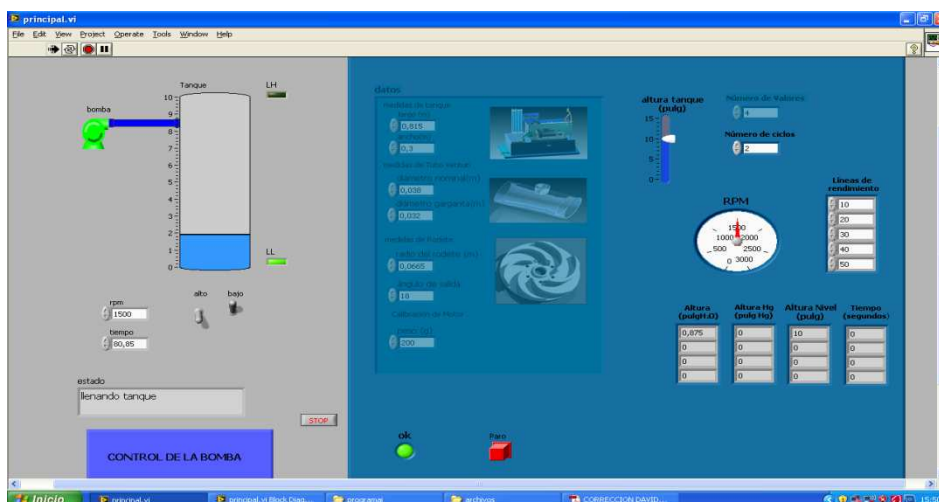


Figura 1. 15: Botón Paro. Fuente Propia.

22. Terminado el proceso de llenado aparece nuevamente la pantalla de ingreso de datos de altura, y se procede a llenar cada uno de los datos con diferente caudal determinado por la apertura de la válvula de paso.
23. Finalizado el proceso se despliega la primera curva de calibración del tubo Venturi.
24. Para ver la siguiente gráfica se da clic en el botón “continuar”.

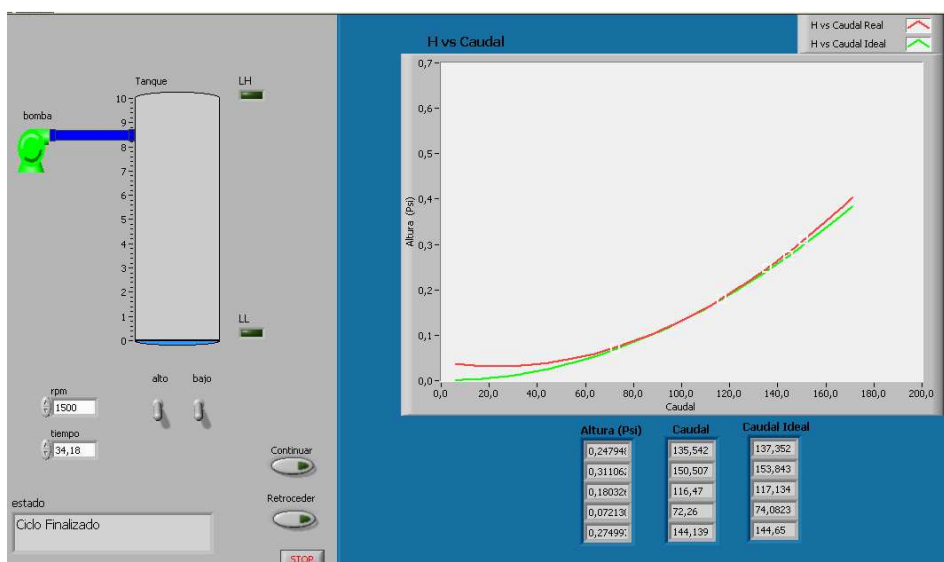


Figura 1. 16: Gráfica de calibración del tubo venturi. Fuente Propia.

25. La gráfica siguiente es la de altura del manómetro de mercurio en función del caudal, para seguir con la gráfica de rendimientos se da clic en siguiente.

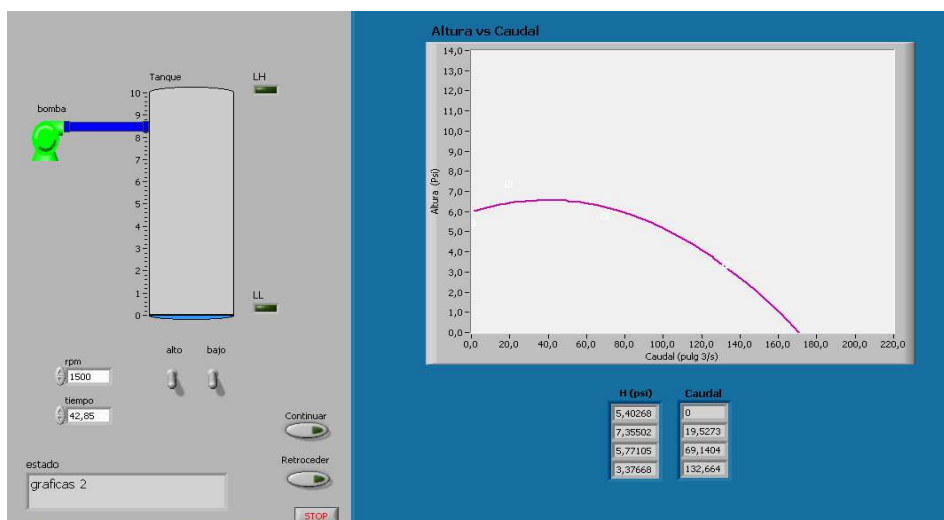


Figura 1. 17: Gráfica de altura en función del caudal. Fuente Propia.

26. Se da clic en siguiente para ver la gráfica de comprobación que es una línea recta si el proceso y la toma de datos se realizó de manera adecuada.

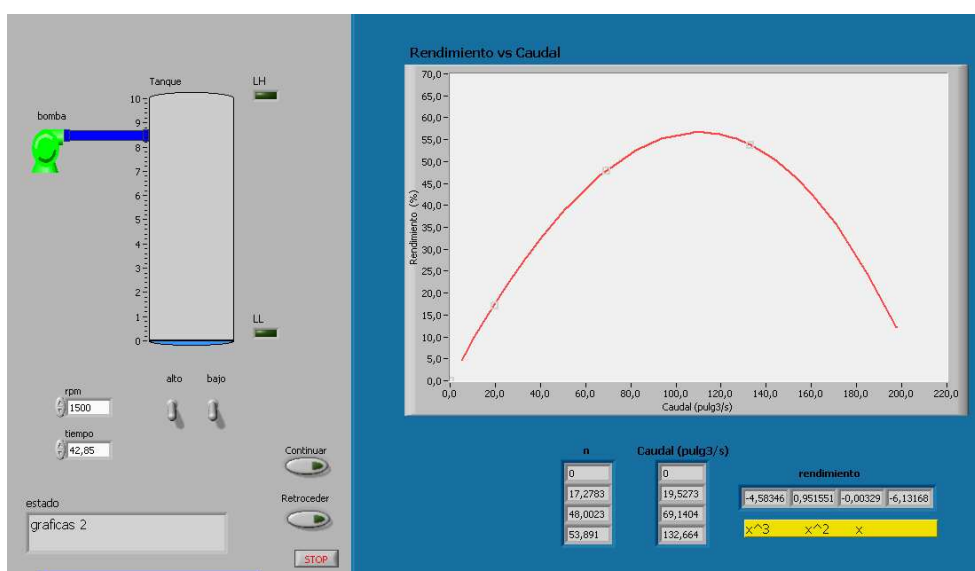


Figura 1. 18: Gráfica de rendimiento en función de Caudal. Fuente Propia.

27. Se da clic en siguiente para observar las gráficas de altura y rendimiento en función del caudal y las líneas isotermas en el caso de tener varios ciclos.

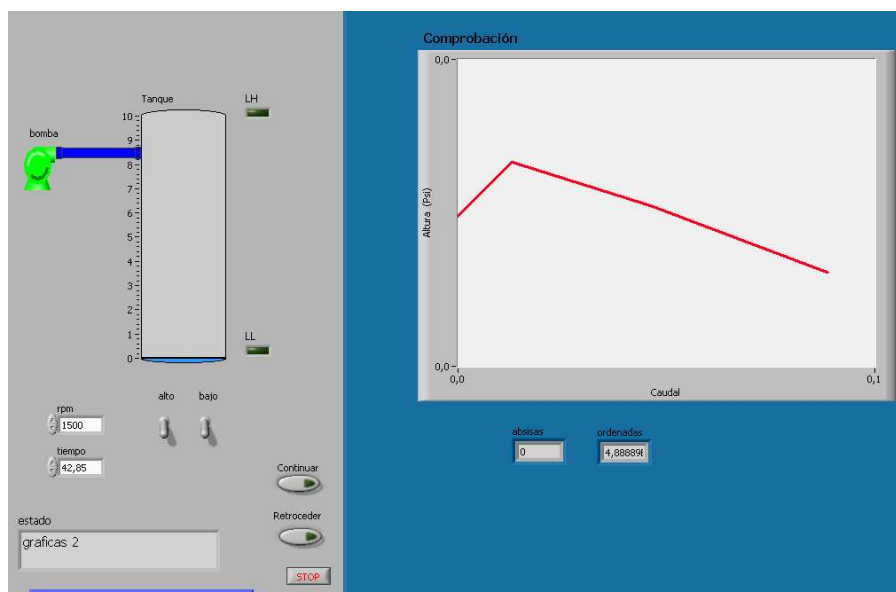


Figura 1. 19: Gráfica de comprobación del ciclo. Fuente Propia.

28. Se da clic en siguiente proceso para tomar los datos con diferente tipo de revoluciones.

29. Se da clic en terminar para finalizar el proceso.

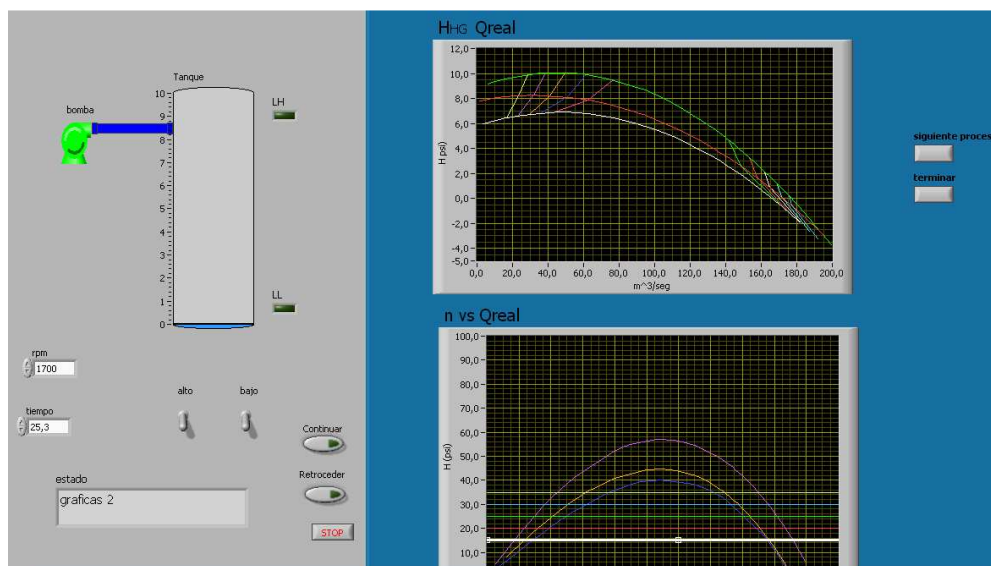


Figura 1. 20: Líneas de isorendimiento para diferentes rpm. Fuente Propia.

Nota: En el caso de que exista algún error durante todo el proceso se pueda dar clic en el botón “stop” para finalizar el proceso.

F – PLANOS.