

UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



TRABAJO DE GRADUACIÓN:

“BANCO DIDÁCTICO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS CON CONEXIÓN
EN SERIE Y PARALELO”

PRESENTADO POR:

ROGER VLADIMIR MENDOZA ÁLVAREZ

HEYSON BRIAN HERNÁNDEZ CORTEZ

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

SANTA TECLA, EL SALVADOR, CENTRO AMÉRICA.

Contenido

CAPÍTULO 1 GENERALIDADES.....	7
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
1.2 TEMA DE INVESTIGACIÓN.....	7
1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	7
1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	7
1.5 IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN	7
1.6 JUSTIFICACIÓN	7
1.7 ALCANCES DEL PROYECTO.....	8
1.8 LIMITANTES.....	8
1.9 OBJETIVOS	8
1.9.1 OBJETIVO GENERAL.....	8
1.9.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
1.10 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	9
CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO.....	10
2.1 BOMBAS HIDRÁULICAS.....	10
2.1.1 BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO NO POSITIVO (DINAMICAS).....	10
2.1.2 BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO.....	13
2.2 CURVAS CARACTERÍSTICAS Y PUNTO DE OPERACIÓN	15
2.3 CURVA CARACTERÍSTICA DEL FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA.....	15
2.4 CURVA CARACTERÍSTICA DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBA.....	17
2.5 POTENCIA HIDRÁULICA ENTREGADA POR LA BOMBA	17
2.5.1 CAUDAL VOLUMÉTRICO EN UNA TUBERÍA.	18
2.6 RESUMEN DE ECUACIONES	18
2.7 CONEXIÓN DE MÚLTIPLES BOMBAS.....	19
2.7.1 SISTEMAS EN SERIE.....	20
2.7.2 SISTEMAS EN PARALELO	21
2.8 DIAGRAMA DE MOODY.....	22
CAPÍTULO 3 DISEÑO	25
3.1 BANCO DE BOMBAS CENTRIFUGAS.....	25
3.2 DIAGRAMA HIDRÁULICO	27
3.2.1 TRAYECTORIAS 1 Y 2.....	28
3.2.2 TRAYECTORIA 3.....	30
3.2.3 TRAYECTORIA 4.....	31

3.3	SELECCIÓN DE EQUIPO DE BOMBEO	32
3.4	SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN.....	35
3.5	FUENTE DE ALIMENTACIÓN	36
3.5.1	DESCRIPCIÓN ELÉCTRICA DE FUNCIONAMIENTO.....	36
3.5.2	PLANO ELÉCTRICO.....	37
3.6	CALCULO DEL NPSHA	38
3.7	DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS	39
3.8	TANQUE DE SUCCIÓN Y DESCARGA.....	48
3.9	DIAGRAMA HIDRÁULICO CODIFICADO	50
3.10	MATERIALES.....	51
3.11	COSTOS	53
CAPÍTULO 4 CONSTRUCCIÓN.....		56
4.1	MONTAJE DE ELEMENTOS.....	56
4.1.1	CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE BOMBAS CENTRIFUGAS.....	56
4.2	HERRAMIENTAS	62
4.3	MANTENIMIENTO GENERAL.....	63
4.3.1	MANTENIMIENTO DEL BANCO HIDRÁULICO.....	63
CAPÍTULO 5 OPERACIÓN Y PRUEBAS.....		76
5.1	ANÁLISIS DE BOMBAS CENTRÍFUGAS.....	76
5.1.1	TRAYECTORIA 1.....	76
5.1.2	TRAYECTORIA 2.....	78
5.1.3	TRAYECTORIA 3 EN SERIE.....	80
5.1.4	TRAYECTORIA 4 EN PARALELO	82
5.2	ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE BOMBAS EN SERIE.....	91
5.3	ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE BOMBAS EN PARALELO.....	95
5.4	GUÍAS DE LABORATORIO.....	100
5.4.1	RECONOCIMIENTO DE EQUIPO HIDRAULICO.....	100
5.4.2	PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA	107
5.4.3	CONEXIÓN DE BOMBAS CENTRIFUGAS EN SERIE	121
5.4.4	CONEXIÓN DE BOMBAS CENTRIFUGAS EN PARALELO.....	128
CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		136
6.1	CONCLUSIONES.....	136
6.2	RECOMENDACIONES.....	137
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		138
BIBLIOGRAFÍA.....		138

SITIO GRAFÍA.....	139
ANEXO 1	140
DATOS EXPERIMENTALES DEL BANCO DE BOMBAS.	140
ANEXO 2	143
FOTOGRAFÍAS.....	143
ANEXO 3	145
PLANOS MECÁNICOS.....	145
ANEXO 4	172
DIAGRAMA DE MOODY	172
ANEXO 5	174
COEFICIENTES DE PERDIDA (K) EN ACCESORIOS DE TUBERIA	174
ANEXO 6	179
GLOSARIO	179

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Bomba de paleta.	11
Fig. 2 Bomba de paletas (Estanquidad entre rotor y carcasa). Oleo hidráulica Básica. pág. 22	11
Fig. 3 Rendimiento de una bomba centrífuga. Oleo hidráulica Básica. pág. 22	12
Fig. 4 Partes de una bomba. Recuperado de: bp.blogspot.com.....	12
Fig. 5 Rendimiento de una bomba de desplazamiento positivo. Oleo hidráulica Básica. pág. 23.....	14
Fig. 6 Curva de funcionamiento de una bomba. Mecánica de fluidos. R. Mott. Pag 419.....	15
Fig. 7 Curva de la eficiencia de una bomba centrífuga.....	17
Fig. 8 Curva de bombas en serie.....	20
Fig. 9 Curva de bombas en paralelo.	21
Fig. 10 Explicación de partes del diagrama de Moody.....	23
Fig. 11 Primer diseño.....	25
Fig. 12 Diseño final.....	26
Fig. 13 Isométrico de banco de bombas centrifugas.....	26
Fig. 14 Esquema Hidráulico del banco didáctico.....	27
Fig. 15 Flujo hidráulico en la trayectoria 1.....	28
Fig. 16 Flujo hidráulico en la trayectoria 2	29
Fig. 17 Flujo hidráulico en la trayectoria 3 conectadas en serie.....	30
Fig. 18 Flujo hidraulico en la trayectoria de trabajo 4 conectadas en paralelo.	31
Fig. 19 Dimensiones de las bombas centrifugas.....	32
Fig. 20 Instrucciones de intalacion	33
Fig. 21 Curva altura vrs caudal	33
Fig. 22 Plano eléctrico del banco didáctico.....	37
Fig. 23 Especificaciones técnicas de tubería de acero	47
Fig. 24 Diagrama hidráulico codificado	50
Fig. 25 Despiece de la bomba centrífuga.....	69
Fig. 26 Fallas ocasionadas por ataque químico.....	74
Fig. 27 Falla ocasionada por burbujas en el fluido.....	74
Fig. 28 Falla por deformación del sello.....	74
Fig. 29 Falla ocasionada por mal montaje	74
Fig. 30 Sellado de roscas de tubería.....	75
Fig. 31 Curva practica trayectoria 1	77
Fig. 32 Curva practica trayectoria 2	79
Fig. 33 Curva practica trayectoria 3	81
Fig. 34 Curva practica trayectoria 4	83
Fig. 35 Funcionamiento de la trayectoria 1	84
Fig. 36 Funcionamiento de la trayectoria 2	87
Fig. 37 Funcionamiento de la trayectoria 3 bombas en serie	91
Fig. 38 Funcionamiento de la trayectoria 4 bombas en paralelo.	95
Fig. 39 Diagrama de Moody.....	142

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Teorema de Bernoulli aplicado entre la succión y la descarga de una bomba.....	15
Ecuación 2 Altura total de la bomba del banco experimental	16
Ecuación 3 Eficiencia de una bomba.....	17
Ecuación 4 Potencia hidráulica entregada por una bomba.....	17
Ecuación 5 Caudal volumétrico	18
Ecuación 6 Factor de fricción para flujo laminar.....	24
Ecuación 7 Factor de fricción para flujo turbulento.	24
Ecuación 8 Caudal. Volumétrico	40
Ecuación 9 Calculo de área o sección transversal del conducto.....	41
Ecuación 10 Cálculo de velocidad de circulación.	41
Ecuación 11 Para área en secciones circulares.....	41
Ecuación 12 Representa la ecuacion de continuidad.....	41
Ecuación 13 Velocidad máxima aconsejable.....	42
Ecuación 14 Carga de velocidad.	63

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ecuaciones utilizadas	18
Tabla 2 Valores de los factores de fricción	22
Tabla 3 Parámetros de operación de la bomba.	33
Tabla 4 Velocidad de aspiración/impulsión en tuberías.	43
Tabla 5 Datos técnicos de los tubos de acero.....	48
Tabla 6 Nombre de las piezas de la bomba centrífuga.....	69
Tabla 7 Datos de prueba en la trayectoria 1	76
Tabla 8 Caudal vrs Altura en la trayectoria 1	77
Tabla 9 Datos de prueba en la trayectoria 2.....	78
Tabla 10 Caudal vrs Altura en la trayectoria 2	79
Tabla 11 Datos de prueba en la trayectoria 3.....	80
Tabla 12 Caudal vrs Altura en la trayectoria 3	81
Tabla 13 Datos de prueba en la trayectoria 4.....	82
Tabla 14 Caudal vrs Altura en la trayectoria 4	83

INDICE DE FIGURAS DE GUIA DE LABORATORIO 1

GL1 Fig. 1 Banco didáctico de bombas centrífugas	102
GL1 Fig. 2 Codificación del sistema por elemento.....	103
GL1 Fig. 3 Para dimensionamiento del banco didáctico de bombas.....	106

INDICE DE FIGURAS DE GUIA DE LABORATORIO 2

GL2 Fig. 1 Bombas centrífugas	108
GL2 Fig. 2 Válvula de globo.....	109
GL2 Fig. 3 Variadores de frecuencia.....	109
GL2 Fig. 4 Diagrama hidráulico codificado por elemento.....	110
GL2 Fig. 5 Trayectoria 1	111
GL2 Fig. 6 Trayectoria 2	116

INDICE DE FIGURAS DE GUIA DE LABORATORIO 3

GL3 Fig. 1 Curva característica H vs. Q de dos bombas diferentes en serie.	122
GL3 Fig. 2 Trayectoria 3 conexión de bombas en serie.....	123

INDICE DE FIGURAS DE GUIA DE LABORATORIO 4

GL4 Fig. 1 Acoplamiento de dos bombas diferentes acopladas en paralelo.....	129
GL4 Fig. 2 Acoplamiento de dos bombas idénticas en paralelo	129
GL4 Fig. 3 Acoplamiento de dos bombas distintas en paralelo, con igual ordenada H, para $Q = 0$	129
GL4 Fig. 4 Trayectoria 4 conexión de bombas en paralelo.....	130

CAPÍTULO 1 GENERALIDADES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la Universidad Técnica Latinoamericana, no existe una instalación, equipo o banco didáctico con el cual se puedan desarrollar prácticas de laboratorio para realizar un análisis comparativo de las curvas de operación de bombas centrífugas con arreglos de conexión individual, en serie o paralelo.

1.2 TEMA DE INVESTIGACIÓN

“Banco Didáctico de bombas centrífugas con conexión en serie y paralelo.”

1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El análisis de las curvas de operación de diferentes arreglos de bombas centrífugas, es fundamental para tomar la decisión del tipo de configuración a utilizar de acuerdo con las necesidades o demandas de un sistema de bombeo.

1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo diseñar y construir un banco didáctico compuesto por un sistema de bombeo individual, en serie y paralelo para determinar el comportamiento de las curvas características?

1.5 IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

Por medio de un banco didáctico de bombas centrífugas con conexión individual, en serie o paralelo, se podrá demostrar el comportamiento de las curvas de operación de las bombas, para la aplicación de acuerdo con los requerimientos de un sistema de bombeo cualquiera.

1.6 JUSTIFICACIÓN

Las prácticas de laboratorio hacen parte primordial en el complemento de la teoría. Para reafirmar los conocimientos sobre el funcionamiento de sistemas de bombeo, se diseñará y construirá un banco didáctico de bombas centrífugas con conexión individual, en serie o paralelo para realizar un análisis comparativo de las curvas de operación de las diferentes configuraciones.

1.7 ALCANCES DEL PROYECTO

El desarrollo del proyecto constará de tres etapas: Diseño, construcción y puesta en marcha de un banco didáctico de bombas centrífugas con conexión individual, en serie o paralelo.

Así también la elaboración de guías de laboratorio que permitan obtener la información necesaria para el análisis comparativo de las curvas de operación.

1.8 LIMITANTES

El diseño y construcción del banco de bombas centrífugas propuesto, estará limitado por el costo de los equipos, accesorios, materiales y demás partes componentes, así como también por el espacio físico del laboratorio donde será ubicado.

1.9 OBJETIVOS

1.9.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis comparativo de las curvas de operación de bombas centrífugas con arreglo de conexión individual, en serie o paralelo, mediante la utilización de un banco didáctico con la flexibilidad para las diferentes conexiones.

1.9.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar las curvas de operación de las bombas centrífugas.
2. Mostrar una conexión hidráulica flexible, que permita la simulación de diferentes trayectorias.
3. Incorporar amperímetro, voltímetro en la línea de energía de cada una de la bomba centrífugas
4. Elaborar guías de laboratorio didácticas que permitan a los estudiantes realizar las prácticas en sus diferentes trayectorias y relacionarlas entre ellas
5. Realizar el análisis de resultados teóricos vs. prácticos, de los resultados obtenidos en las diferentes trayectorias del banco de pruebas a distintas etapas de restricción de caudal

1.10 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

OBJETIVO	TAREAS
1. Diseñar un sistema de bombeo de bombas centrífugas con conexión en serie y en paralelo.	1.1. Investigar la información relacionada para desarrollar el marco teórico de la investigación. 1.2. Definir el alcance del proyecto. 1.3. Establecer las limitantes del proyecto. 1.4. Redactar las recomendaciones. 1.5. Establecer el cronograma de trabajo del marco teórico y del prototipo del banco didáctico de bombas centrífugas. 1.6. Realizar la búsqueda de normativas tanto para el área mecánica como eléctrica.
2. Implementar un sistema de bombeo de bombas centrífugas con conexión en serie y en paralelo para determinar las características principales del sistema con bombas centrífugas.	2.1. Realizar el diseño del montaje del banco de pruebas de bombas Centrífugas. 2.2. Realizar el diseño mecánico para el montaje de bombas Centrífugas. 2.3. Realizar el diseño eléctrico para la conexión de bombas Centrífugas.
3. Probar el sistema de bombeo de bombas centrífugas con conexión en serie y en paralelo, para determinar las practicas a implementar en las asignaturas de la carrera.	3.1. Realizar las guías prácticas del módulo de bombas Centrífugas. 3.2. Establecer las características de operación del sistema de bombeo a partir de la conexión de equipo de pruebas del banco didáctico.
4. Recomendar ampliaciones y mejoras para un desarrollo de una etapa posterior.	4.1. Realizar recomendaciones de carácter técnico a fin de realizar mejoras al sistema para futuras ampliaciones.

CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO

2.1 BOMBAS HIDRÁULICAS

Una máquina de fluido es un sistema mecánico que intercambia energía con el fluido que está contenido o que circula a través de ella. Son máquinas de fluido las bombas, los ventiladores, los compresores, las turbinas hidráulicas, las turbinas de vapor y de gas, pero también los tornillos de Arquímedes o las ruedas hidráulicas. La gran complejidad del flujo en estas máquinas, aun supuesto ideal, hace que su estudio sea motivo de investigación permanente y que su diseño se apoye tanto en la experimentación como en el desarrollo de teorías y simulaciones que analicen el flujo tridimensional. En el sentido más amplio del término, una bomba hidráulica es una máquina generadora que trabaja con un fluido incompresible en la que se produce una transformación de energía mecánica en hidráulica. Aquí nos centraremos básicamente en las bombas rotodinámicas y en las volumétricas, puesto que son las más usuales¹

Actualmente las bombas son los aparatos más utilizados después del motor eléctrico, y existe una gran variedad de bombas para traslado de líquidos y gases, y para presurizar o crear vacío en aplicaciones industriales. Genéricamente las bombas pueden dividirse en dos tipos: de desplazamiento no positivo (hidrodinámicas), y de desplazamiento positivo (hidrostáticas). Las primeras se emplean para traslado de fluidos y las segundas para la transmisión de energía.

El proceso de transformación de energía se efectúa en dos etapas:

- a) Aspiración. - Al comunicarse la energía mecánica a la bomba, esta comienza a girar y con esto se genera una disminución de la presión en la entrada de la bomba como el depósito de fluido se encuentra sometido a presión atmosférica, entonces se encuentra una diferencia de presiones lo que provoca la succión y con ello el impulso hidráulico hacia la entrada.
- b) Descarga. - al entrar fluido en la bomba lo toma y lo traslada hasta la salida y asegura por la forma constructiva de rotación que el fluido no retroceda. Dado esto, el fluido no encontrara más alternativa que ingresar al sistema que es donde se encuentra el espacio disponible, consiguiendo así la descarga.

2.1.1 BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO NO POSITIVO (DINAMICAS)

También llamadas hidrodinámicas. En estas bombas, generalmente empleadas para traslado de fluidos, la energía cedida al fluido es cinética, y funciona generalmente mediante una fuerza de rotación, por la cual el fluido entra en la bomba por el eje de esta y es expulsado hacia el exterior

¹ FLUIDOS, BOMBAS E INSTALACIONES HIDRÁULICAS. Por DE LAS HERAS, Salvador, 2011, EDICIÓN UPC, Alfaomega, p. 122.

por medio de un elemento (paletas, lóbulos, turbina) que gira a gran velocidad como se muestra en la figura 1.

Una bomba hidrodinámica no dispone de sistemas de estanqueidad entre los orificios de entrada y salida; por ello produce un caudal que variará en función de la contrapresión que encuentre el fluido a su salida. Si se bloquea totalmente el orificio de salida de una bomba de desplazamiento no positivo aumentará la presión y disminuirá el caudal hasta cero, a pesar de que el elemento impulsor siga moviéndose; esto se debe a que el rotor y la carcasa de la bomba generan una conexión entre la cámara de succión y descarga de la bomba, como se muestra en la figura 2.

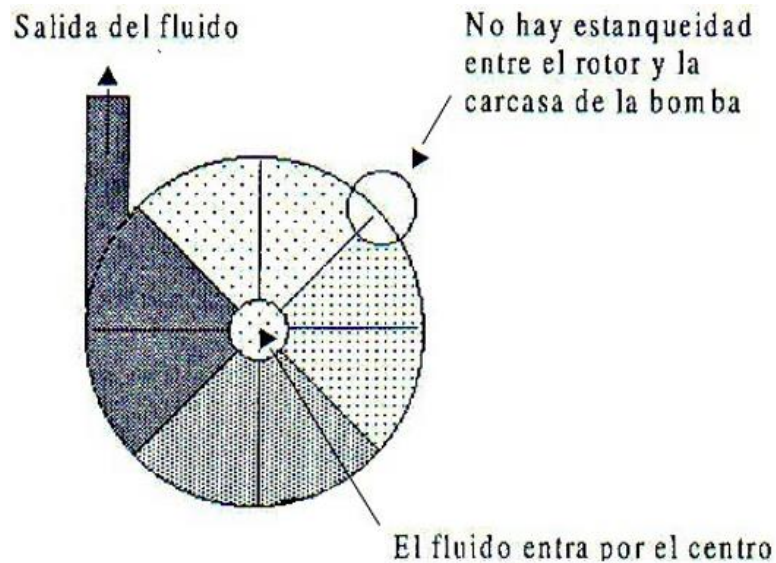


Fig. 1 Bomba de paleta.

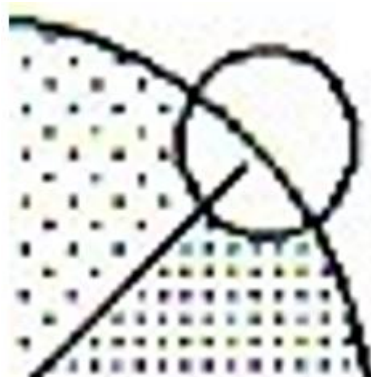


Fig. 2 Bomba de paletas (Estanqueidad entre rotor y carcasa). Oleo hidráulica Básica, pág. 22

El caudal suministrado por la bomba no tiene suficiente fuerza para vencer la presión que encuentra en la salida, y al no existir estanqueidad entre ésta y la entrada, el fluido fuga interiormente de un orificio a otro y disminuye el caudal a medida que aumenta la presión, según la gráfica de la figura 3.

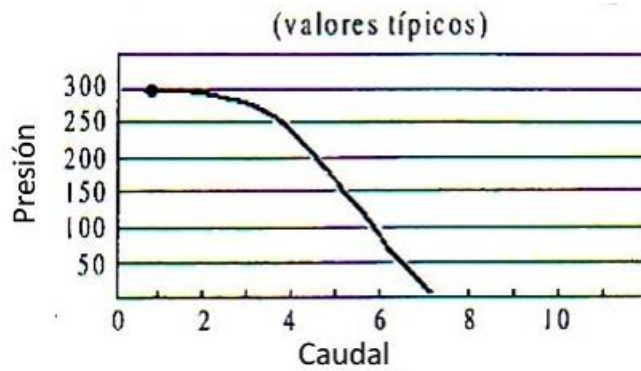


Fig. 3 Rendimiento de una bomba centrífuga. Oleo hidráulica Básica. pág. 22

En este tipo de bombas la presión máxima alcanzable variará en función de la velocidad de rotación del elemento impulsor; a pesar de ello se pueden conseguir presiones medias con bombas múltiples o de etapas, donde la salida de una es la aspiración de la siguiente, sumándose así las presiones. Debido a esta peculiaridad, las bombas hidrodinámicas sólo se emplean para mover fluidos en aplicaciones donde la resistencia a vencer sea pequeña.

2.1.1.1 BOMBAS CENTRIFUGAS

Una bomba centrífuga es un dispositivo constituido por un conjunto de paletas rotatorias perfectamente encajadas dentro de una cubierta metálica (voluta), de manera que son capaces de impulsar al líquido que esté contenido dentro de la cubierta, gracias a la fuerza centrífuga que se genera cuando giran las paletas del rodete.

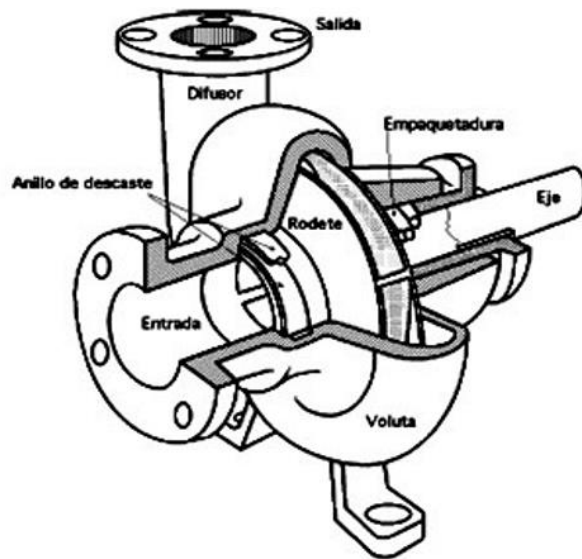


Fig. 4 Partes de una bomba. Recuperado de: bp.blogspot.com

CLASIFICACIÓN DE BOMBAS CENTRIFUGAS

- a) **Centrífugas o radiales:** son las más conocidas y a veces las únicas existentes en el mercado. Se caracterizan por hacer uso de la fuerza centrífuga para impulsar el agua, razón por la cual ésta sale de la bomba en forma perpendicular al eje del rodete. En este tipo de bombas proporciona un flujo de agua uniforme y son apropiadas para elevar caudales pequeños a grandes alturas.
- b) **Bombas axiales o helicoidales:** no hacen uso de la fuerza centrífuga, sino que mueven el agua en forma similar como lo hace un ventilador para mover el aire, el agua sale en forma paralela al eje de rotación del impulsor. Son especialmente indicadas para elevar grandes caudales ($11 \text{ m}^3/\text{seg.}$) a baja altura hasta 6 mca.
- c) **Bombas de flujo mixto:** aprovechan las ventajas de las bombas helicoidales (sencillez y poco peso) y se modifica la forma de los álabes dándole una forma tal que le imparten al agua una cierta fuerza centrífuga. Alcanzan su mejor rendimiento con caudales entre 30 y 3000 l/s. y alturas de 3 a 18 mca.

Considerando que, en los equipos de riego localizado, generalmente, se usan las bombas de tipo centrífugas, en este capítulo, el análisis se centrará en éstas.

En una bomba centrífuga el motor hace girar un eje en el cual va montado el impulsor que está encerrado en la carcasa.

El agua ingresa a la bomba por el centro de esta y al girar el rotor le imprime velocidad que al salir de la bomba se transforma en presión.

2.1.2 BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

También llamadas hidrostáticas. Las bombas hidrostáticas o de desplazamiento positivo son elementos destinados a transformar la energía mecánica en hidráulica. Cuando una bomba hidráulica trabaja, realiza dos funciones: primero su acción mecánica crea un vacío en la línea de aspiración que permite a la presión atmosférica forzar al líquido del depósito hacia el interior de la bomba; en segundo lugar, su acción mecánica hace que este líquido vaya hacia el orificio de salida, forzándolo a introducirse en el sistema oleo hidráulico.

Una bomba produce movimiento de líquido o caudal pero no genera la presión, que está en función de la resistencia al paso del fluido que se genera en el circuito.

Así, por ejemplo, la presión a la salida de una bomba es cero cuando no está conectada al sistema (no está en carga), pero si la misma bomba se conecta a un circuito (carga), o simplemente se le tapona el orificio de salida, la presión aumentará hasta vencer la resistencia de la carga.

Una bomba hidrostática o de desplazamiento positivo es aquella que suministra la misma cantidad de líquido en cada ciclo o revolución del elemento de bombeo, independientemente de la presión que encuentre el líquido a su salida.

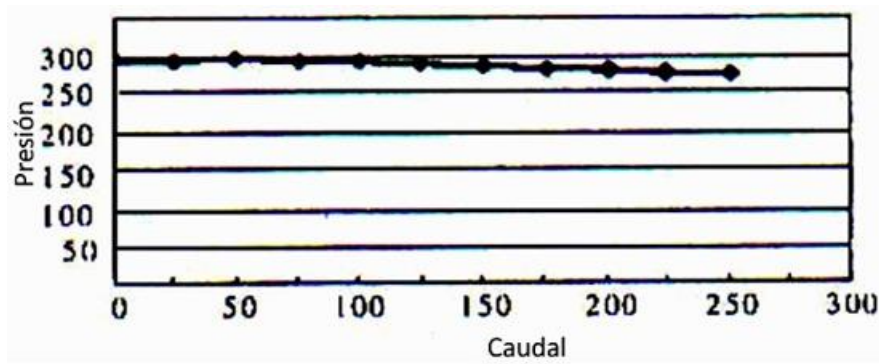


Fig. 5 Rendimiento de una bomba de desplazamiento positivo. Oleo hidráulica Básica, pág. 23

La homogeneidad de caudal en cada ciclo se consigue gracias a tolerancias muy ajustadas entre el elemento de bombeo y la carcasa de la bomba. Así, la cantidad de líquido que fuga interiormente en la bomba de desplazamiento positivo es mínima, y despreciable comparada con el máximo caudal de esta. El volumen desplazado por ciclo o revolución permanece casi constante a pesar de las variaciones de presión contra las que trabaja la bomba.

Cuando estas bombas presenten fugas internas considerables deben ser reparadas o substituidas ya que no trabajan correctamente. El rendimiento volumétrico de las bombas de desplazamiento positivo, aunque varía de un tipo a otro, no debe ser inferior al 85%.²

La figura 5 representa la gráfica presión/caudal típica de una bomba de desplazamiento positivo, y se puede observar que el caudal se mantiene casi constante a pesar del incremento de la presión. Esto se debe a las reducidas fugas internas entre el elemento de bombeo y la carcasa.

La comparación entre las gráficas presión/caudal de las bombas hidrodinámicas y las hidrostáticas (figuras 3 y 5 respectivamente) hace comprender por qué todas las bombas de los sistemas oleo hidráulicos son de desplazamiento positivo. Las tres razones más importantes son:

- En la bomba de desplazamiento positivo, cuando el esfuerzo a vencer por el sistema alcance un valor determinado (orientativamente entre 5 y 20 kg/cm^2 , según el tipo de bomba), la bomba dejará de dar caudal, y el equipo se parará.
- En el caso anterior, y aún antes de alcanzar este valor concreto de presión, el caudal va disminuyendo notablemente, por lo que no se dispone de un control preciso de la velocidad de movimiento del sistema.
- Las fugas internas en este tipo de bombas implican un elevado consumo de energía mecánica que se desaprovecha al no convertirse en energía hidráulica. Como ya se adelantaba, las bombas de desplazamiento no positivo se utilizan, casi exclusivamente, para el traslado de agua u otros líquidos, pero no para aplicaciones oleo hidráulicas.

² (ROCA, Felip. Oleo hidráulica Básica. Grupo Editorial Alfa Omega S.A. pág. 23)

2.2 CURVAS CARACTERÍSTICAS Y PUNTO DE OPERACIÓN

Un sistema de bombeo se caracteriza por un conjunto de curvas que describen el comportamiento durante su operación. Estas curvas se denominan curvas características; todas estas curvas se trazan en función del caudal y a una velocidad de giro constante. En cada sección de este capítulo se aborda una curva característica, un gráfico de una curva típica, y las expresiones matemáticas necesarias para trazar dicha curva.

2.3 CURVA CARACTERÍSTICA DEL FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA

La curva de funcionamiento de una bomba es una gráfica que muestra la energía total desarrollada por la bomba en función del caudal entregado por la misma, a una velocidad de giro constante. En la Figura 6 se muestra una curva de Funcionamiento típica de una bomba centrífuga. La altura total entregada por la bomba disminuye a medida que el caudal aumenta.

El cálculo de la altura total entregada por la bomba requiere que se aplique el teorema de Bernoulli entre la succión (entrada) y la descarga (salida) de la bomba. La Ecuación 1 muestra el teorema de Bernoulli aplicada entre la succión y la descarga de una bomba.

Altura vs Caudal

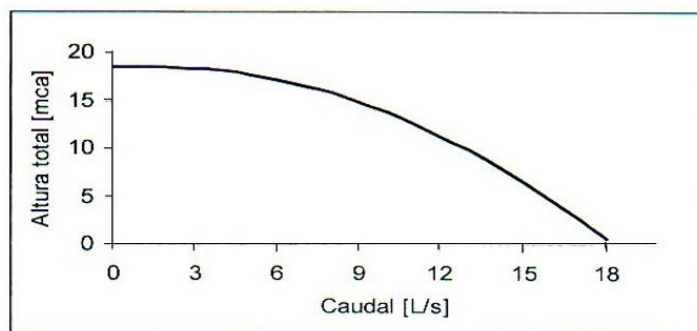


Fig. 6 Curva de funcionamiento de una bomba. *Mecánica de fluidos*. R. Mott, Pag 419

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_A = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Ecuación 1 Teorema de Bernoulli aplicado entre la succión y la descarga de una bomba.

Donde:

$\frac{P_1}{\gamma}$ = Altura de succión en la entrada de la bomba (mca.)

$\frac{V_1^2}{2g}$ = Altura de velocidad en la entrada de la bomba (mca.)

Z_1 = Altura potencial geodésica en la entrada o succión de la bomba (m.)

$\frac{P_2}{\gamma}$ = Altura de descarga en la salida de la bomba (mca.)

$\frac{V_2^2}{2g}$ = Altura de velocidad en la salida de la bomba (mca.)

Z_2 = Altura potencial geodésica en la descarga o salida de la bomba (m.) Altura total entregada por la bomba (mca.)

Los diámetros de la tubería de succión y de descarga del banco experimental donde se miden las presiones son iguales (diámetro una pulgada, cedula 80), por lo que $V_s = V_d$. Teniendo en cuenta que las presiones medidas experimentalmente están en metros de columna de agua, al simplificar y despejar h_A de la Ecuación 1 se obtiene:

$$h_A = P_2 - P_1 + (Z_2 - Z_1)$$

Ecuación 2 Altura total de la bomba del banco experimental

Donde:

h_A = Altura total entregada por la bomba (mca)

P_1 = Presión de entrada de la bomba (mca)

P_2 = Presión de descarga en la salida de la bomba (mca)

Z_2 = Altura potencial geodésica en la entrada o succión de la bomba (m)

Z_1 = Altura potencial geodésica en la descarga o salida de la bomba (m)

V_s = Velocidad de succión (m/s)

V_d = Velocidad de descarga (m/s)

2.4 CURVA CARACTERÍSTICA DE LA EFICIENCIA DE LA BOMBA

La eficiencia de la bomba es otra curva característica de un sistema de bombeo que se traza en función del caudal a una velocidad de giro constante. La eficiencia de una bomba es la relación entre la potencia hidráulica agregada por la bomba al fluido y la potencia eléctrica consumida por el motor. En la Figura se muestra una curva típica de la eficiencia de una bomba centrífuga. El valor de la eficiencia es cero cuando el caudal es cero. A medida que el caudal aumenta, la eficiencia aumenta hasta un valor máximo, denominado punto de máximo rendimiento. A partir de este punto, cuando aumenta el caudal, la eficiencia disminuye. La ecuación 3 es la expresión matemática que se utiliza para calcular la eficiencia de una bomba.

Eficiencia vs. Caudal.

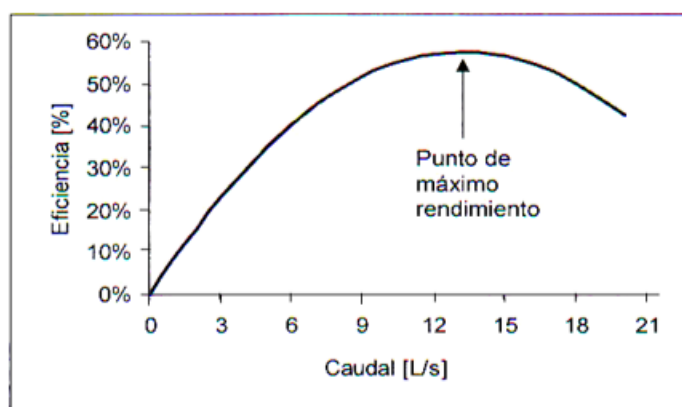


Fig. 7 Curva de la eficiencia de una bomba centrífuga.

$$P_e = \frac{P_h}{n}$$

Ecuación 3 Eficiencia de una bomba.

Donde:

P_h = Potencia hidráulica agregada por la bomba al fluido (w)

P_e = Potencia eléctrica agregada (w)

n = Eficiencia

2.5 POTENCIA HIDRÁULICA ENTREGADA POR LA BOMBA

Es el producto del peso específico del fluido, el caudal entregado por la bomba y la altura total desarrollada por la bomba.

$$P_h = \gamma * Q * h_A$$

Ecuación 4 Potencia hidráulica entregada por una bomba.

Donde:

P_h = Potencia hidráulica agregada por la bomba al fluido (w)

γ = Peso específico del fluido ($\frac{N}{m^2}$)

Q = Caudal Volumétrico ($\frac{m^3}{s}$)

h_A Altura total entregada por la bomba (mca)

2.5.1 CAUDAL VOLUMÉTRICO EN UNA TUBERÍA.

El volumen de fluido que ingresa por una tubería en unidad de tiempo es el producto de la velocidad del fluido y el área transversal de la sección por donde se traslada. El caudal volumétrico se expresa por medio de la Ecuación 5.

$$Q = V.A$$

Ecuación 5 Caudal volumétrico

2.6 RESUMEN DE ECUACIONES

VARIABLE POR ENCONTRAR	ECUACIÓN PARA UTILIZAR
ÁREA	$A = \frac{\pi.D^2}{4}$
CAUDAL	$Q = V.A$
VELOCIDAD MEDIA	$V = \frac{Q}{A}$
NUMERO DE REYNOLDS	$N_R = \frac{V.D}{\nu}$
PERDIDA DE CARGA EN TUBERÍAS	$h_i = f + \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$
FACTOR DE FRICCIÓN DE SWAMEEJAIN	$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\epsilon}{3.7.D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$
PERDIDA DE CARGA EN ACCESORIOS	$h_L = K \cdot \frac{V^2}{2g}$
POTENCIA ELÉCTRICA	$P = V.I. \cos \varphi$
POTENCIA HIDRÁULICA	$P_h = \gamma * Q * h_A$

Tabla 1 Ecuaciones utilizadas

Donde:

A :	Área de la tubería	$[m^2]$
D :	Diámetro interno de la tubería.	$[m]$
Q :	Caudal	$[m^3/s]$
V :	Velocidad media del flujo	$[m/s]$
N_R :	Número de Reynolds	$[-]$
ν :	Viscosidad Cinemática del fluido	$[m^2/s]$
ρ :	Densidad del fluido	$[Kg/m^3]$
f :	Factor de fricción de Darcy- Weisbach	$[-]$
g :	Aceleración de gravedad	$[m/s^2]$
L :	Longitud	$[m]$
K :	Coeficiente de resistencia para válvulas y acoplamientos	$[-]$

2.7 CONEXIÓN DE MÚLTIPLES BOMBAS.

Las bombas se utilizan para desplazar fluidos en un sistema, ya sea a la misma altura o a una altura mayor, no obstante, bajo ciertas condiciones se utiliza para bombear a alturas menores. El caudal de bombeo depende de la altura a la que se descarga el fluido. Cada bomba tiene una relación altura-caudal que es inversamente proporcional. Es decir, a mayor altura de bombeo menor será el caudal y viceversa. Existen muchos casos en que una sola bomba no puede entregar el caudal o la presión necesaria para un sistema en particular.

En dichas situaciones se pueden conectar dos o más bombas en serie o paralelo según la necesidad. Para aumentar la presión de descarga, manteniendo el caudal constante, se debe conectar dos o más bombas en serie. Por otro lado, manteniendo la altura o presión de descarga constante, conectar dos o más bombas en paralelo aumentaría el caudal

La lógica indicaría que, si se combinan dos bombas en serie, el sistema de bombeo producirá el doble de presión para un caudal dado. Del mismo modo, si dos bombas se combinan en paralelo, se espera que el sistema de bombeo entregue el doble caudal. Sin embargo, en la realidad esto no ocurre, porque al aumentar la velocidad del flujo aumentan las pérdidas de carga.

2.7.1 SISTEMAS EN SERIE

Instalar más de una bomba centrífuga y conectarlas en serie, o conectarlas a lo largo de una sola línea, permite aumentar la altura de descarga o presión de salida, manteniendo el caudal. Es el mismo principio de las bombas multietapa. En la figura 8, la bomba 2 tiene mayor capacidad que la bomba 1. Para determinar la presión de descarga de ambas bombas se suman las presiones generadas por cada bomba al mismo caudal. De ahí se deriva que cuando se alcanza el caudal máximo de la bomba 1 se encuentra el punto crítico de funcionamiento. Cualquier caudal superior a ese, hará que la bomba 1 produzca energía a partir del exceso consumo de la bomba 2, disminuyendo el rendimiento de la instalación.

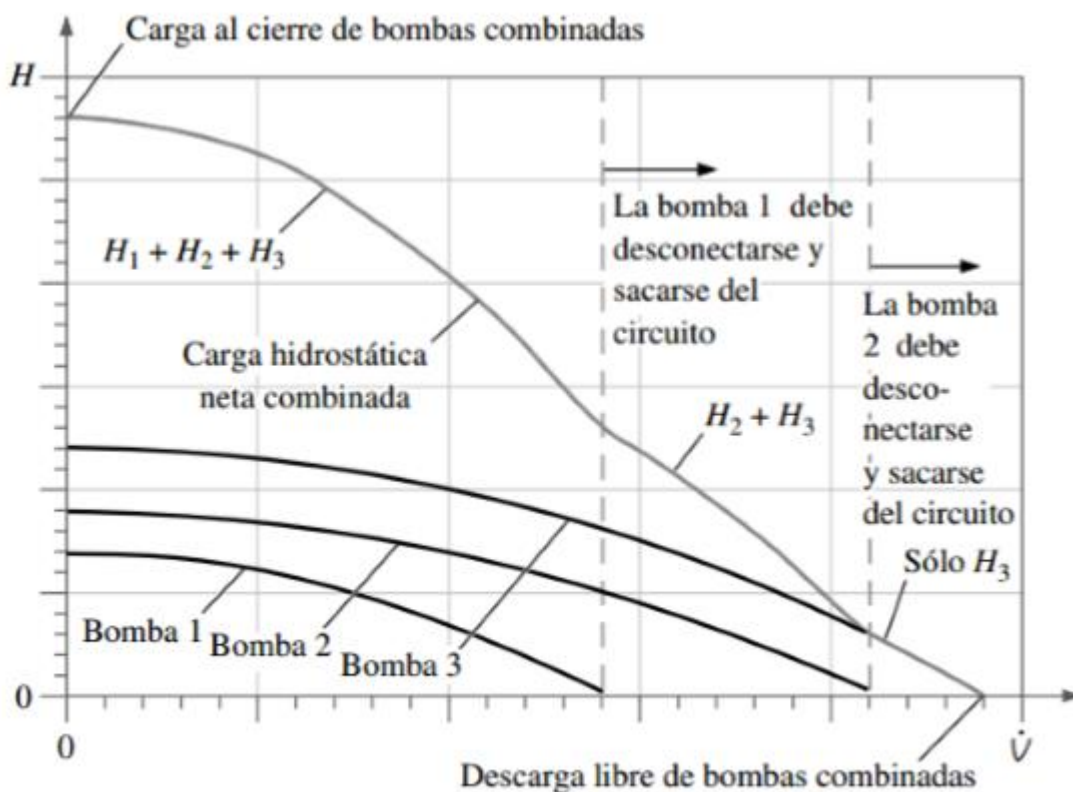


Fig. 8 Curva de bombas en serie.

2.7.2 SISTEMAS EN PARALELO

Como ya se ha mencionado, dos bombas en paralelo aumentan el caudal. Al conectar dos bombas de distinta capacidad, se debe operar a la presión máxima de la bomba de menor capacidad. La resistencia al interior de la tubería aumenta al aumentar la velocidad del flujo (fórmula de Darcy-Weisbach), por lo que poner dos bombas no aumentará al doble el caudal (Fig. 9).

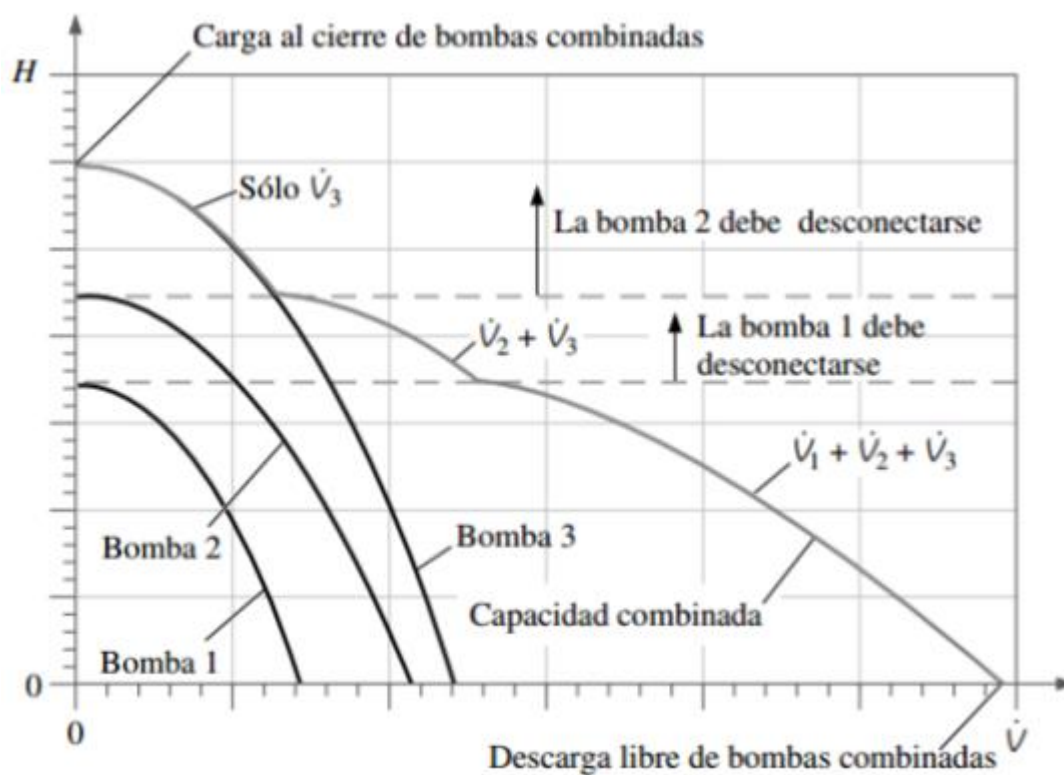


Fig. 9 Curva de bombas en paralelo.

2.8 DIAGRAMA DE MOODY

Uno de los métodos más utilizados para evaluar el factor de fricción emplea el diagrama de Moody que se presenta en el anexo 4. El diagrama muestra la gráfica del factor de fricción f versus el número de Reynolds N_R , con una serie de curvas paramétricas relacionadas con la rugosidad relativa D/ϵ . Estas curvas las generó L. F. Moody a partir de datos experimentales. Se grafica en escalas logarítmicas tanto a f como a N_R , debido al rango tan amplio de valores que se obtiene. A la izquierda de la gráfica, para números de Reynolds menores de 2000, la línea recta muestra la relación $f = 64/N_R$ para el flujo laminar. Para $2000 < N_R < 4000$ no hay curvas, debido a que ésta es la zona crítica entre el flujo laminar y el flujo turbulento, y no es posible predecir cuál de ellos ocurrirá. El cambio de flujo laminar a turbulento da como resultado valores para los factores de fricción dentro de la zona sombreada. Más allá de $N_R = 4000$, se grafica la familia de curvas para distintos valores de D/ϵ . Podemos hacer algunas observaciones importantes acerca de estas curvas:

1. Para un flujo con número de Reynolds dado, conforme aumenta la rugosidad relativa D/ϵ , el factor de fricción f disminuye.
2. Para una rugosidad relativa D/ϵ , el factor de fricción f disminuye con el aumento del número de Reynolds, hasta que se alcanza la zona de turbulencia completa.
3. Dentro de la zona de turbulencia completa, el número de Reynolds no tienen ningún efecto sobre el factor de fricción.
4. Conforme se incrementa la rugosidad relativa D/ϵ , también se eleva el valor del número de Reynolds donde comienza la zona de turbulencia completa

La figura 10 es una representación simplificada del diagrama de Moody donde identificamos las zonas diferentes. Ya estudiamos la zona laminar de la izquierda. A la derecha de la línea punteada y hacia la parte inferior del diagrama se encuentra la zona de turbulencia completa. El factor de fricción más bajo posible para un número de Reynolds dado en el flujo turbulento está indicado por la línea de tuberías lisas.

Entre la línea de tuberías lisas y la línea que señala el inicio de la zona de turbulencia completa está la zona de transición. Aquí, las líneas distintas D/ϵ son curvadas y se debe tener cuidado para evaluar el factor de fricción en forma apropiada. Por ejemplo, puede observar que el valor del factor de fricción para una rugosidad relativa de 500 disminuye de 0.0420 para $N_R = 4000$ a 0.0240 para $N_R = 6 \times 10^5$, donde comienza la zona de turbulencia completa.

Por medio del anexo 4 compruebe su habilidad para leer el diagrama de Moody en forma correcta, con la verificación de los valores de los factores de fricción para los números de Reynolds y rugosidad relativa que proporcionamos en la tabla 2.

Tabla 2 Valores de los factores de fricción

N_R	D/ϵ	f
6.7×10^3	150	0.0430
1.6×10^4	2000	0.0284
1.6×10^6	2000	0.0171
2.5×10^5	733	0.0223

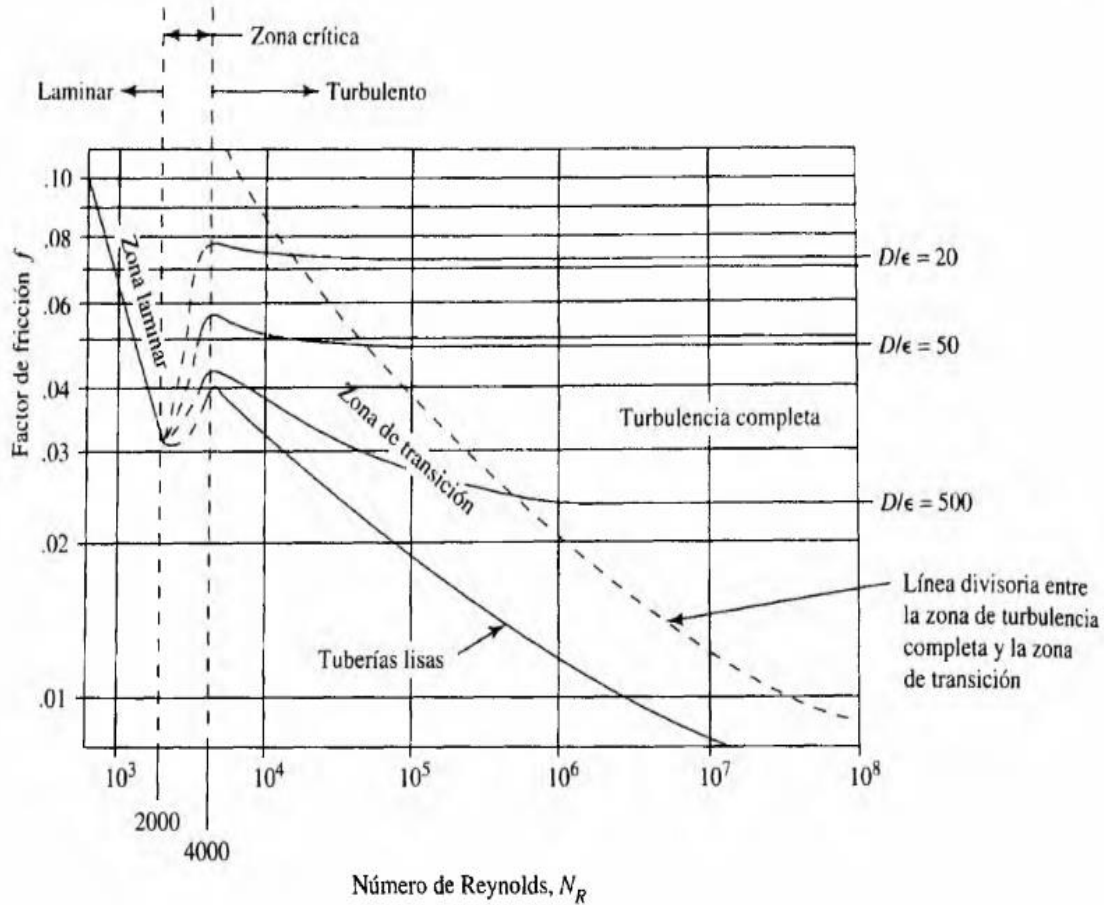


Fig. 10 Explicación de partes del diagrama de Moody.

Si es posible hay que evitar la zona crítica entre los números Reynolds 2000 y 4000 por que no puede predecirse el tipo de flujo dentro de ese rango. La banda sombreada muestra la manera en que el factor de fricción podría cambiar de acuerdo con el valor de rugosidad relativa. Para valores bajos de D/ϵ (que indican rugosidad grande de la pared de la tubería), el incremento del factor de fricción es grande conforme el flujo pasa de laminar a turbulento. Por ejemplo, para un flujo en una tubería con $D/\epsilon = 20$ el factor de fricción se incrementaría de 0.032 para $N_R = 2000$, al final del rango laminar, a aproximadamente 0.077 para $N_R = 4000$, al principio del rango turbulento, lo que representa un incremento del 240%. Además, no puede predecirse el valor del número de Reynolds donde ocurriría esto. Debido a que la pérdida de energía es directamente proporcional al factor de fricción, los cambios de esa magnitud son significativos.

Debe observar que debido a que la rugosidad relativa se le define como D/ϵ un valor alto de ella indica un bajo valor de ϵ , es decir, una tubería lisa. De hecho, la curva que dice tuberías lisas se emplea para materiales como el vidrio, los cuales tienen una rugosidad tan baja que el cociente D/ϵ arrojaría un numero extraordinariamente grande, que tendería al infinito.

En algunos textos y referencias utilizan otras convenciones para reportar la rugosidad relativa: ϵ/D , ϵ/r , r/ϵ , donde r es el radio de la tubería.

Uso del diagrama de Moody

El diagrama de Moody se utiliza para ayudar a determinar el valor de fricción f para el flujo turbulento. Debe conocerse el valor del número de Reynolds y la rugosidad relativa. Por tanto, los datos básicos que se requieren son el diámetro interior de la tubería, el material del que este hecho, la velocidad del flujo y la temperatura, a partir de los cuales se determina la viscosidad.

ECUACIONES PARA EL FACTOR DE FRICCIÓN.

El diagrama de Moody del anexo 4 es un medio exacto y conveniente, que basta para determinar el valor del factor de fricción al resolver problemas con cálculos manuales. Sin embargo, si los cálculos han de ser automáticos para llegar a la solución en una computadora o calculadora programable, necesitamos ecuaciones para el factor de fricción. Las ecuaciones que utilizó Moody en su obra son la base del enfoque computacional. Pero esas ecuaciones son engorrosas y requieren un enfoque iterativo. A continuación, presentamos dos ecuaciones que permiten obtener la solución directa para el factor de fricción. Una cubre el flujo laminar y la otra se emplea en el turbulento. En la zona de flujo laminar, para valores por debajo de 2000, f se obtiene de la ecuación 6.

FACTOR DE FRICCIÓN PARA EL FLUJO LAMINAR

$$f = 64/N_R$$

Ecuación 6 Factor de fricción para flujo laminar.

Esta relación, desarrollada, aparece en el diagrama de Moody como línea recta en el lado izquierdo de la gráfica. Por supuesto, para números de Reynolds entre 2000 y 4000, el flujo está en el rango crítico y es imposible de predecir el valor de f . La ecuación siguiente, que permite el cálculo directo del valor del factor de fricción para flujo turbulento, la desarrollaron P. K. Swamee y A. K. Jain.

La ecuación 6 produce valores de f que están $\pm 1.0\%$ dentro del rango de rugosidad relativa D/ϵ de 100 a 1×10^6 y para números de Reynolds 5×10^3 a 1×10^8 , está virtualmente toda la zona turbulenta del diagrama de Moody.

FACTOR DE FRICCIÓN PARA EL FLUJO TURBULENTO

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7(D/\epsilon)} + \frac{5.74}{N_R^{0.9}} \right) \right]^2}$$

Ecuación 7 Factor de fricción para flujo turbulento.

Resumen.

Para calcular el valor del factor de fricción f cuando se conoce el número de Reynolds y la rugosidad relativa, se emplea la ecuación (6) para el flujo laminar, y la ecuación (7) para el flujo turbulento.

CAPÍTULO 3 DISEÑO

3.1 BANCO DE BOMBAS CENTRIFUGAS

Estructura del equipo.

Se propone un esquema del banco de pruebas en el cual se tiene dos bombas centrífugas y accesorios necesarios para que efectúen cuatro sistemas diferentes de funcionamiento. Esto se ejecuta en el sistema ya que cuenta con válvulas de restricción de caudal, mediante el cierre y apertura de válvulas, se logra tener los siguientes sistemas:

- Dos sistemas que funcionan con trayectoria diferente.
- Un sistema en el cual se efectúa un funcionamiento en conexión en serie.
- Un sistema en el cual se efectúa un funcionamiento en conexión en paralelo.

Cada uno de los sistemas posee plano hidráulico que se detalla más adelante.

Esquema.

El diseño de la Fig.11. se propone para la construcción del banco de pruebas, las dimensiones son las siguientes:

BASE: 2.5 (m)

ANCHO: 0.70 (m)

ALTURA: 2.1 (m)

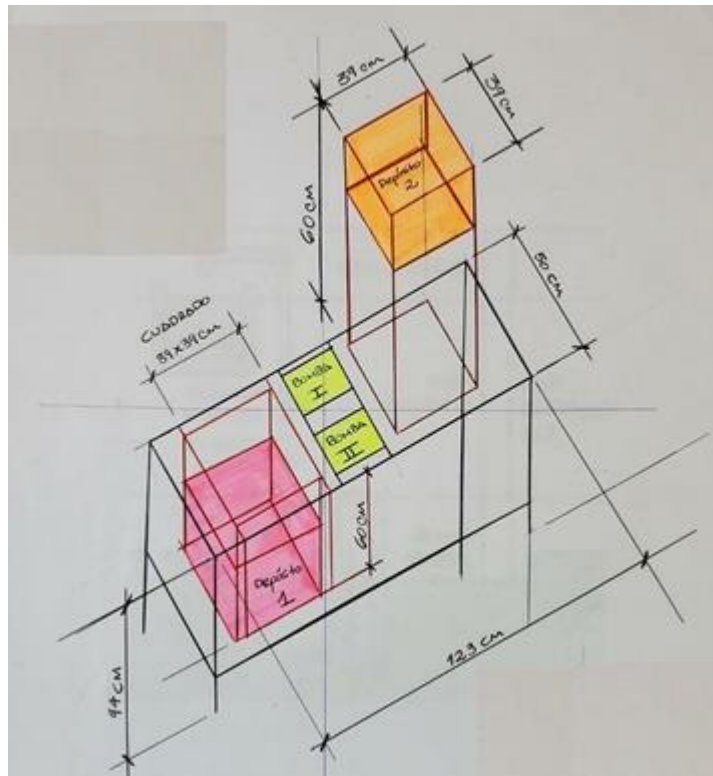


Fig. 11 Primer diseño.

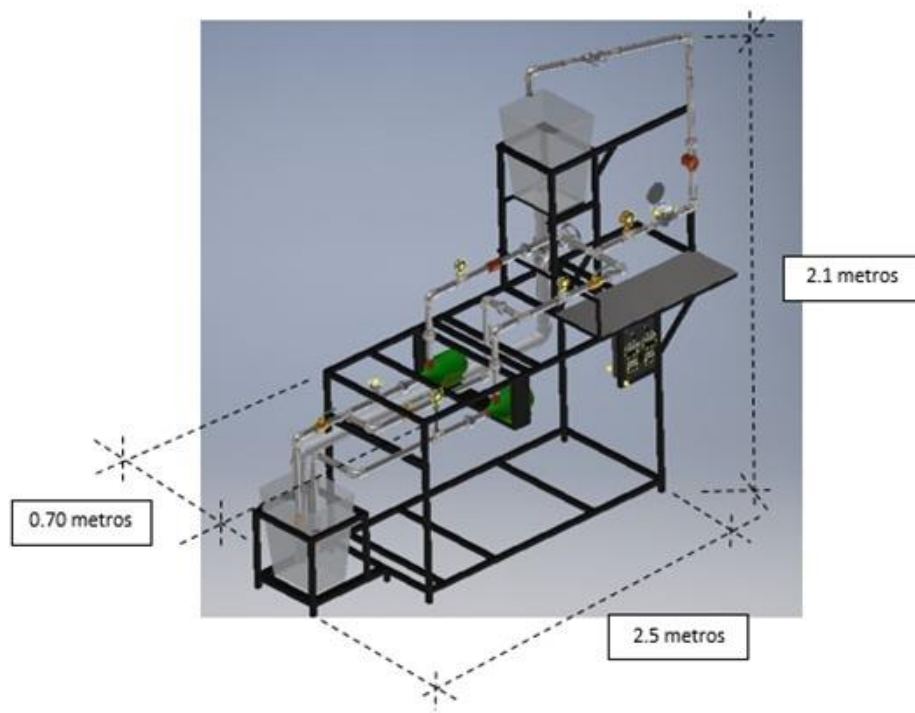


Fig. 12 Diseño final.

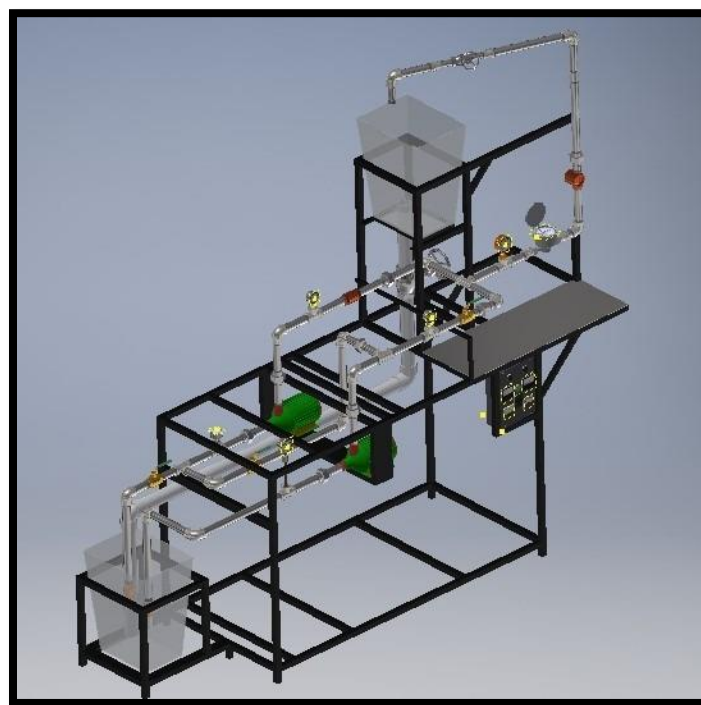


Fig. 13 Isométrico de banco de bombas centrifugas.

3.2 DIAGRAMA HIDRÁULICO

El esquema corresponde al plano hidráulico del banco de pruebas que muestra la configuración física que consta de los siguientes elementos:

- Bombas centrífugas. (2) LEO 3.0 ½ HP.
- Válvula de globo. (1) de bronce de ¾”.
- Válvulas de pie con alcachofa. (2) de bronce de 1”.
- Válvulas de restricción de caudal (check). (1) de bronce de 1”.
- Válvulas de bola. (4) / (3) Válvulas de bola metálicas de 1” / (1) Válvula de bola de 2” de PVC.
- Manómetros. (4) 0 – 100 psi.
- Tubería. (7) Metros de diámetro de 1” hierro galvanizado.
- Codos. (10) de hierro galvanizados / (1) codo de 2” de PVC.
- T estándar. (8) de hierro galvanizado de 1”.
- Uniones Universales. (7) de hierro galvanizado de 1”.
- Reductores. (4) hierro galvanizado de ¾”.
- Medidor de agua. (1) de bronce de ¾”.
- Tanque. (2) de plásticos de 30x40x47 cm.
- Vacuómetro. (1) -30 in Hg a 0 / 0 – 30 psi / -100 a 0 a 100 kPa.
- Visor de flujo. (1) de bronce de 2”.

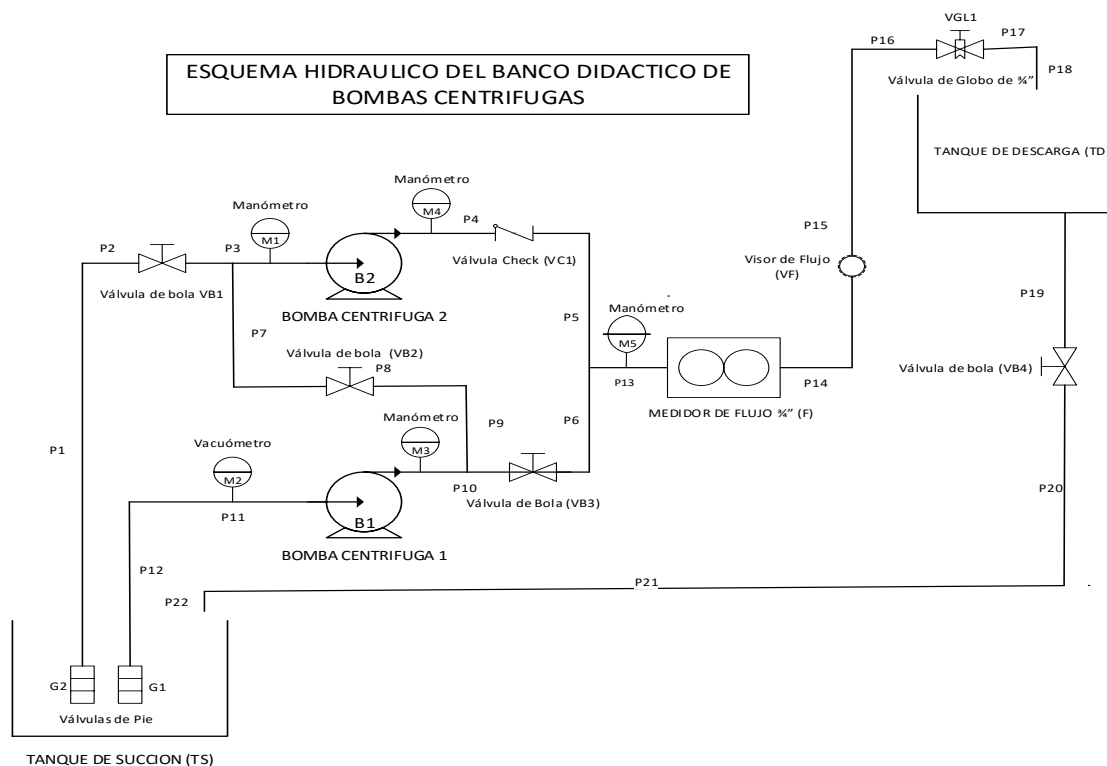


Fig. 14 Esquema Hidráulico del banco didáctico

3.2.1 TRAYECTORIAS 1 Y 2

El banco de pruebas está diseñado para realizar conexiones de dos bombas centrífugas, en serie y paralelo, el diseño se ha elaborado de tal manera que pueda funcionar cada bomba centrífuga independientemente. Estos dos sistemas se designan con el nombre de trayectoria 1. (Fig.15) y trayectoria 2. (Fig. 16)

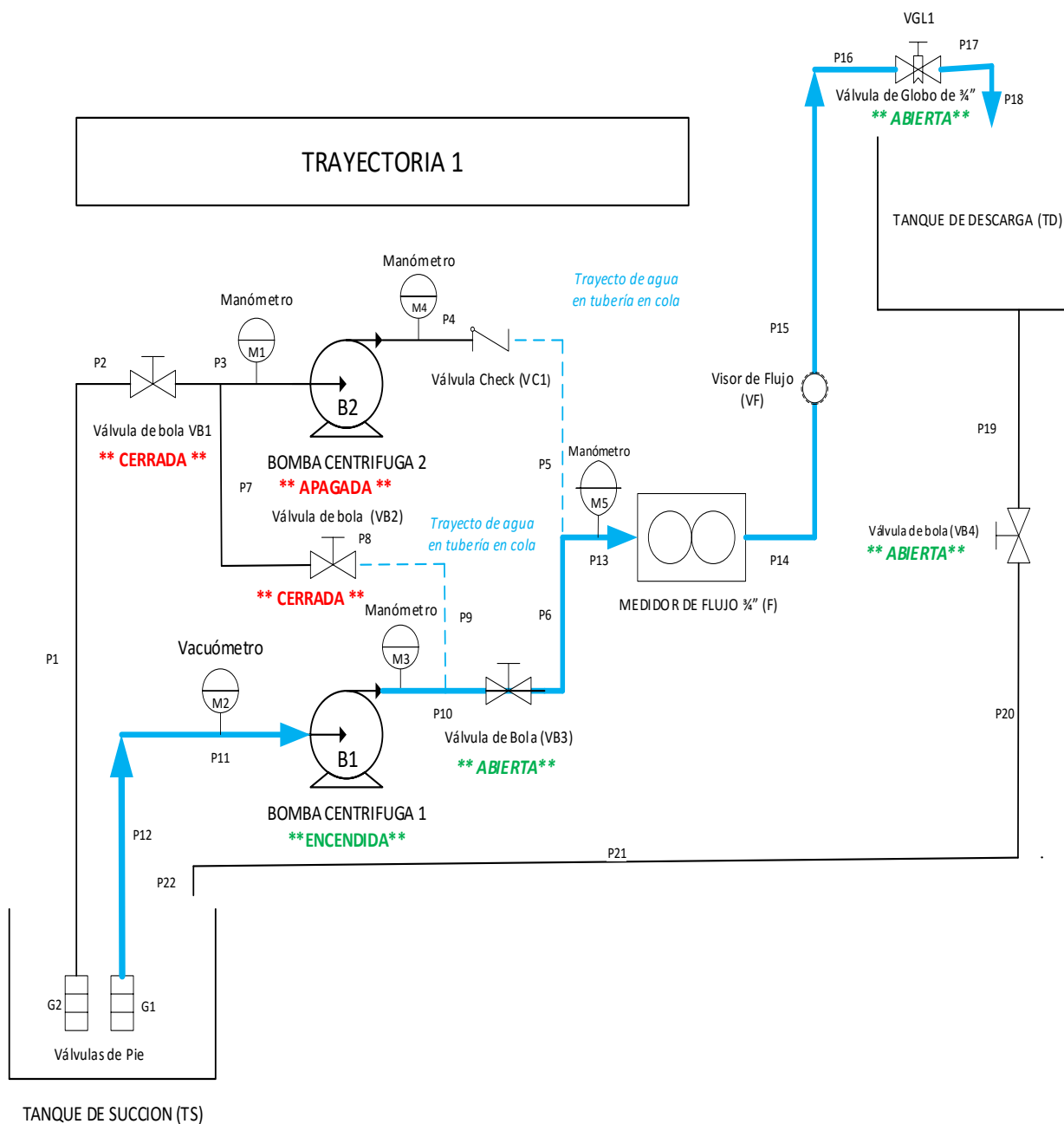


Fig. 15 Flujo hidráulico en la trayectoria 1.

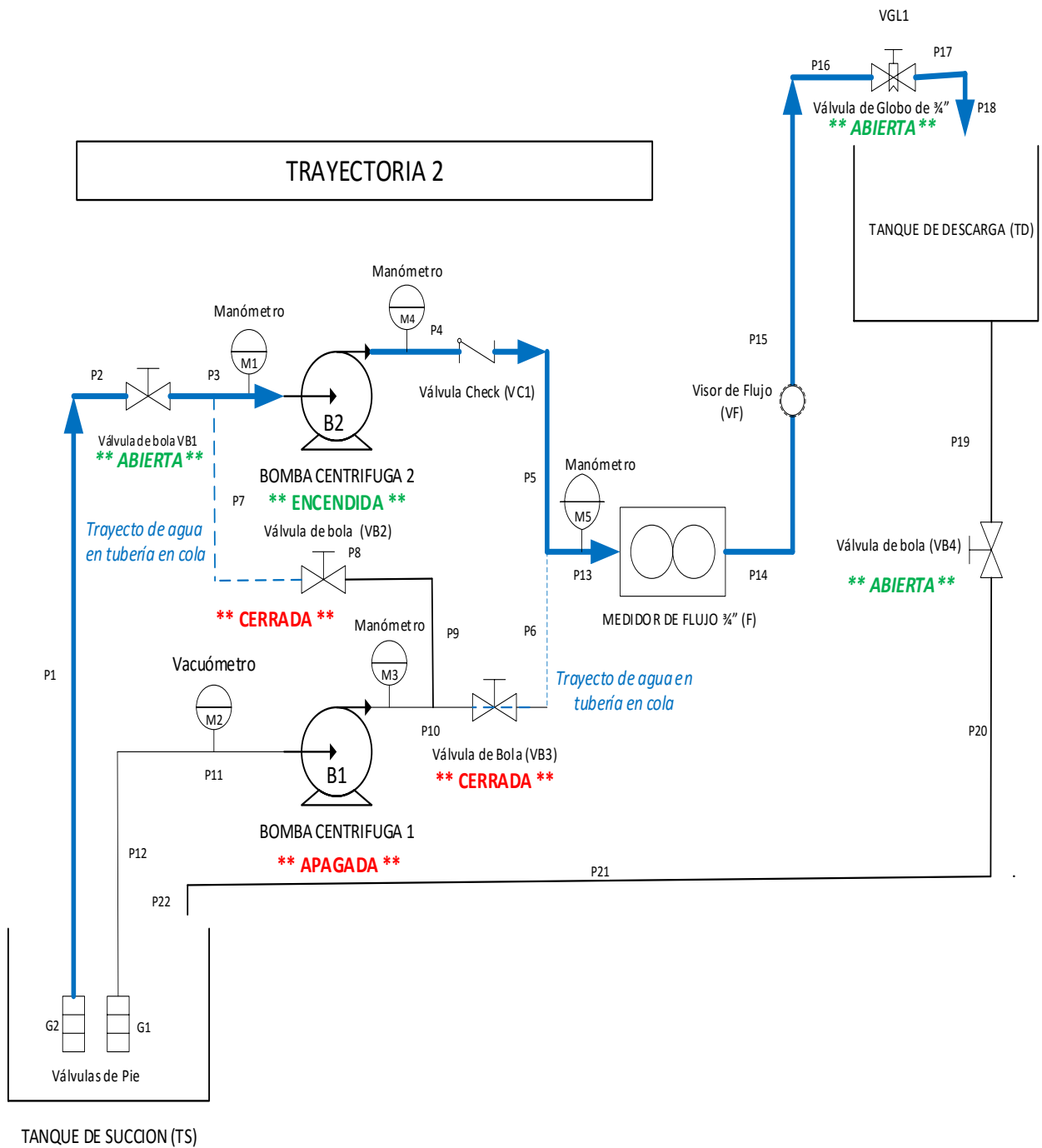


Fig. 16 Flujo hidráulico en la trayectoria 2

3.2.2 TRAYECTORIA 3

En la Fig. 17 se detalla la trayectoria que tendrá el fluido en el banco de pruebas mediante una configuración en serie de dos bombas centrífugas que permitirá un aumento de presión manteniendo el mismo caudal.

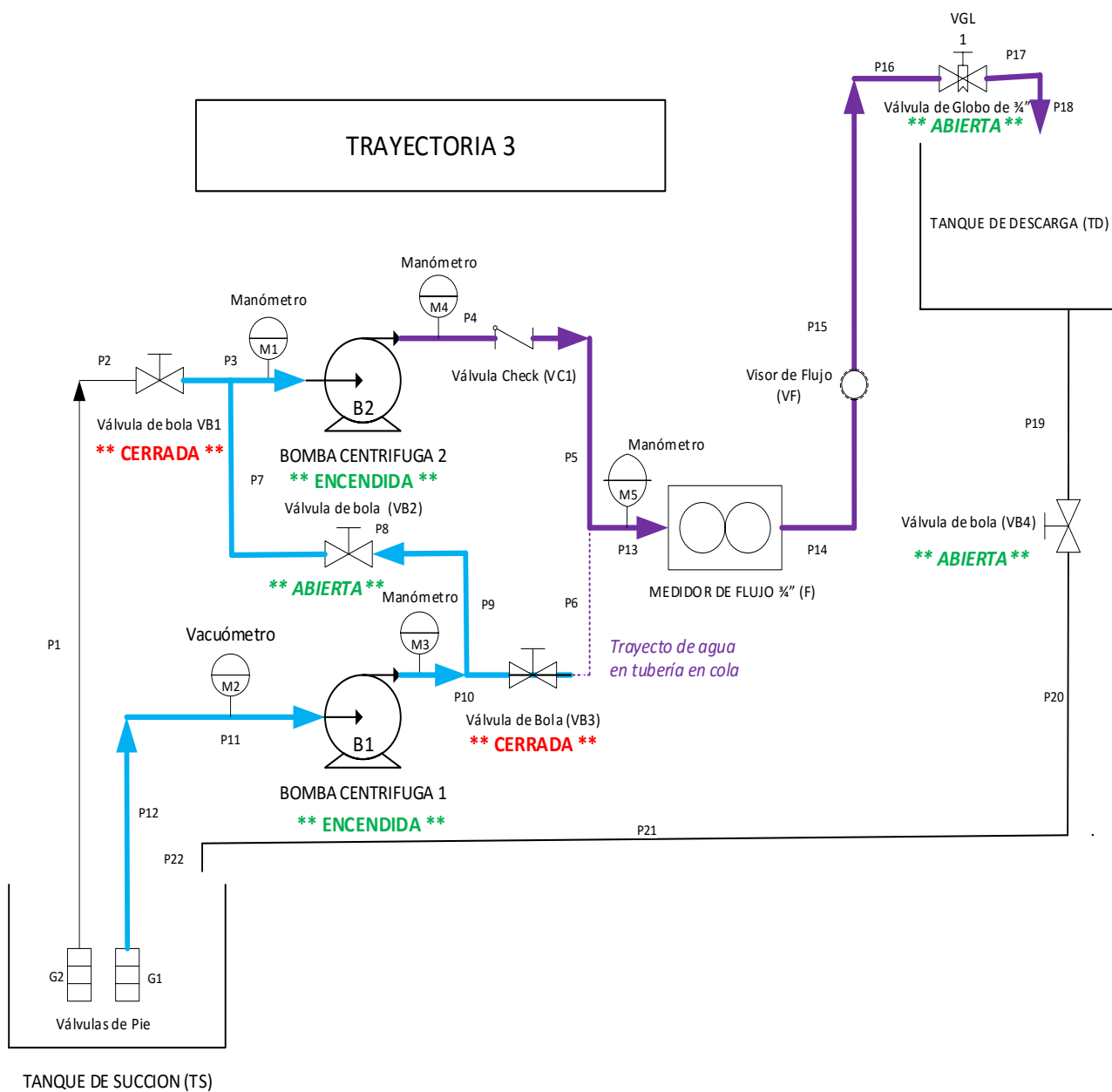


Fig. 17 Flujo hidráulico en la trayectoria 3 conectadas en serie.

3.2.3 TRAYECTORIA 4

En la Fig. 18. se detalla la trayectoria que tendrá el flujo en el banco de pruebas para realizar una conexión en Paralelo de dos bombas centrífugas que nos permitirá un aumento de caudal manteniendo la misma presión.

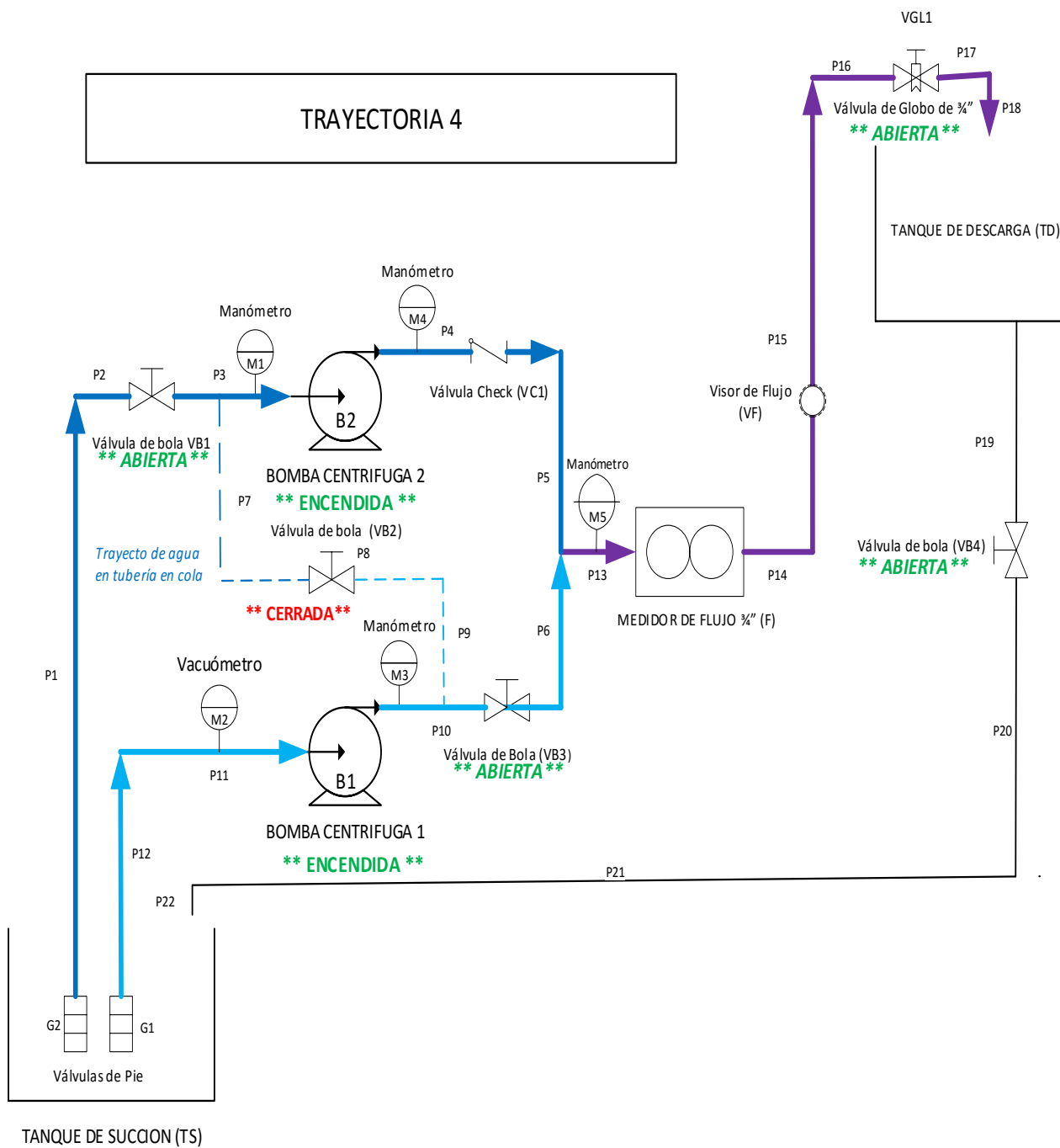


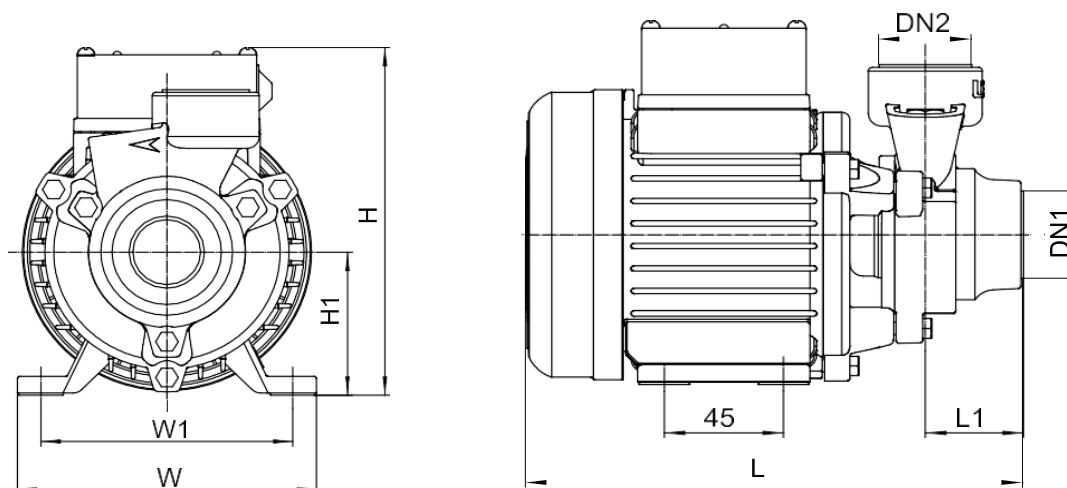
Fig. 18 Flujo hidráulico en la trayectoria de trabajo 4 conectadas en paralelo.

3.3 SELECCIÓN DE EQUIPO DE BOMBEO

La instalación y mantenimiento para este tipo de Bombas Centrifugas debe realizarse por personal calificado. La instalación y operación debe estar de acuerdo con la legislación y regulaciones locales.

Siga las instrucciones de este manual para la instalación apropiada de la tubería y tome las medidas de protección anti heladas dentro de ellas.

Dimensiones del equipo:



MODELO	DN1	DN2	L (mm)	W (mm)	H (mm)	L _i (mm)	* W _i (mm)	H _i (mm)
APm37	1" 25,4 mm	1" 25,4 mm	260	132	155	46.5	100	63
APm60			282	147	183	51	112	71
APm75			300	147	183	54.5	112	71

* La medida W_i indica el espacio entre las perforaciones requeridas para fijar el equipo a piso firme o concreto con taquetes de expansión y tornillos de 1/4" con rondana y tuerca.

Fig. 19 Dimensiones de las bombas centrifugas.

Instrucciones de instalación:

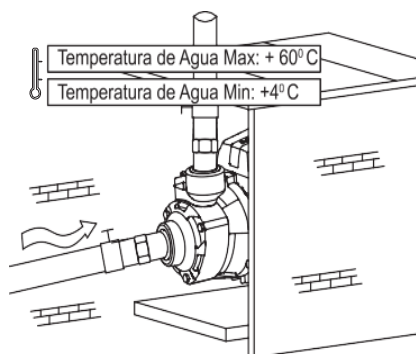


Fig. 20 Instrucciones de intalacion

1. La tubería de succión debe ser tan corta y con el menor número de codos como sea posible. La bomba debe ser instalada en un lugar seco y ventilado. Si se instala en ambientes externos debe cubrirse apropiadamente de la lluvia y el viento. Coloque la bomba en una superficie plana sólida usando los pernos adecuados para evitar vibración. La bomba debe instalarse en posición horizontal para asegurar que los cojinetes funcionen correctamente.
2. Instale válvula de pie (pichancha) en la tubería de succión y válvula cheque y registro en la tubería de descarga.

LA CURVA DE LA BOMBA PROPORCIONADA POR EL FABRICANTE.

La curva de la bomba es una gráfica que muestra la altura total desarrollada por la bomba en función del caudal entregado por la misma.

CAUDAL (lt/min)	CURVA DE LA BOMBA (mca)
0	40
5	35
10	30
15	25
20	20
25	15
30	10
35	5
40	2

Tabla 3 Parámetros de operación de la bomba.

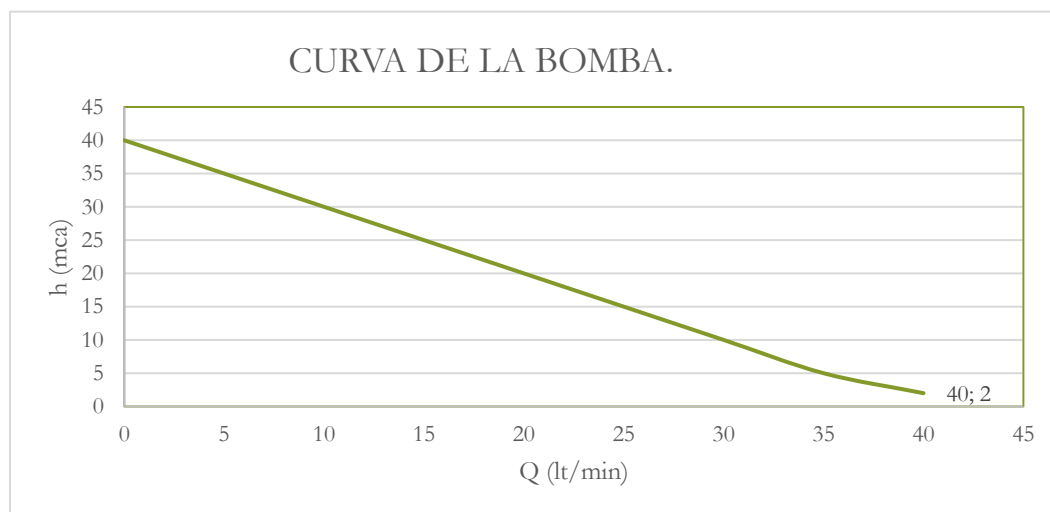
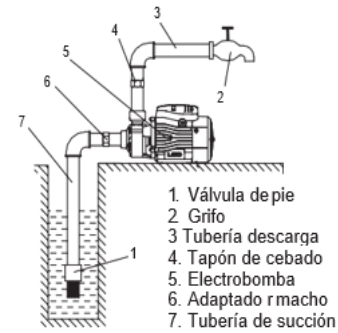


Fig. 21 Curva altura vrs caudal

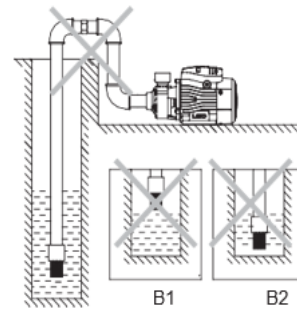
Precauciones de instalación en la succión

1. No use demasiado pegamento o cinta sella roscas en las uniones roscadas, para evitar que los sobrantes obstruyan la tubería.
2. La válvula de pie (pichancha) debe quedar en posición vertical y se debe instalar mínimo a 30 cm del fondo y de las paredes del tanque; con esto evitara que se succione arena o se genere turbulencia. (B2)
3. La tubería de succión solo debe tener un codo; de lo contrario la bomba podría no succionar.
4. El diámetro de la tubería de succión no debe ser menor al diámetro de la boca de succión, de lo contrario el desempeño de la bomba puede afectarse.
5. En caso de que la altura de succión sea mayor a 4 m. el diámetro de la tubería debe ser mayor que el diámetro de succión de la bomba, en ningún caso la altura de succión debe ser mayor a 9 m. ni el recorrido mayor a 10 m.
6. Ponga atención al disminuir el nivel de agua en el tanque de suministro, la válvula de pie (pichancha) no debe quedar por fuera de la superficie del agua (B1). Es recomendable instalar un flotador eléctrico para evitar que la bomba funcione en seco.
7. Mientras hace la instalación asegúrese que el bombeo no sea afectado por la presión interna de las tuberías.
8. Instale una malla o canastilla a la entrada de la tubería de succión para evitar que entren partículas sólidas a la electrobomba. Asegúrese que el tubo de succión sea completamente hermético y que esté sumergido en agua a medio metro cuando menos para evitar la formación de burbujas de aire. Siempre coloque una válvula de pie (pichancha) al principio del tubo de succión. Es aconsejable colocar una válvula check entre la boca de salida y la válvula de compuerta de ajuste de la velocidad de flujo para evitar una columna de agua peligrosa que exceda 20 metros.

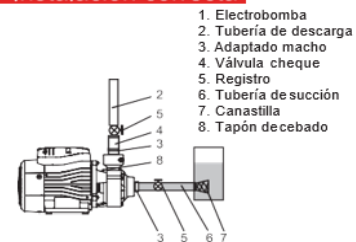
Instalación correcta



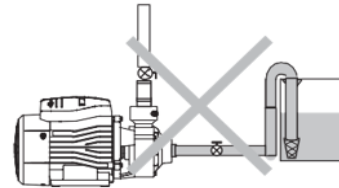
Instalación incorrecta



Instalación correcta



Instalación incorrecta



Precauciones de instalación en la tubería de descarga

1. El diámetro de la tubería de descarga debe estar de acuerdo con el diámetro de la bomba. Debe tener como mínimo el mismo diámetro de descarga de la bomba. En caso de que la longitud de la tubería sea muy larga el diámetro de la tubería debe ser mayor que el diámetro de salida de la bomba.
2. Verifique que la válvula check este instalada en el sentido correcto.

3.4 SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

AMPERÍMETRO.

El amperímetro mide en amperios; los amperímetros siempre se colocan en serie en la rama del circuito que se quiere medir la intensidad. Es un dispositivo que permite realizar la medición de los amperios que tiene la corriente eléctrica. Para comprender con precisión el significado del concepto debemos, por lo tanto, saber qué son los amperios y qué es la corriente eléctrica.

La corriente eléctrica se produce por el movimiento de cargas eléctricas en un material. Se trata de una magnitud que refleja la electricidad que, en una unidad de tiempo, fluye por el material conductor. El amperio, en este marco, es la unidad que permite cuantificar la intensidad de la corriente.

Retomando la noción de amperímetro, este instrumento mide la intensidad de la corriente que circula en un circuito eléctrico. Al conectar el amperímetro al circuito eléctrico, es posible descubrir la cantidad de amperios (es decir, la intensidad) de la corriente en circulación.

La medición consiste en hacer que la corriente eléctrica circule a través del aparato. La resistencia interna del amperímetro es muy pequeña para que no se produzca una caída de tensión a la hora de la medición. Si se desea medir la corriente sin la apertura del circuito, es necesario emplear una clase particular de amperímetro conocida como pinza amperométrica (definida más abajo), que mide la intensidad de manera indirecta mediante el campo magnético que genera la corriente en cuestión.

Existen varios tipos de amperímetros, que a grandes rasgos podemos dividir en tres grupos: los analógicos, los digitales y las pinzas amperométricas.

AMPERÍMETROS ANALÓGICOS.

La descripción provista en los párrafos anteriores no es otra cosa que el fundamento de los amperímetros más antiguos, los cuales eran analógicos. Como ocurre en muchos otros ámbitos, aunque esta tecnología haya sido diseñada hace mucho tiempo, sigue siendo utilizada en la actualidad.

Los amperímetros analógicos presentan el resultado de la medición con ayuda de una aguja que se posiciona en el punto correspondiente entre el mínimo y el máximo disponibles en el panel de indicación. En este grupo de dispositivos encontramos dos subgrupos: los amperímetros electromecánicos y los térmicos.

A grandes rasgos, podemos decir que los amperímetros electromecánicos se apoyan en la interacción mecánica que tiene lugar entre conductores electrificados, entre un campo magnético y una corriente, o bien entre dos corrientes. Su diseño es relativamente sencillo: cuentan con dos órganos, uno móvil y uno fijo, y una aguja para indicar el valor resultante.

Este tipo de amperímetro es sin lugar a duda bastante voluminoso y eso acarrea un mayor desgaste de sus piezas, así como una mayor probabilidad de error en la medición. Por otro lado, supera en rapidez a otros modelos y resulta útil para lecturas en posiciones fijas. En este grupo entran los amperímetros magnetoeléctricos, los electromagnéticos, los electrodinámicos y los ferromagnéticos.

Con respecto a los amperímetros térmicos, aprovechan la dilatación de los conductores cuando se someten a altas temperaturas, la cual es proporcional al calor y, según la ley de Joule, éste también lo es al cuadrado de la corriente sin importar su sentido o su naturaleza, razón por la cual estos dispositivos son útiles tanto para la lectura de corriente continua como alterna.

AMPERÍMETROS DIGITALES

Gracias a los avances de la tecnología nació este tipo de amperímetro, más versátil y práctico de usar que los analógicos. Entre sus ventajas fundamentales se encuentra un menor desgaste (ante la ausencia de piezas móviles) y una importante reducción de las probabilidades de error. En lugar de un panel con una aguja, cuentan con una pantalla en la cual se pueden visualizar los resultados de la lectura.

Se instalaron dos amperímetros analógicos uno en cada bomba para monitorear el amperaje que llega a cada bomba de manera independiente.

3.5 FUENTE DE ALIMENTACIÓN

3.5.1 DESCRIPCIÓN ELÉCTRICA DE FUNCIONAMIENTO.

El proyecto “Diseño y construcción de un banco de pruebas para bombas centrífugas conectadas en serie y paralelo. “consta de un sistema de bombas en serie y en paralelo la cual opera por medio de una protección termo magnética de dos polos 20 A amperios, que es la encargada de proveer la energía al sistema, el cual controla dos bombas marca Leo de 1/2 HP. El sistema en condiciones iniciales es alimentado de la red eléctrica por medio de una tensión de 120V 60 Hz, al accionar la protección termo magnética de 20A /2P energiza el sistema que cuenta con control independiente para ambas bombas por medio de un selector de dos posiciones con centro común para cada una de ellas, en cualquier posición accionara la bomba y el centro del selector es apagado, el cual permite accionar cada bomba en cualquier posición, así también cuenta con un voltímetro y un amperímetro el cual nos muestra la lectura de corriente y voltaje de cada bomba en conjunto del sistema que puede ser operado en serie y en paralelo. Con una o en conjunto las dos bombas al mismo tiempo, y poder desarrollar aplicaciones mecánicas para el manejo de caudal y presión.

3.5.2 PLANO ELÉCTRICO.

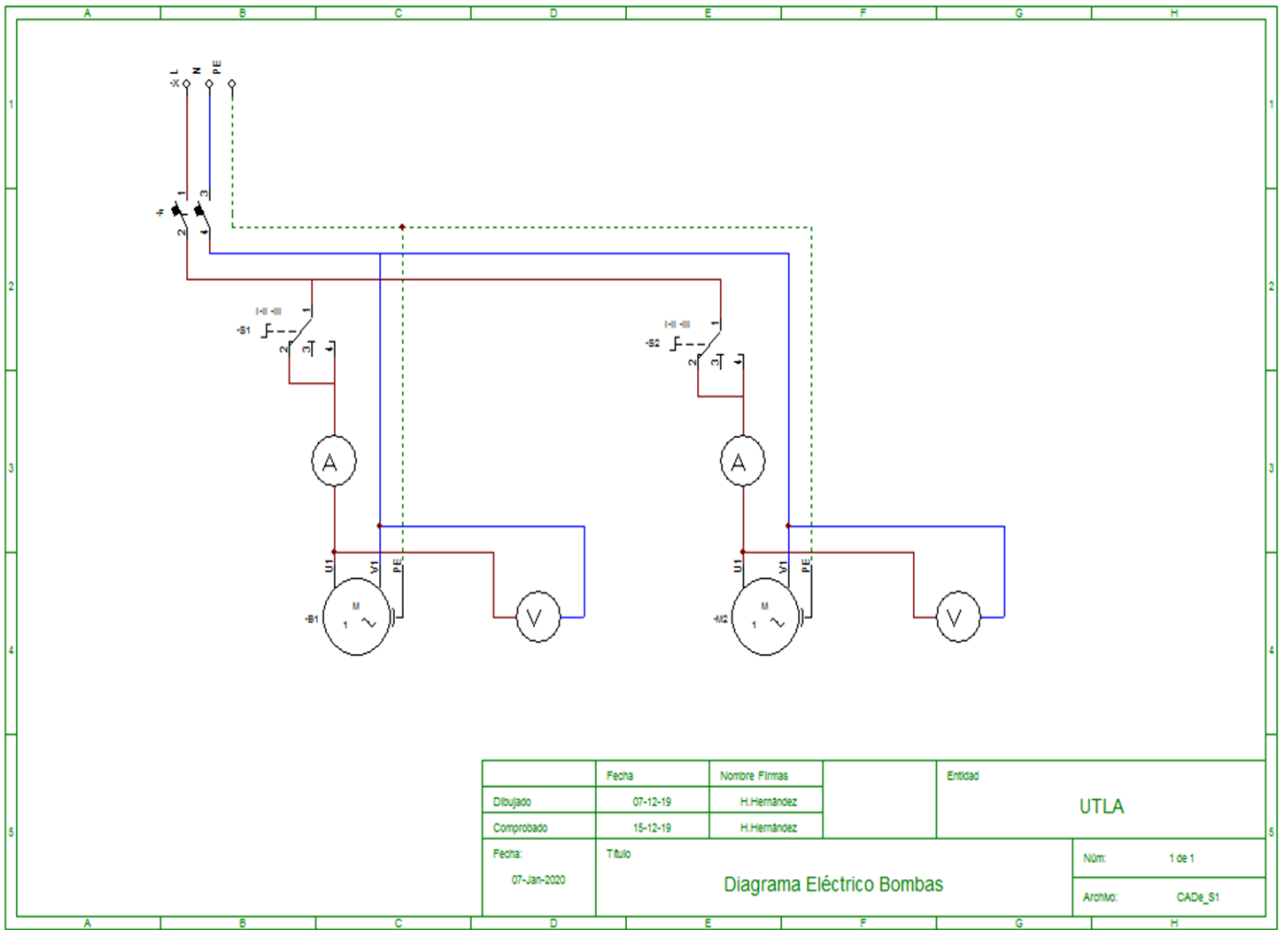


Fig. 22 Plano eléctrico del banco didáctico.

3.6 CALCULO DEL $NPSH_A$

Procedemos a realizar el cálculo del $NPSH_A$ (carga de succión neta positiva disponible).

$$NPSH_A = h_{sp} + h_s - h_f - h_{vp}$$

Donde:

P_{sp} : Presión estática (absoluta) sobre el fluido en el depósito.

h_{sp} : Carga de presión estática (absoluta) sobre el fluido en el almacenamiento se expresa en metros o pies de líquido. $h_{sp} = \frac{P_{sp}}{\gamma}$

h_s : Diferencia de elevación desde el nivel del fluido en el depósito a la línea central de la entrada de succión de la bomba, se expresa en metros o pies.

h_f : Pérdida de carga en la tubería de succión, se expresa en metros o pies.

P_{vp} : Presión de vapor (absoluta) del líquido a temperatura que se bombea.

h_{vp} : Carga de vapor de presión de líquido a temperatura de bombeo y se expresa en metros o pies de líquido. $h_{vp} := \frac{P_{vp}}{\gamma}$

CALCULO DEL $NPSH_A$ PARA LA TRAYECTORIA B1.

$$P_{sp} = 681 \text{ mmHg} \times \frac{1 \text{ psi}}{52.45 \text{ mmHg}} \times \frac{1 K_{Pa}}{0.01452 \text{ psi}}$$

$$P_{sp} = 89.420 K_{Pa} = 89.420 \frac{K_N}{m^2}$$

$$h_{sp} = \frac{P_{sp}}{\gamma} = \frac{89.420 \frac{K_N}{m^2}}{9.78 \frac{K_N}{m^3}} \quad h_{sp} = 9.14 \text{ m}$$

Este dato se vuelve constante para los cálculos de las demás trayectorias.

$$h_s = z_2 - z_1 \quad h_s = 0.21 \text{ m} - 0 \text{ m} \quad h_f = 0.021 \text{ m}$$

$$P_{vp} = 0.35054 \text{ m} = 3.437 \frac{K_N}{m^2}$$

$$h_{vp} = \frac{P_{vp}}{\gamma} = \frac{3.437 \frac{K_N}{m^2}}{9.78 \frac{K_N}{m^3}}$$

$$h_{vp} = 0.3514 \text{ m}$$

$$NPSH_A = h_{sp} + h_s - h_f - h_{vp}$$

$$NPSH_A = 9.14 \text{ m} - 0.21 \text{ m} - 0.02 \text{ m} - 0.3514 \text{ m}$$

$$NPSH_A = 8.80 \text{ m}$$

3.7 DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS

El banco de pruebas es construido con tubería de hierro galvanizado, que garantiza la forma más segura y rápida de instalación, de forma rígida y estable, la adaptación de un desarme de tres piezas de un sistema de bombeo, que permite implementar los puntos acordados en el diseño de fácil transportabilidad, desarme y acomodación del equipo en el área adecuada del laboratorio de pruebas de ingeniería mecánica.

Se determina que la estructura de la tubería del sistema de bombeo se va a construir por tramos según esquemas de áreas del sistema de bombeo, succión, descarga y regreso del fluido al tanque.

Las variantes directas en la construcción son las siguientes:

- El diámetro de la tubería seleccionado es de 1" porque las bombas centrífugas de 1/2 HP tienen un diámetro de 1" en la entrada y salida de la bomba y sobre todo por la facilidad de acoples al unir la tubería con la bomba, para evitar el uso innecesario de accesorios y disminuir el costo de la instalación.
- Los accesorios utilizados son: uniones universales, tubo macho normal, codo normal 90°, te normal, medidor de agua, visor de flujo, manómetros, además la instalación consta de una válvula de globo y válvulas de bola.

Los usos de las válvulas de bola son para poder modificar el recorrido del fluido para obtener las diferentes trayectorias ya sean: individual, en serie o en paralelo como se muestra en el esquema del banco de didáctico. El uso de la válvula de compuerta globo es debido a sus características de estrangulación que permite modificar la curva de carga del sistema y por tanto se puede modificar la presión y el caudal.

EL COEFICIENTE K DE LA ECUACIÓN FUNDAMENTAL DE LAS PERDIDAS SECUNDARIAS

El coeficiente K depende del tipo de accesorio, del número de Reynolds, de la rugosidad y hasta de la configuración de la corriente antes del accesorio. En general antes y después del accesorio en que se produce la pérdida ha de haber un trozo de tubería recta de al menos de 4 a 5D (D- diámetro de la tubería), para que los valores que se aducen a continuación puedan aplicarse con precisión. En la práctica no suele necesitarse por lo demás demasiada precisión.

Los valores de K para cada tipo de accesorio se calculan experimentalmente y se pueden consultar en el anexo 5.

CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE TUBERIAS DE DESCARGA

Retorno por gravedad.

Las dimensiones de la tubería de retorno, se determinaron por medio de la realización de cálculos de caudal y sus respectivas variables, tomando en cuenta las trayectorias del sistema, el fluido extraído desde el tanque de succión, y el nivel óptimo de llenado del tanque. Por tanto, la presión diferencial es siempre positiva gracias a una pendiente a favor del flujo natural que retorna al tanque de succión de forma directa.

Otro punto que se tomó en cuenta fue la velocidad de llenado con forme al uso de la bomba centrífuga, con relación al diámetro de 1" (pulgada) de succión y que se tenía que tener una buena descarga con rapidez; con mínima pérdida de fricción en la tubería al flujo. De esta forma se eligió el tubo de 2" de material PVC.

Retorno elevado.

Siempre que la presión diferencial sea positiva y los estándares de seguridad se cumplan, el sistema que conlleva el fluido retorna con mayor rapidez al espacio que lo contiene, para un nuevo trabajo donde inicia su recorrido nuevamente; según lo demande el sistema de bombeo.

Un ejemplo claro es el drenaje de condensado con trampas de vapor instaladas en las tuberías principales de distribución de vapor.

TUBERÍAS CÁLCULO

De tres elementos esenciales, como hemos visto, consta el conjunto de las bombas centrífugas. Una tubería de aspiración, la bomba propiamente dicha, que es el órgano principal, y la tubería de impulsión.

Aquí vamos a proceder al cálculo de la tubería de aspiración y al de la tubería de impulsión, recordando que para lograr que un fluido, en este caso agua, circule o se mueva por el interior de una tubería de sección circular, es preciso la existencia de una cantidad de líquido, que designaremos por caudal, una fuerza que lo impulse conocida como presión (altura manométrica) y una tubería delimitada por su sección.

Al moverse el agua a través de una tubería entra en función un nuevo concepto denominado velocidad de circulación.

Caudal

Entenderemos por gasto o caudal circulante por una tubería a la cantidad de líquido que atraviesa el área plana de la misma por unidad de tiempo. O bien, que el gasto o caudal es el volumen del líquido que atraviesa una sección transversal cualquiera de una conducción en la unidad de tiempo.

Llamando v a la velocidad, su expresión es:

$$Q = A \cdot v$$

Ecuación 8 Caudal. Volumétrico

Donde:

Q = caudal m^3/s . Unidad de caudal en S.I.

A = área o sección de la superficie transversal interior del conducto, normal a la dirección de circulación del flujo en m^2

v = velocidad de circulación en m/s .

Conociendo dos de estas magnitudes se calculó la tercera pudiendo escribirse la ecuación 8 de la siguiente manera:

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

Ecuación 9 Cálculo de área o sección transversal del conducto.

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

Ecuación 10 Cálculo de velocidad de circulación.

Para conductos de sección circular el área de la superficie interior es igual a

$$A = \frac{\pi}{4} d^2$$

Ecuación 11 Para área en secciones circulares.

De donde fácilmente se deduce el diámetro interior, d , del tubo redondo o, conocido su diámetro, hallar el área.

Un concepto fundamental en el movimiento de fluidos es la ecuación de continuidad (conservación de la masa). En un conducto por el que circula un fluido, la ecuación de continuidad nos dice, al suponer el fluido incompresible y en régimen permanente, que el caudal entrante es igual al caudal saliente.

Cuando se presenta un estrechamiento o un ensanchamiento (tes y bifurcaciones), igualmente se cumple la ley.

Como los dos volúmenes (entrante y saliente) deben ser iguales y, por tanto, $A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1}$$

Ecuación 12 Representa la ecuación de continuidad

que representa la ecuación de continuidad y expresa que las velocidades están en razón inversa de las áreas, o que la velocidad del líquido está en razón inversa de su sección, permaneciendo el caudal constante.

Esto nos viene a indicar que si la tubería es de un diámetro pequeño y ha de pasar por ella una cantidad de agua idéntica a la que transita por una tubería de diámetro grande, la velocidad a la que circulará el agua por la tubería pequeña será mayor a la del agua que se mueve por la tubería grande.

La selección del diámetro interior de la tubería que ha de emplearse en una instalación es más bien un problema técnico-económico.

Dimensionando en exceso la tubería habremos conseguido reducir las pérdidas de carga, si bien esta reducción puede no compensar el costo de la misma. Por contra, al seleccionar una tubería de poco diámetro, se aumentan considerablemente las pérdidas de carga y, por consiguiente, la altura manométrica y el costo del grupo motobomba.

La elección de una tubería con pérdidas de carga elevadas implica un gasto superior constante de energía que en ocasiones podría amortizar la instalación.

El diámetro más apropiado será el que haga mínima la suma de los gastos anuales de energía y los de amortización de tubería.

Algunos fabricantes de bombas recomiendan diámetros de tuberías, siendo importante que se escoja el diámetro que se recomienda o mayor. El que sean de diámetro mayor es ventajoso, pues reduce las pérdidas de carga, pero nunca deben utilizarse de diámetro inferior a los recomendados.

Aproximadamente, y sin hacer un cálculo previo, el diámetro de la tubería de aspiración debe ser de una a dos veces el orificio de la brida de aspiración de la bomba. Es un error poner una tubería del mismo diámetro que el de los orificios de la bomba.

Presión

En las bombas centrífugas la altura total manométrica es la presión efectiva que ha de cumplir la bomba para vencer la elevación a que se destina, y que se compone de la altura total geométrica más las pérdidas de carga (pérdidas en tubería más pérdidas en accesorios como válvulas, codos, cambios de sección, etc.).

Velocidad de circulación

Para que el agua circule por la tubería es necesario que lleve una velocidad. No obstante, los diseños modernos de bombas consiguen grandes caudales con menores tamaños de bombas, lo que origina velocidades elevadas en las conexiones a bombas. Esto no quiere decir que se puedan mantener los mismos diámetros de tubería en aspiración y en impulsión que los de las conexiones de las bombas.

Por consiguiente, asignaremos previamente un valor provisional a la velocidad que el agua ha de llevar por las tuberías. Como norma general, se estima una velocidad de circulación de

- Tubería de aspiración de 1 a 2 m/s
- Tubería de impulsión de 1.5 a 3 m/s

La velocidad del líquido en las tuberías no debe sobre pasar los 2 m/s en la aspiración ni los 3 m/s en la impulsión, aunque algunos fabricantes aceptan llegar hasta los 4 m/s en la impulsión.

La elección de la velocidad en el flujo es importante para la economía de funcionamiento de las bombas y para la duración del sistema. Velocidades inferiores a 0.5 m/s puede conducir a sedimentación de sólidos dentro de los tubos; por encima de 5 m/s tiene lugar abrasión si el líquido es agua residual.

Existen algunas fórmulas que facilitan la velocidad máxima aconsejable, como la que damos a continuación:

$$v = \frac{353.68 \times Q}{D^2}$$

Ecuación 13 Velocidad máxima aconsejable.

En donde

v = Velocidad, en m/s

Q = Caudal, en m^3/s

D = Diámetro, en mm.

Igualmente se tabulan cuadros de velocidades en función del diámetro de la tubería, como el siguiente:

VELOCIDAD ASPIRACIÓN/IMPULSIÓN EN FUNCIÓN DEL DIÁMETRO DE TUBERÍA		
TUBERÍAS		
Ø mm	Aspiración m/s	Impulsión m/s
25 a 40	1,25	1,5
50 a 70	1,5	2
80 a 100	1,75	2,25
125 a 200	2	2,5
desde 200	2	3

Tabla 4 Velocidad de aspiración/impulsión en tuberías.

Por supuesto, todo ello debe hacerse por tanteo, ya que, lo que se debe tomar primero, es la pérdida de carga en la tubería y sus accesorios.

El límite máximo de velocidad se impone también por pérdida de carga. Éstas serán proporcionales al cuadrado de la velocidad e inversamente proporcionales a la quinta potencia del diámetro. Cuando la pérdida de carga tenga una cierta importancia en el diseño de la instalación, se disminuirán las velocidades y se aumentarán los diámetros.

Solución para el diámetro D

Para el caso, con D desconocido, a partir de la ecuación de continuidad, de la ecuación del número de Reynolds y de la ecuación para el cálculo de las pérdidas de carga, se obtienen las ecuaciones simplificadas para el cálculo y determinación del diámetro:

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g}$$

$$h_f = f \frac{L}{D 2g} \frac{Q^2}{(D^2 \pi/4)^2}$$

$$D^5 = \frac{8LQ^2}{h_f g \pi^2} f = C_1 f$$

Donde $C_1 = 8LQ^2/h_f g \pi^2$.

Como $VD^2 = 4Q/\pi$ de la continuidad.

$$R = \frac{VD}{\nu} = \frac{4Q}{\pi \nu} \frac{1}{D} = \frac{C_2}{D}$$

En la que C_2 es la cantidad conocida $4Q/\pi\nu$.

La solución ahora es llevada a cabo por el siguiente procedimiento:

1. Supóngase un valor para f .
2. Resuélvase la ecuación anterior para D .
3. Resuélvase la ecuación anterior para R .
4. Encuéntrese la rugosidad relativa ϵ/D .
5. Con R y ϵ/D , búsquese un nuevo valor de f según el Diagrama de Moody.
6. Utilice el nuevo valor de f , y repítase el procedimiento.
7. Cuando el valor de f no cambia en las primeras dos cifras significativas, todas las ecuaciones se satisfacen y el problema queda resuelto.

Normalmente se requieren una o dos pruebas. Ya que en general se seleccionan tubos de tamaño estándar, se toma el siguiente tamaño mayor de tubo que el dado por el cálculo.

CALCULO PARA EL DIAMETRO DE TUBERIA DE RETORNO.

Encontrando H_f por medio de la ECUACION DE BERNOULLI

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + H_f$$

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + H_f$$

$$H_f = z_2 - z_1 \quad H_f = 1.42m - 0.45m \quad H_f = 0.97m$$

La solución para determinar el diámetro de la tubería ahora es llevada a cabo por el siguiente procedimiento:

1. Supóngase un valor para f .

$$f = 0.02$$

2. Resuélvase la ecuación para D .

$$D^5 = \frac{8LQ^2}{h_f g \pi^2} f = C_1 f$$

$$D^5 = \left(\frac{8(2.5m)(1.33 \times 10^{-3} m^3/s)^2}{(0.97m)(2 \times 9.81 m/s^2)(\pi)^2} \right) (f) = C_1 f$$

$$D^5 = (1.88 \times 10^{-7} m^6)(f)$$

$$D^5 = (1.88 \times 10^{-7} m^6)(0.02)$$

$$D = \sqrt[5]{(1.88 \times 10^{-7} m^6)(0.02)}$$

$$D = 0.0206m$$

3. Resuélvase la ecuación para R .

$$R = \frac{VD}{\nu} = \frac{4Q}{\pi \nu D} = \frac{C_2}{D}$$

$$R = \frac{(4)(1.88 \times 10^{-7} m^3/s)}{(\pi)(10^{-6} m^2/s)}$$

$$R = \frac{1693}{D} = \frac{1693m}{0.0206m} = 82184$$

4. Encuéntrese la rugosidad relativa ϵ/D .
Para este caso no se calcula y en su lugar se utiliza la curva para tubería lisa (por ser PVC) en el diagrama de Moody.
5. Con R y ϵ/D , búsquese un nuevo valor de f según el Diagrama de Moody.
Nuevo $f = 0.0195$
6. Utilice el nuevo valor de f , y repítase el procedimiento.

Segundo calculo.

1. Con nuevo valor para f .

$$f = 0.0195$$

2. Resuélvase la ecuación para D .

$$D^5 = \frac{8LQ^2}{h_f g \pi^2} f = C_1 f$$

$$D^5 = \left(\frac{8(2.5m)(1.33 \times 10^{-3} m^3/s)^2}{(0.97m)(2 \times 9.81 m/s^2)(\pi)^2} \right) (f) = C_1 f$$

$$D^5 = (1.88 \times 10^{-7} m^6)(f)$$

$$D^5 = (1.88 \times 10^{-7} m^6)(0.0195)$$

$$D = \sqrt[5]{(1.88 \times 10^{-7} m^6)(0.0195)}$$

$$D = 0.0205m$$

3. Resuélvase la ecuación para R .

$$R = \frac{VD}{\nu} = \frac{4Q}{\pi \nu D} = \frac{C_2}{D}$$

$$R = \frac{(4)(1.88 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s})}{(\pi)(10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})}$$

$$R = \frac{1693}{D} = \frac{1693 \text{ m}}{0.0205 \text{ m}} = 82585$$

4. Encuéntrese la rugosidad relativa ϵ/D .
Para este caso no se calcula y en su lugar se utiliza la curva para tubería lisa (por ser PVC) en el diagrama de Moody.
5. Con R y ϵ/D , búsquese un nuevo valor de f según el Diagrama de Moody.
Nuevo $f = 0.0196$
6. Utilice el nuevo valor de f , y repítase el procedimiento.

Tercer calculo.

1. Con el nuevo valor para f .

$$f = 0.0196$$

2. Resuélvase la ecuación para D .

$$D^5 = \frac{8LQ^2}{h_f g \pi^2} f = C_1 f$$

$$D^5 = \left(\frac{8(2.5 \text{ m})(1.33 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s})^2}{(0.97 \text{ m})(2 \times 9.81 \text{ m/s}^2)(\pi)^2} \right) (f) = C_1 f$$

$$D^5 = (1.88 \times 10^{-7} \text{ m}^6)(f)$$

$$D^5 = (1.88 \times 10^{-7} \text{ m}^6)(0.0196)$$

$$D = \sqrt[5]{(1.88 \times 10^{-7} \text{ m}^6)(0.0196)}$$

$$D = 0.0205 \text{ m}$$

3. Resuélvase la ecuación para R .

$$R = \frac{VD}{v} = \frac{4Q}{\pi v D} = \frac{C_2}{D}$$

$$R = \frac{(4)(1.88 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s})}{(\pi)(10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})}$$

$$R = \frac{1693}{D} = \frac{1693 \text{ m}}{0.0205 \text{ m}} = 82585$$

4. Encuéntrese la rugosidad relativa ϵ/D .
Para este caso no se calcula y en su lugar se utiliza la curva para tubería lisa (por ser PVC) en el diagrama de Moody.

5. Con R y ϵ/D , búsquese un nuevo valor de f según el Diagrama de Moody.
Nuevo $f = 0.0196$

Ya no se vuelve a repetir el proceso debido a que el f en el paso 5 del segundo y tercer cálculo da el mismo resultado por lo tanto el diámetro de la tubería es 0.0205m esto es igual a 20.5mm.

A partir de dicho valor y de acuerdo a los valores de diámetro disponibles comercialmente, se selecciona el valor inmediato superior.

Para el caso en estudio, de aplicación didáctica, se ha seleccionado un diámetro mayor (50 mm), el cual cumple con la condición para su operación confiable (diámetro igual o mayor al calculado)

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA TUBERÍA DE HIERRO GALVANIZADO.

La tubería de acero ASTM A53, es recomendada para las instalaciones de gas y conducción de fluidos poco corrosivos como aceite, aire, agua, gas y vapor a altas y medias presiones.

Los tubos de fabricación con acero laminado en caliente, según normas AISI/SAE 1008, cualquier otro acero equivalente que cumpla las norma

ASTM A53 (NTC-3470) y tenga la siguiente composición química:

Carbono 0.25% (Máximo) y 0.30%.

Fosforo 0.050% (Máximo) y 0.05%.

Azufre 0.045%(Máximo) y 0.045%.

PROPIEDADES MECÁNICAS:

Esfuerzo de Fluencia: psi (min) Grado A 30.000

Esfuerzo de Tensión: psi (min) Grado A 48.000

Porcentaje de Elongación: 20% en Promedio.

Sobre el largo: +1", -0.5"

Sobre el diámetro exterior:

a) Para el tubo igual e inferior a 1 1/2" NPS: +/- 1/64" (0.4mm)

b) Para el tubo igual o superior a 2" NPS: +/- 1%

Sobre el espesor: +/- 12.5% del espesor nominal de pared.

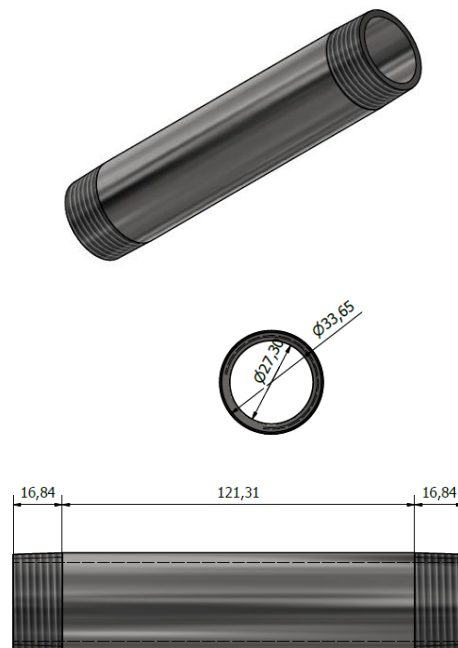


Fig. 23 Especificaciones técnicas de tubería de acero

DATOS TÉCNICOS DE LOS TUBOS DE ACERO.

DIAMETRO NOMINAL NPS	DIÁMETRO EXTERIOR (Pulg.)	ESPESOR DE PARED (Pulg.)	PESO TUBO 6m.		LARGO DEL TUBO (m)	GRADO	PRESION DE PRUEBA (psi)	SCH
			NEGRO (kg.)	GALVANIZADO (kg)				
1/4"	0,540	0,088	3,780	3,962	6,00	A	700	40
3/8"	0,675	0,091	5,040	5,296	6,00	A	700	40
1/2"	0,840	0,109	7,620	7,887	6,00	A	700	40
3/4"	1,050	0,113	10,140	10,479	6,00	A	700	40
1"	1,315	0,133	15,000	15,479	6,00	A	700	40
1 1/2"	1,900	0,145	24,300	25,016	6,00	A	1200	40
2"	2,375	0,154	32,640	33,579	6,00	A	2300	40
2 1/2"	2,850	0,203	51,780	52,880	6,00	A	2500	40
3"	3,500	0,216	67,740	69,080	6,00	A	2500	40

Tabla 5 Datos técnicos de los tubos de acero.

3.8 TANQUE DE SUCCIÓN Y DESCARGA.

Tanque o recinto desde el cual succionan las bombas en un sistema de bombeo, y hace las veces de foso de bombas cuando éstas son del tipo sumergible. Usualmente tienen una capacidad suficiente para almacenar el volumen de agua que se bombea en un lapso.

Los tanques de presión se incluyen en los sistemas de bombeo con el fin de asegurar el suministro de agua del sistema en caso de que el agua procedente de la red de suministro sea insuficiente.

Rectangular

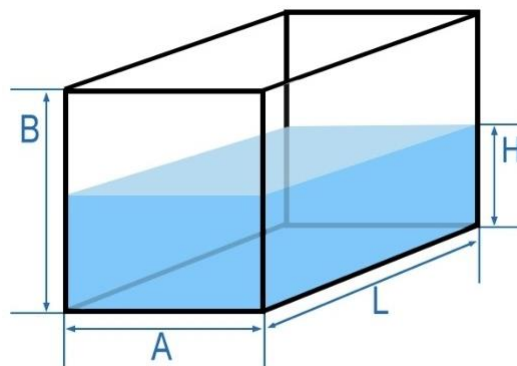
Medidas:

Ancho, A :300mm

Altura, B :470mm

Nivel de líquido, H :400mm

Densidad :1 $\frac{g}{cm^3}$



Datos:

Volumen del tanque: 0.06 m³ - 55.061 L / 1.94 ft³ – 14.545 US. GALÓN / 1.94 ft³ – 0.346 Barril

Volumen del líquido: 0.05 m³ - 46.860 L / 1.65 ft³ – 12.379 US. GALÓN 0/ 1.65 ft³ – 0.295 Barril

Peso: 46.860 kg / 103.366 lb / 2.953 lb.

Material:

Plástico: Es el nombre genérico y común que se le da a una serie de sustancias de estructura molecular y características fisicoquímicas semejantes, cuya mayor virtud es contar con elasticidad y flexibilidad durante un intervalo de temperaturas, permitiendo así su moldeado y adaptación a diversas formas. Este nombre proviene de su eminente plasticidad, es decir, su facilidad para adquirir ciertas formas.

Los plásticos son, concretamente, materiales sintéticos y derivados del petróleo, obtenidos mediante procesos de polimerización, es decir, de multiplicación seminatural de largas cadenas de átomos de carbono, dando así origen a una sustancia orgánica maleable en caliente y resistente en frío.

Este material es sumamente versátil, gracias a su liviandad, tacto agradable y resistencia tanto a la degradación biológica como a la ambiental (excepto por la exposición prolongada a rayos UV).

Estas propiedades son difíciles de conseguir con otros elementos, y hacen del plástico al mismo tiempo una bendición y un problema, ya que a la par de ser el material sintético más útil y eficaz de la historia humana, es también la principal fuente de contaminación sólida del planeta (basura). Por suerte, el plástico es reciclable, aunque su producción es mucho más barata y sencilla que su reutilización.

Al ser sometido al calor directo, la mayoría de los plásticos desprenden gases ricos en dioxinas y furanos, hidrocarburos cancerígenos y capaces de sofocar a los seres vivos, además de ocasionar un daño atmosférico tremendo.

Recomendaciones:

Se eligió el siguiente tanque de material de plástico, para el banco didáctico de bombas; por la sencilla razón que es un equipo que se puede desarmar fácilmente, tomando en cuenta que el desplazamiento del equipo sea completamente fácil de mover, no se corra el riesgo de que se arruine, cualquiera de los tanques si fuera de vidrio.

Por lo consiguiente la instalación del tanque de succión y descarga sea menos compleja, también sea más duraderos y reducir el factor de mantenibilidad de los tanques.

3.9 DIAGRAMA HIDRÁULICO CODIFICADO

DESIGNACIÓN:

P= Tramo de tubería.	F= Medidor de Flujo.
G= Válvula de Pie.	VF= Visor de Flujo.
B= Bomba Centrífuga.	VGL1= Válvula de Globo $\frac{3}{4}$ "
VB= Válvula de Bola.	TD= Tanque de Descarga.
M2= Vacuómetro.	TS= Tanque de Succión.
M= Manómetro.	C= Codo a 90 grados.
T= Unión en "T"	

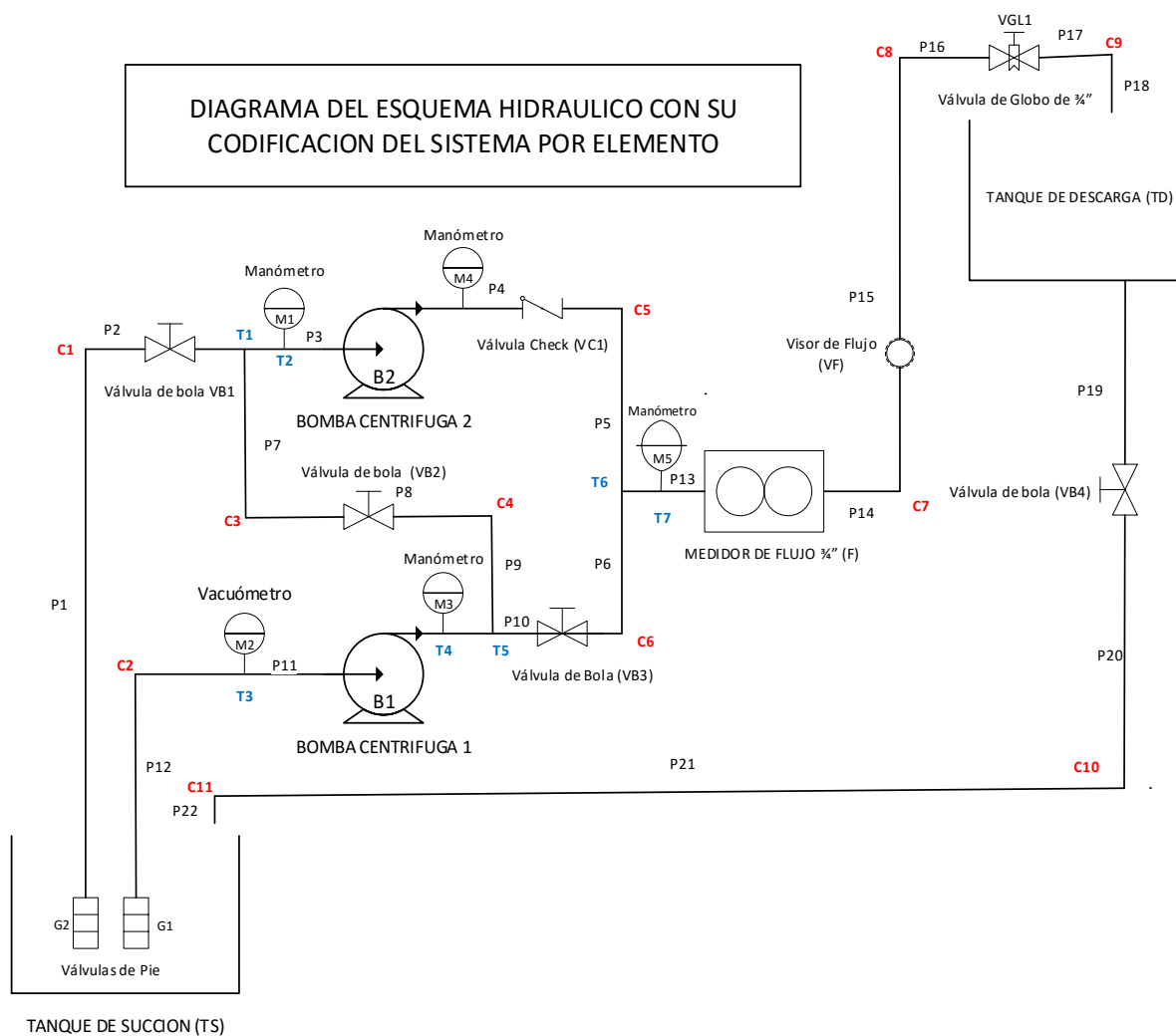


Fig. 24 Diagrama hidráulico codificado

3.10 MATERIALES

ÍTEM	MATERIAL	CANTIDAD
1	Bomba centrífuga de 1/2 HP	2
2	Cinta Teflón 1/2 "	1
3	Lija para pulir metal N80	1
4	Válvula de globo de bronce de ¾"	1
5	Manómetros de 0- 100 Psi	4
6	Codo 90° de 2" PVC	2
7	Válvula de bola de 2" PVC (sin rosca)	1
8	Uniones Universales de 1" (Galvanizadas)	7
9	Medidor de flujo de ¾" (Bronce)	1
10	Tanque de Plástico 30x40x47 (cm)	2
11	Válvula Check vertical 1" (Bronce)	1
12	Válvula pie de bronce con malla de 1"	2
13	Reductor de campana. Hierro G. ¾" a 1"	4
14	Tubo de 2" PVC. (6 metros)	1
15	Visor de Flujo de Agua de Diámetro 2"	1
16	Vacuómetro	1
17	Codo a 90 de Hierro Galvanizado de 1"	12
18	Unión en T de Hierro Galvanizado 1"	8
19	Teflón en pasta para Tubería 807	2
20	Tubo Galvanizado de 1" (7 metros)	1
21	Válvula de paso de ½" PVC	1
22	Niple Galvanizado de 1"x 2"	2
23	Niple Galvanizado de 1"x 3"	2
24	Niple Galvanizado de ¾" x 3	2
25	Válvula de bola de 1"	3
26	Tubo de hierro cuadrado de 1"x1" C14	7
27	Abrazaderas metálicas de 1" (Anillo)	6
28	Tubo cuadrado de hierro ½"x½"	3
29	Tubo Cañuela de (90 cm)	1
30	Brocha de 1"	1
31	Disolvente Mineral (botella)	1
32	Kit de Terraaja para Roscas p/a tubería	1
33	Wippers	1
34	Silicón Transparente	2
35	Pintura Negra Anticorrosiva	1/4

36	Pliego de Lija para Hierro #100	2
37	Discos de Corte (350x3,5x25.4mm)	2
38	Carrete de Soldadura MIG (10 m)	1
39	Pernos de diámetro de 8mm (completos)	8
40	Leds indicadores de 22 mm / 110 v	3
41	Selector metálico 2 posiciones	2
42	Cable THNN #18 AWG	4
43	Amperímetro 0-30 Ac	2
44	Voltímetro 0 – 4 voltios	2
45	Breaker 1 x 30 A.	1
46	Cable WP #12	6
47	Caja Metálica de 4 circuitos	1
48	Conector Macho 110v	1
49	Adaptador PVC con rosca de ½”	1
50	Tapón de PVC de ½”	1

3.11 COSTOS

Se toma en consideración los gastos realizados en la elaboración del banco de pruebas y a continuación se detallarán los diferentes tipos de costos:

COSTOS DE MATERIALES

Son todos aquellos materiales imprescindibles y necesarios utilizados para la construcción del banco de pruebas, entre los cuales se incluye el material eléctrico, hidráulico, accesorios.

MATERIALES ELÉCTRICOS

ÍTEM	MATERIAL	CANT.	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	Leds indicadores de 22 mm / 110 v	3	5	15
2	Selector metálico 2 posiciones	2	5	10
3	Cable THNN #18 AWG	4	0.60	2.40
4	Amperímetro 0-30 Ac	2	8	16
5	Voltímetro 0 – 4 voltios	2	2	4
6	Breaker 1 x 30 A.	1	10	10
7	Cable WP #12	6	1.15	6.90
8	Caja Metálica de 4 circuitos	1	20	20
9	Conector Macho 110v	1	2	2
TOTAL				\$ 86

MATERIALES HIDRÁULICOS

ÍTEM	MATERIAL	CANT	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	Bomba centrifuga de 1/2 HP	2	49.50	99.50
2	Cinta Teflón 1/2 "	1	0.50	1.0
3	Lija para pulir metal N80	1	0,40	0,40
4	Válvula de globo de bronce de ¾"	1	6.59	6.59
5	Manómetros de 0- 100 Psi	4	8.0	32.0
6	Codo 90° de 2" PVC	2	1.23	2.46
7	Válvula de bola de 2" PVC (sin rosca)	1	5.09	5.09
8	Uniones Universales de 1" (Galvanizadas)	7	3.98	27.86
9	Medidor de flujo de ¾" (Bronce)	1	36.28	36.28
10	Tanque de Plástico 30x40x47 (cm)	2	12.50	25
11	Válvula Check vertical 1" (Bronce)	1	8.80	8.80
12	Válvula pie de bronce con malla de 1"	2	7.7434	15.49

13	Reductor de campana. Hierro G. ¾" a 1"	4	1.15	4.60
14	Tubo de 2" PVC. (6 metros)	1		10
15	Visor de Flujo de Agua de Diámetro 2"	1	20.0	20
16	Vacuómetro	1	10.0	10.0
17	Codo a 90 de Hierro Galvanizado de 1"	12	1.23	14.76
18	Unión en T de Hierro Galvanizado 1"	8	1.72	13.76
19	Teflón en pasta para Tubería 807	2	5.0	15.04
20	Tubo Galvanizado de 1" (7 metros)	1	28.20	32.60
21	Válvula de paso de ½" PVC	1	1.20	1.20
22	Niple Galvanizado de 1"x 2"	2	0.50	1.0
23	Niple Galvanizado de 1"x 3"	2	0.70	1.42
24	Niple Galvanizado de ¾" x 3	2	0.49	0.88
25	Válvula de bola de 1"	3	8.41	25.23
26	Adaptador PVC con rosca de ½"	1	0.30	0.30
27	Tapón de PVC de ½"	1	0.25	0.25
TOTAL				\$ 411.51

ACCESORIOS PARA BANCO DE PRUEBAS

ÍTEM	MATERIAL	CANT	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	Tubo de hierro cuadrado de 1"x1" C14	7	9.95	69.65
2	Abrazaderas metálicas de 1" (Anillo)	6	0.20	1.20
3	Tubo cuadrado de hierro ½"x½"	3	6	18
4	Tubo Cañuela de (90 cm)	1	3.0	3.0
5	Brocha de 1"	1	1.0	1.0
6	Disolvente Mineral (botella)	1	0.80	0.80
7	Kit de Terraaja para Roscas p/a tubería	1	150	150
8	Wippers	1	1.0	1.0
9	Silicón Transparente	2	2.0	4.0
10	Pintura Negra Anticorrosiva	¼	4.0	4.0
11	Pliego de Lija para Hierro #100	2	1.0	2.0
12	Discos de Corte (350x3,5x25.4mm)	2	5.0	10.0
13	Carrete de Soldadura MIG (10 m)	1	20	20
14	Pernos de diámetro de 8mm (completos)	8	0.50	4
TOTAL				\$ 288.65

COSTOS DE MANO DE OBRA

NÚMERO DE HORAS	TRABAJADOR	COSTO POR HORA	COSTO TOTAL
32	Ayudante de Plomería	3.0	96
15	Estructura y soldadura	20	300
6	Eléctrico	20	120
25	Diseño CAD del Proyecto.	20	500
TOTAL			\$ 1,016

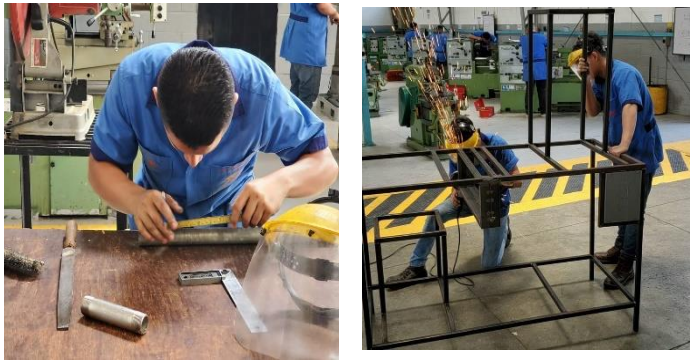
COSTOS TOTALES

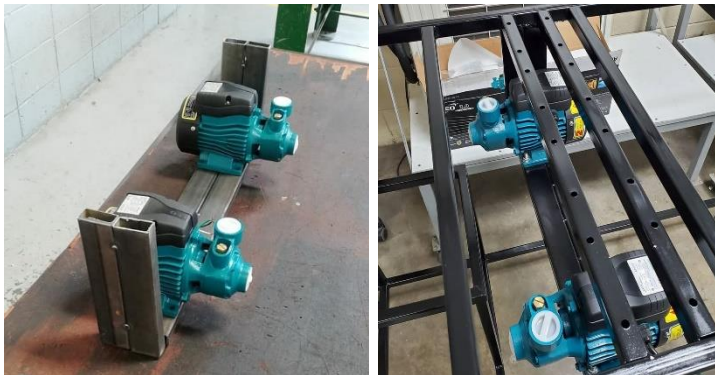
DETALLE	COSTO (Dólares)
Material hidráulico	\$ 411.51
Material eléctrico	\$ 86.00
Material metálico	\$ 288.65
Mano de obra	\$ 1,016
Transporte	\$ 20.00
SUBTOTAL	\$ 1,822.16
Administrativos y de Ingeniería 15%	\$ 273.324
SUBTOTAL	\$ 2,095.484
IVA 13%	\$ 272.412
COSTO TOTAL DEL PROYECTO (incluido IVA)	\$ 2,367.89

CAPÍTULO 4 CONSTRUCCIÓN

4.1 MONTAJE DE ELEMENTOS

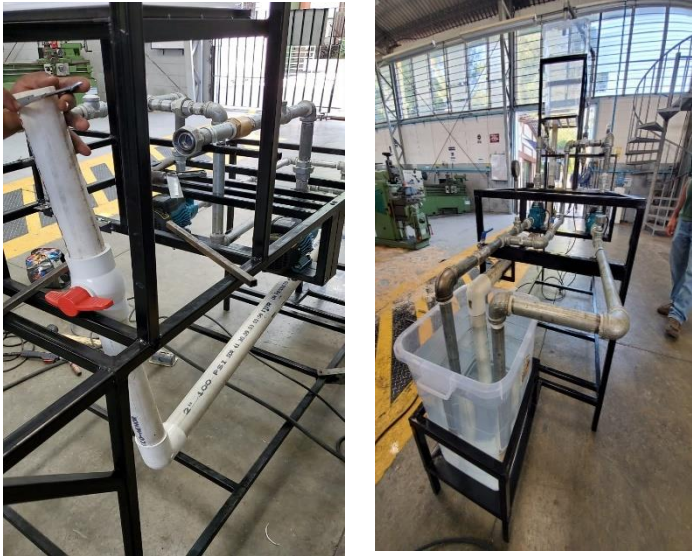
4.1.1 CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE BOMBAS CENTRIFUGAS.

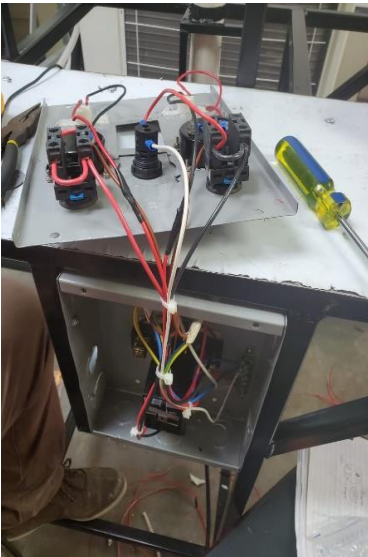
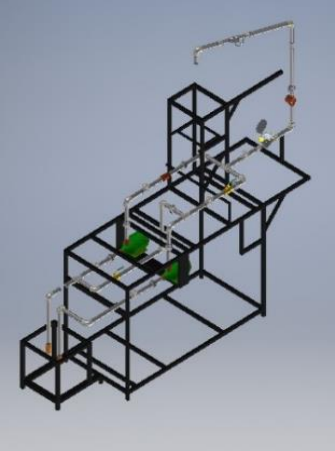
No	FOTO	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO
1		Cortar las piezas, para hacer el marco del banco didáctico de bombas de pruebas, según diseño de la estructura metálica, donde se instalaron las bombas centrifugas y todos los componentes.
2		Soldar las piezas que se cortaron con las medidas específicas, según el plano del diseño inicial del proyecto, tomando en cuenta los espacios de instalación del sistema de tuberías de diámetro de 2". Soldadura por proceso MIG Metal Inerte Gas).
3		Verificar las Medidas de la estructura del banco didáctico de bombas centrifugas y pulido de estructura del sobrante de soldadura MIG, aplicando el uso de una amoladora metálica estándar.

4		Colocar las áreas de los tanques de succión y descarga en sus posiciones. Se Verifico que cumplan con las disposiciones del plano hidráulico, con relación a las alturas de descarga y succión del sistema de bombas centrifugas.
5		Instalar las bombas centrifugas de 1/2" HP, al chasis del banco, según estructura metálica soldada, por medio de los 8 agujeros realizados para colocar los pernos de sujeción a las bombas.
6		Medir longitudes de tuberías de succión y descarga, con respecto al plano de construcción. Adecuar cada parte de las tuberías según forma y condición que se requiere por cada sistema de conexión de las bombas centrifugas.

7	 	Identificar las áreas donde se van a colocar las válvulas, accesorios, tuberías de succión, tubería de descarga, instrumentos de medición de flujo, manómetros, codos a 90 grados, las uniones en “T”. Se tuvo el cuidado de colocarle de forma correcta la cinta teflón, complementándola con la pasta especial para tubería y así poder tener un máximo control sobre alguna fuga, por las altas presiones que va a manejar el banco hidráulico.
8	 	Cortar tubería de succión por partes según plano de construcción del banco de bombas centrífugas e iniciar la instalación de accesorios y hacer las roscas de 1” Whitworth 55 grados. (11G 5/8”) Instalar cada parte de las tres zonas de tuberías: succión, descarga y desplazamiento, que lleva el sistema hasta llegar al tanque de descarga y así mismo verificar las condiciones ideales de la tubería de hierro galvanizado de diámetro de 1”.
9	 	Seguir con el desarrollo de roscado para la toda la tubería que se va a instalar en la red de succión y descarga del sistema. Se tuvo el cuidado de medir la longitud de cada rosca de pieza a instalar, para garantizar el roscado de cada pieza sea capaz de sostener de gran firmeza el banco hidráulico y también poder soportar las presiones del sistema.

10		Colocar los accesorios de tubería, codos y uniones en “T”, válvulas antirretornos, medidor de flujo, manómetros, según el plano hidráulico a instalar. Verificar el orden lógico de la instalación de cada componente del banco hidráulico, para que la captación de los datos sea más veraz y el funcionamiento del equipo sea el óptimo.
11		Fijar la tubería por sección, como lo rige el plano de construcción, primero succión, después descarga y por último la sección donde está el medidor y la válvula de globo de 3/4”. Se tomo en cuenta los soportes ideales en la sujeción de la tubería al banco hidráulico, manteniendo los puntos claves, para evitar la vibración por el trabajo de las bombas centrífugas, no perdiendo el diseño de un desarme básico de las tres partes del sistema de bombeo.
12		Alinear y nivelar toda la instalación de la tubería de 1”, colocando la sujeción de esta, con la estructura metálica del banco de bombas centrífugas. Tomando en cuenta el apreté de tubería con el aislante respectivo, colocando el teflón y pasta para rosca de la tubería. Se utilizo equipo de medición para alinear de gran manera la instalación de toda la tubería, partiendo que en los roscados de cada parte se pierden medidas por el apreté ideal del equipo.

13		Instalar los tanques de succión y descarga en su posición en el sistema hidráulico diseñado. También se llenaron los tanques para constatar la posición de cada componente, basado al llenado total de los 55 litros y verificar que la estructura base de los tanques cumpliera la función de sostener la base del fondo de cada tanque, soportando de gran manera el peso del fluido en el sistema.
14		Acoplar al tanque de descarga, la tubería de retorno directo de PVC de diámetro de 2" para aligerar, el proceso de retorno del sistema hidráulico diseñado. Se verifico que cumpla el llenado del tanque de succión de forma rápida, para que no se quede sin agua el sistema y funcione de forma correcta.
15		Instalación de cada manómetro del sistema, succión, descarga, medición principal de presión final del tramo y colocación del barómetro en el lado de succión de cada bomba centrífuga. Alinear cada manómetro con forme a la vista de trabajo del banco hidráulico, con las personas que van a realizar las pruebas de trabajo del equipo.

16	 	Conexión e instalación del alambrado TSJ (12-3) principal del control de las bombas centrífugas para llevarlo al panel de control principal. Se procedió a colocar el cableado del sistema por adentro de los tubos estructurales del banco, para que tuvieran mayor protección en el uso del equipo, cuando se le haga mantenimiento querido al equipo y brindar mayor seguridad al sistema.
17	 	Preparación y colocación de los instrumentos de medición eléctricos del sistema de control de la bomba centrífugas en la caja de control principal del sistema. (Voltímetro, Amperímetro, luz de control, activadores de cada bomba y el Breaker de 2 polos 110v.) La Instalación del cableado estuvo a cargo de un experto en el área, el Ing. Walter Ramírez, el cual dejo toda la red eléctrica de forma polarizada, para evitar descargas eléctricas al usuario del equipo del sistema de bombeo.
18	 	Después de la instalación de los componentes eléctricos en el panel de control, procedemos a cablear cada instrumento según plano eléctrico diseñado para el sistema de control de las bombas centrífugas. Cuando el sistema del banco de pruebas didácticas de bombas centrífugas, esta correctamente armado e instalado, se le tuvieron que hacer pruebas de vibración de tubería.

19

Verificación de todo el montaje del banco de bombas centrífugas, con el respectivo plano de instalación general, según estructura metálica, montaje hidráulico del sistema y conexión eléctrica.

En este punto ya todo el equipo ensamblado, está listo para generar todos los datos del sistema y poder hacer las pruebas que se requieren según conexión de trayectoria del sistema de bombeo.

4.2 HERRAMIENTAS

HERRAMIENTAS	EQUIPO	EQUIPO DE SEGURIDAD
Lima basta plana de 12"	Tronzadora de Metales 110 v.	Calzado de seguridad
Lima fina plana de 12"	Taladro Manual 110 v.	Gabacha de trabajo
Lima cuadrada de 6"	Equipo de Soldadura MIG	Delantal para soldaduras
Limatón de 12"	Juego básico de Brocas	Careta para soldar
Lima media caña de 12"	Llaves Stillson	Careta clara
Marco con sierra	Amoladora	Gafas claras
Tenaza de Electricista	Remachadora	Guantes para soldar
Llaves mixtas (Juego) mm	Multímetro	
Juego de destornilladores	Cinta métrica	
Alicate	Regla Graduada	
Pinza de puntas largas		
Peladora de cable		
Rayador		

4.3 MANTENIMIENTO GENERAL

4.3.1 MANTENIMIENTO DEL BANCO HIDRÁULICO.

Los sistemas de bombeo son equipos diseñados para un alto desempeño y aunque requieren poco mantenimiento es bueno que un técnico revise su sistema de bombeo y de un mantenimiento preventivo de ser necesario. El correcto funcionamiento de los componentes de un sistema de bombeo asegura la duración del equipo y el funcionamiento adecuado.

El Mantenimiento, visto como una función soporte, dentro de un proceso productivo, cobra una importancia absoluta, en el momento que comenzamos a analizar, todos aquellos equipos y sistemas, que están bajo nuestra responsabilidad como Mantenedores.

Allí es cuando, empezamos a preocuparnos por equipos tales como bombas , compresores, ventiladores, que son el grupo de equipos considerados rotativos y que merecen una atención especial, tanto en la instalación , como en la operación y más aún en su mantenimiento, que es la acción que permite, garantizar la disponibilidad del equipo, una vez que se ha detenido por una falla o por una parada programada, para intervenirlo y devolverle así, las condiciones de operación necesarias, para que continúe la prestación del Servicio, para el cual fue diseñado y seleccionado. Dentro de este grupo de equipos rotativos, las bombas son un subgrupo numeroso e importante dentro de los procesos productivos, tanto por su función en sí, como por el número o cantidad y tipo dentro de las empresas.

Sin embargo, antes de abordar el tema de mantenimiento en sí, es prudente hacer una breve revisión de conceptos, clasificación, manejo de las curvas características, entre otros, ya que esto ayudará a comprender mejor algunas fallas y a realizar intervenciones realmente efectivas que ayuden a disminuir la frecuencia y tipo de fallas de elementos tan importantes, como son las bombas centrífugas. Es indudable, además tener claro que, se debe partir de una correcta selección de la Bomba, que se necesita, pues esto asegura una buena operación, que se traduce en economía y duración del sistema en general.

Es necesario, hacer un breve repaso por términos relacionados con el tema a tratar, las bombas. Entre los más importantes están:

-
- Carga de fricción: es la columna en metros (m), del líquido que se maneja, equivalente y necesaria para vencer la resistencia de las tuberías, de succión y descarga y de sus accesorios. Varía de acuerdo con la velocidad del líquido, tamaño y condiciones interiores de las tuberías y la naturaleza del líquido que se maneja.
- Carga de Velocidad: un líquido se maneja a cualquier velocidad dentro de un tubo, tiene energía cinética debido a su movimiento, la carga de velocidad es la distancia, de caída necesaria, para que un líquido adquiera una velocidad dada determinada por:

$$H_v = \frac{V^2}{2g}$$

Ecuación 14 Carga de velocidad.

Donde:

H_v = Carga de velocidad en metros.

V = Velocidad del líquido en m / s

g = Aceleración de la gravedad en m/ seg².

- Carga Estática de Descarga: es la distancia vertical, entre el eje central de la bomba y el punto de entrega libre o salida del líquido.
- Carga Estática de Succión: si la bomba, se encuentra ubicada por debajo del nivel libre de bombeo, la distancia vertical entre ese nivel y el eje de la bomba se denomina Carga estática de Succión.
- Carga Estática Total: es la distancia vertical entre los niveles de Succión y Descarga.
- Carga Estática: es la altura expresada en metros (m) de líquido de la columna de fluido, que actúa sobre la succión (entrada) o la descarga (salida) de una bomba.
- Cebado de una bomba: cebar una bomba significa reemplazar el aire, gas o vapor que se encuentra en la bomba y su tubería, por el líquido a bombear las bombas se pueden cebar automáticamente o manual.
- Elevación Estática de Succión: si la bomba, se encuentra arriba del nivel libre de bombeo, la distancia entre el nivel de líquido a bombear y el eje central de la bomba, se llama Elevación estática de Succión.
- Fluido Ideal: es aquel que no presenta viscosidad y por tanto no ofrece resistencia a deformarse.
- Gravedad Específica: es el cociente de la densidad de una sustancia entre la densidad del agua a 4 °C.
- Gravedad Específica: es el cociente del peso específico de una sustancia entre el peso específico del agua a 4 °C
- Rodete o impulsor: es una parte importante en la bomba centrífuga es el encargado de transformar la energía cinética en presión dinámica.

Sistemas de Bombeo.

Los sistemas de bombeo son un conjunto interconectados de elementos cuyo objetivo básico es transferir un valor de presión o energía a un fluido para incrementar dicho valor, usando para ello diferentes métodos, luego llevarlo de un punto de referencia a otro, bien sea para su uso inmediato, o para su almacenamiento, drenaje y finalmente su desecho. Para cumplir este cometido, los sistemas de bombeo se diseñan considerando, las necesidades particulares, de un proceso continuo de manufactura o el cumplimiento de un servicio puntual de suministro. Las partes más notorias en un sistema de bombeo son: las máquinas hidráulicas (bombas), las tuberías y/o canales abiertos de conducción, los accesorios o piezas de conexión, los instrumentos de medición y control y los elementos de almacenamiento.

Máquinas Hidráulicas.

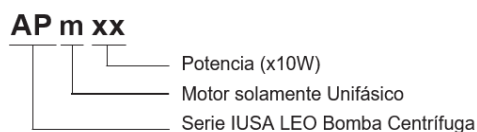
Bombas. Las máquinas hidráulicas, convierten energía mecánica procedente de un motor de arrastre, en energía hidráulica. Las más importantes son aquellas que están unidas a un eje rotativo por lo cual reciben el nombre de Turbomáquinas. Turbo= giro o rotación. La definición anterior es una de las más simples para definir una bomba.

Bomba Centrífuga.

Este equipo es aplicable para suministro de agua, en equipos hidroneumáticos, pequeños sistemas de aire acondicionado, presurización de tuberías, riego de jardines e invernaderos, irrigación agrícola, etc.

Transferencia de líquidos no corrosivos con baja viscosidad, no inflamables, ni explosivos ni líquidos con contenido de gas, ni con contenido de partículas sólidas o fibrosas. El valor de PH debe estar entre 6.5 y 8.5.

NOMENCLATURA



DATOS TÉCNICOS:

Tensión: 127 V~ Frecuencia: 60 Hz Frecuencia de rotación: 3400 r/min

Clase de aislamiento: Clase I

El cable de alimentación tiene sujeta-cables tipo: Y

Clase de aislamiento térmico de los devanados del motor: F

La clase de construcción de la herramienta es: Aislamiento básico

1 FASE	kW	HP	CORRIENTE	ALTURA MÁXIMA
APm37	0,37	1/2	5,0 A	40 m

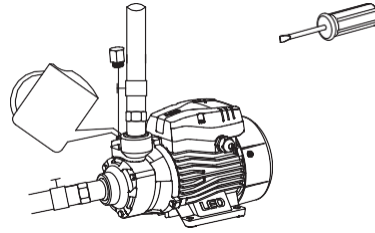
MODELO	MÁXIMA PROFUNDIDAD DE SUCCIÓN	DIÁMETRO DE ENTRADA	DIÁMETRO DE SALIDA	TIPO DE CONDUCTOR
APm37	8 m	1" NPT	1" NPT	18 AWG

NORMAS DE SEGURIDAD

Este aparato no se destina para utilizarse por personas (incluyendo niños) cuyas capacidades físicas, sensoriales o mentales sean diferentes o estén reducidas, o carezcan de experiencia o conocimiento, a menos que dichas personas reciban una supervisión o capacitación por una persona responsable de su seguridad.

- No arranque la bomba antes de llenarla de agua totalmente.
- No toque la electrobomba a menos que este desconectarla eléctricamente. No desmonte el cuerpo de la bomba sin vaciar el agua totalmente.
- Gire el ventilador antes de arrancarla, asegúrese que la bomba gira suavemente.

- Desenrosque el tapón de cebado.
- Llene totalmente la tubería de succión y el cuerpo de la bomba con agua limpia.
- Asegúrese que el aire se haya evacuado completamente y luego apriete nuevamente el tapón de cebado.
- El registro debe estar totalmente cerrado antes de arrancar la bomba.
- Arranque la bomba.

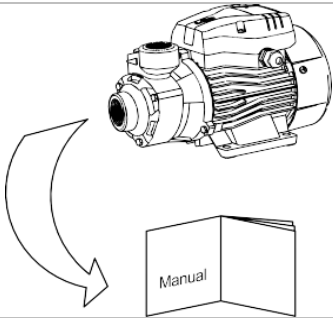
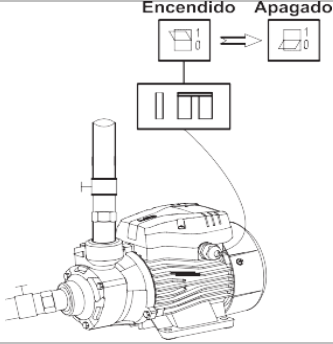
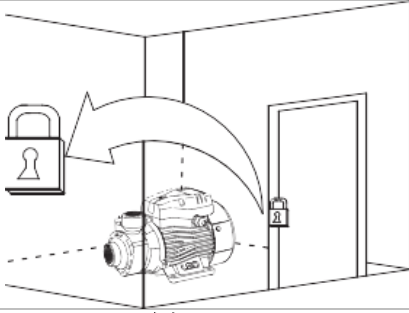
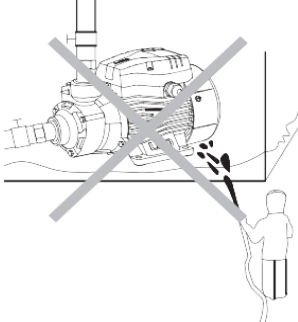
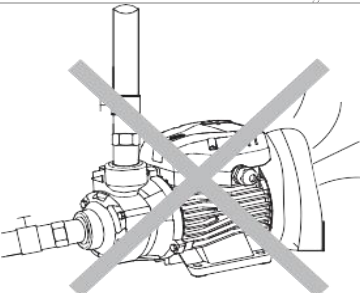


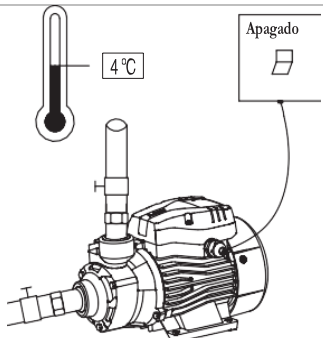
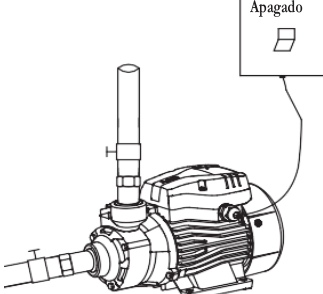
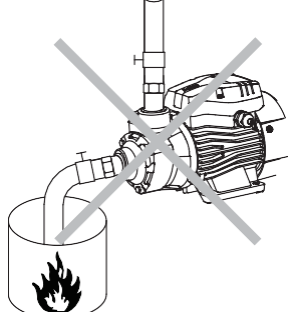
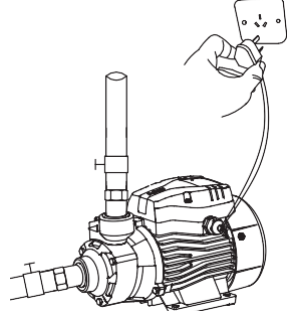
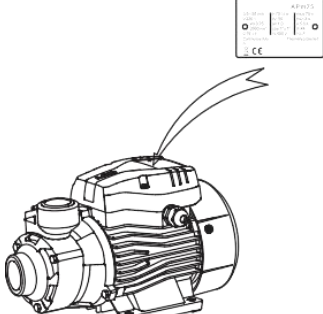
Después de arrancar la bomba y asegurarse que está operando normalmente, abra suavemente el registro y ajústelo de acuerdo con los parámetros de la bomba. El caudal y la presión de operación se muestran en la placa de la bomba.

Atención

- ✓ Si después de 5 minutos del arranque de la bomba el agua no fluye en la cantidad y presión esperadas, de acuerdo con las características de la bomba, apáguela, revise que no haya escapes de agua en la tubería de succión, que la válvula de pie esté libre de obstrucciones y que selle adecuadamente. Repita el proceso anterior.
- ✓ En caso de congelamiento del agua abra el tapón de drenaje arranque brevemente la bomba para evacuar el agua, después ajuste el tapón, llene la bomba y arránquela nuevamente.
- ✓ En caso de que la electrobomba no se vaya a usar por largo tiempo, vacíe el agua de la bomba, recubra el cuerpo de la bomba, el impulsor y el plato porta sello con aceite anticorrosivo. Colóquela en un lugar seco y ventilado.
- ✓ Cuando se vuelva a usar después de estar guardada por un largo periodo, arranque la bomba siguiendo los pasos de procedimiento anterior.
- ✓ En sitios o épocas con temperaturas muy altas ponga especial atención a la ventilación. Evite la condensación sobre los contactos eléctricos; esto puede causar fallas eléctricas.
- ✓ Si se presentan ruidos y vibraciones anormales, apague la bomba inmediatamente y acuda a su servicio técnico.

MEDIDAS DE SEGURIDAD

DESCRIPCIÓN	ESQUEMA
Asegure la operación normal y segura de la electrobomba, lea el manual cuidadosamente antes de usarla.	
La electrobomba debe tener una conexión a tierra confiable para prevenir corto circuito; por seguridad la conexión eléctrica debe estar protegida de humedad y goteo.	
No toque la electrobomba mientras esté trabajando.	
Se debe evitar lavar la electrobomba con agua a presión, así mismo se debe prevenir que el equipo se inunde.	
Mantenga la bomba en un lugar ventilado.	

En caso de que la temperatura ambiente este por debajo de 4°C o que la bomba tenga que dejar de usarse por largo tiempo, vacíe el líquido de la tubería para evitar congelamiento dentro de la bomba. NO OPERE LA BOMBA SIN AGUA.	 A diagram showing a pump unit. To its left is a thermometer with a scale and a mark at 4°C. To its right is a switch with a small square icon and the word 'Apagado' above it. A line connects the switch to the pump's motor area.
Si el líquido bombeado esta presurizado y/o caliente, antes de mover y desmontar la bomba, cierre las válvulas de entrada y salida de la bomba, luego vacíe el líquido de la bomba y tuberías para evitar quemaduras.	 A diagram showing a pump unit. To its right is a switch with a small square icon and the word 'Apagado' above it. A line connects the switch to the pump's motor area.
No transfiera ningún líquido inflamable, explosivos o líquidos con contenido de gases superiores a los parámetros estipulados.	 A diagram showing a pump unit connected to a container. Inside the container is a flame icon. A large 'X' is drawn over the entire scene, indicating that this action is prohibited.
Asegúrese que la electrobomba no se arranque accidentalmente mientras se instala o se le hace mantenimiento. Si la bomba se va a dejar de usarse por largo tiempo, corte el suministro eléctrico y luego cierre las válvulas de entrada y salida de la bomba.	 A diagram showing a pump unit. A hand is shown unplugging a power cord from a wall outlet. The cord is connected to the pump's motor area.
El suministro de energía debe estar acorde con el voltaje establecido en la placa de la bomba. Si no va a ser usada por largo tiempo, coloque la bomba en un lugar seco, ventilado y a temperatura ambiente.	 A diagram showing a pump unit. Above it is a rectangular label with technical specifications and a CE mark. An arrow points from the label to the pump's motor area.

PARTES DE LA BOMBA CENTRIFUGA.

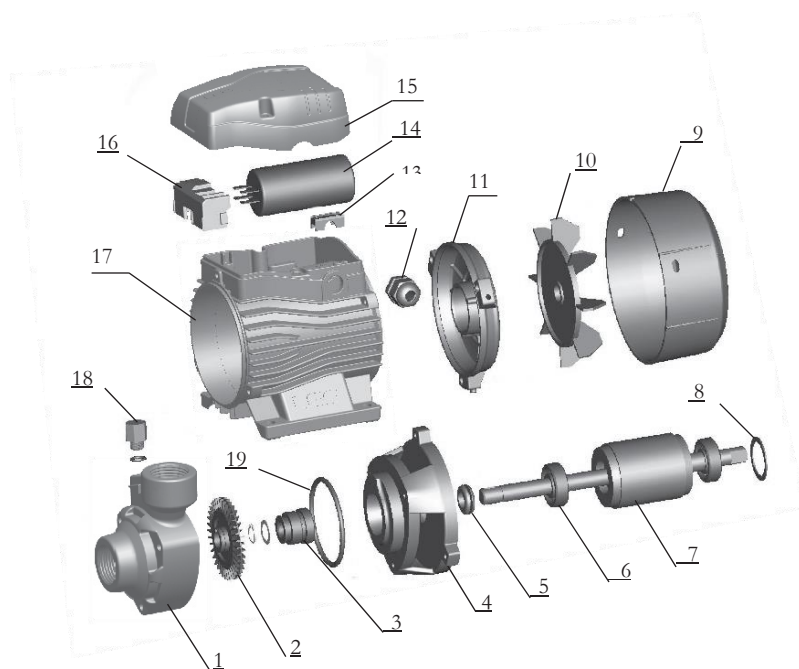


Fig. 25 Despiece de la bomba centrifuga

Posición	Descripción	Posición	Descripción
1	Cuerpo bomba (carcasa)	11	Tapa motor
2	Impulsor	12	Porta cable
3	Sello mecánico	13	Prensa cable
4	Soporte bomba	14	Capacitor (condensador)
5	Anillo de cierre	15	Tapa bornera
6	Balero	16	Bornera
7	Eje rotor	17	Caja bobinado
8	Arandela	18	Tapón de cebado
9	Tapa ventilador	19	Empaque cuerpo bomba
10	Ventilador		

Tabla 6 Nombre de las piezas de la bomba centrifuga

PROBLEMAS Y SOLUCIONES.

Síntoma	Causa probable	Acción correctiva.
El motor no arranca.	No coincide el tipo de conexión interna de la bomba con el de la conexión a la red. (p. Ej. Se suministra energía monofásica a un motor trifásico).	Verificar las conexiones eléctricas.
	Fusibles quemados.	Reemplazar fusibles.
	Cables en mal estado.	Reparar o reemplazar el cable.
	Capacitor mal conectado o quemado.	Reemplazar el capacitor por otro similar.
	Eje del motor atascado.	Reemplazar rodamiento.
	Impulsor atascado.	Gire el eje con un destornillador desde el lado de la tapa del ventilador hasta que el eje gire suavemente o desarme la bomba y límpiela internamente.
	Estator (bobinado) quemado.	Reemplazar el bobinado o rebobinar motor.

La bomba funciona, pero la cantidad de agua es insuficiente.	Sentido de giro del motor incorrecto.	Invierta los dos cables de corriente en la conexión (motores monofásicos)
	La bomba y la tubería de succión no están totalmente llenas de agua.	Vuelva a llenar de agua la tubería (cebar la bomba); asegúrese que el aire en la succión sea evacuado totalmente.
	El impulsor está dañado.	Reemplazar impulsor.
	Hay escape o goteo de agua en la succión.	Aplice más cinta teflón en las uniones roscadas y/o mejore los pegues en PVC.
	El nivel de agua en la fuente de suministro está muy bajo.	Acerque más la bomba a la fuente de agua.
	Obstrucción por sólidos en la tubería de la bomba.	Desarme la tubería, revise y limpie.
Presión insuficiente.	La bomba seleccionada no es la adecuada.	Cambie la bomba.
	La longitud de la tubería de entrada es demasiado larga, demasiados codos o curvas en la succión o en el diámetro de la tubería de entrada muy pequeño.	Acerque más la bomba al tanque o pozo; coloque una tubería más gruesa, elimine los codos (máximo uno).
	Cuerpos extraños en la malla de entrada o en la tubería.	Limpie todo el trayecto de succión hasta la bomba.

El motor trabaja intermitentemente y tiene sobrecalentamiento.	Impulsor atascado.	Desarme la bomba y límpiela internamente.
	Conexión de polo tierra inadecuada, cables rotos, conexiones eléctricas deficientes, cable de alimentación muy largo o delgado.	Revise las conexiones eléctricas, trate de disminuir la longitud del cableado, si es necesario cambie cable por uno más grueso. Asegure que la ventilación del sitio sea suficiente.
	Voltaje de alimentación diferente al voltaje de la conexión de la bomba.	Cambie la conexión.
Goteo entre el cuerpo de la bomba y el motor.	Goteo entre el cuerpo de la bomba y el motor.	Reemplace el sello mecánico.
Ruido anormal.	Rodamientos desgastados.	Cambie rodamientos.
	Impulsor suelto o cuerpos extraños.	Ajuste el impulsor o desarme y limpie la bomba.
	Flujo excesivo.	Ajuste el caudal mediante el registro de descarga de acuerdo con el rango de la placa.

Cavitación en bombas.

Efectos adversos. Es un fenómeno por el cual el líquido pasa a estado gaseoso en el interior de una estructura (bomba, tubería, válvula), estando a una temperatura inferior a la temperatura del punto de ebullición, producto de una disminución local de la presión, por debajo de la presión de vapor. Estas bolsas de vapor, al llegar de nuevo a una presión elevada condensa de forma instantánea, produciendo un colapso de burbujas. El líquido que hay alrededor de la burbuja, se dirige al centro a gran velocidad produciendo el Golpe de Ariete.

Efectos adversos:

- Martilleo en el interior del contorno sólido, como si estuviese pasando arena por el interior.
- Descenso del caudal y la eficiencia de la bomba por los descensos de la sección utilizada en la aspiración.
- Rotura de la bomba y rodetes por fatiga de los materiales.
- Vibraciones.

Instalación de bombas.

Dentro de todos los factores que pueden causar fallas en el funcionamiento adecuado de una bomba está la instalación antes de ponerla a operar, sin embargo, este paso es a menudo obviado, y sus consecuencias se pueden evidenciar tiempo después de poner operativa la bomba, lo cual a veces impide llegar a determinar la falla de origen, porque lo menos, que se puede pensar es que realmente sea, un montaje incorrecto. Los puntos por revisar al momento de realizar la Instalación son:

1. Alineación de la bomba y el motor.
2. Dirección de rotación.

3. Conexiones eléctricas.
4. Estoperas y sistemas de lubricación.
5. Tolerancia entre los anillos de desgaste(sellos)
6. Todos los pases de líquido.

Mantenimiento de Bombas.

Como todo Sistema o equipo mecánico, básicamente, el mantenimiento de una bomba requiere de una lubricación adecuada, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. La frecuencia, con que esta lubricación debe hacerse, dependerá en gran parte del uso de la bomba, si es una bomba con alta demanda de trabajo es posible que las frecuencias sean cortas, en la práctica probablemente, sea donde se establezcan las verdaderas frecuencias en la rutina de lubricación. Dentro de los elementos que componen, una bomba, los más demandantes de la acción Mantenimiento son las Estoperas y los empaques que deben inspeccionarse y atenderse adecuadamente. Sin embargo, la mayoría de los especialistas coinciden en afirmar que, debe hacerse un montaje apropiado, porque si no la operación y el mantenimiento y los defectos y fallas mostrados en la tabla 3, serán evidentes, en cuanto al equipo, esté en plena operación y deberán corregirse tan pronto como aparezcan. Esto nos lleva a revisar brevemente puntos importantes como los sellos, cojinetes y las empaquetaduras.

Sellos y Cojinetes en Bombas Los sellos y cojinetes son elementos importantes por considerar dentro del mantenimiento de una bomba, y la falla de estos genera altos costos en el proceso, por lo que vale la pena evitar que ocurran. Las fallas de sellos y cojinetes pueden ser por:

la instalación, deformación térmica, diseño del sello, selección y variaciones dimensionales. Si una planta tiene fallas recurrentes de sellos y cojinetes, en un equipo específico, quizás la falla, no esté en los sellos o en los cojinetes. Hay que buscar en elementos como los soportes o anclas mal instaladas, además de revisar los soportes de las tuberías.

- **Fallas Externas pueden ser por:**

Cargas por dilatación térmica o Cargas muertas. o Soportes mal diseñados.

- **Los síntomas por cargas externas excesivas pueden ser:**

Desgastes dispares del sello o Desgastes dispares de los anillos o Fallas repetitivas de los sellos, aunque sean de modelos distintos.

- **La contaminación del líquido en el prensa-estopa:**

Fugas prematuras en el sello. o Partículas de sucio se enclavan en la parte blanda y produce en abrasión en la cara dura del sello.

Partes de un sello.

Todos los sellos son básicamente iguales y tienen un elemento rotatorio y uno fijo. Un elemento tiene una cara selladora de contacto de un material blando para desgaste, como el carbón, el otro tiene una cara de material duro, que puede ser duro, como la cerámica. Los componentes y accesorios metálicos del sello se utilizan para:

1. Adaptar los sellos en un equipo. Pueden ser una camisa y una cubierta para tener una instalación más fácil y precisa.

2. Aplicar precarga mecánica en las caras del sello hasta que empiece la presión hidráulica. Se logra esto con un resorte grande o varios pequeños.

3. Transmitir el par de torsión a las caras fijas y rotatorias del sello. Se obtiene con pasadores, muescas y tornillos.

Los sellos pueden ser del tipo balanceado o desbalanceado. Los balanceados están diseñados para compensar los cambios bruscos de presión hidráulica. Los desbalanceados son más económicos. Los sellos mecánicos están diseñados para evitar las fugas hasta que se gaste la parte blanda.

¿Sin embargo, muchas veces se ha conseguido que el sello tiene fugas y no presenta desgastes? Por qué es frecuente que este tipo de falla se presente y la causa es atribuida principalmente a una mala instalación, en donde los puntos o errores fueron los siguientes:

1. Descuido en no proteger las caras del sello.
2. Daño a los elastómeros del sello.
3. No, verificar la posición y dimensiones críticas del sello.
4. Descuido en el montaje y no verificación de las tolerancias permitidas.

En el montaje y mantenimiento de los sellos se deben tener en cuenta, algunas pautas importantes para evitar los daños prematuros en los elementos del sello:

Hay que fijarse bien que no haya rebabas, o bordes agudos al colocar el sello en el eje o en la camisa del eje.

Nunca utilice una cuchilla para quitar un sello anular desgastado, utilice una varilla de madera u objeto romo para evitar cortar el elastómero al instalar, puede permitir fugas que parecerán provenir de las caras del sello cuando se arranque la bomba.

Antes, de instalar el sello hay que comprobar la desviación radial del eje, la lectura del micrómetro no debe exceder de 0.001 pulg de longitud. Además, el movimiento axial no debe exceder de 0.005 pulg. Si no se consiguen esas tolerancias, hay que pensar en revisar y cambiar los cojinetes, todo esto para evitar las fugas por el sello.

Hay que comprobar la concentricidad y perpendicularidad de la prensa estopa con el eje. A veces hay que rectificar la cara de la prensa estopa para tener la certeza que el componente fijo quede perpendicular con el rotatorio. Si se aprieta en exceso el retén, puede haber combadura en la cara del sello.

El componente rotatorio se conecta con el eje de la bomba, que tiene un movimiento axial constante entre 0.001 y 0.002 pulg. Este movimiento axial lo pueden producir la desviación normal, vibración, cavitación y desequilibrio del impulsor, pero este debe ser absorbido por los resortes y elastómeros del sello. Si esto no ocurre se separan las caras y hay fugas. Un sello nuevo no debe permitir fugas, si las hay es un error en la instalación. La fuga puede desaparecer poco a poco en algunos casos, pero no del todo.

En las figuras siguientes se encuentran algunas muestras de fallas en los sellos

FALLAS EN SELLOS OCASIONADAS POR ATAQUE QUIMICO



fig. 2 El ataque químico produce corrosión generalizada de los componentes del sello

Fig. 26 Fallas ocasionadas por ataque químico

FALLA OCASIONADA POR BURBUJAS EN EL FLUIDO



fig. 13 Las ampollas producen huecos en la cara del sello de carbón

Fig. 27 Falla ocasionada por burbujas en el fluido.

FALLA OCASIONADA POR ASTILLADURAS-MAL MONTAJE

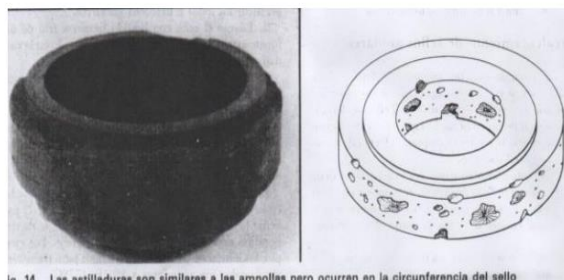


fig. 14 Las astilladuras son similares a las ampollas pero ocurren en la circunferencia del sello

Fig. 29 Falla ocasionada por mal montaje

FALLAS OCASIONADAS POR DESGASTE DISPARAJE-DEFORMACION DEL SELLO

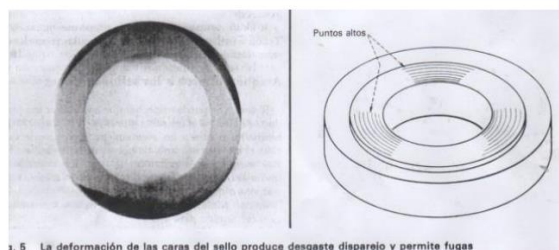


Fig. 5 La deformación de las caras del sello produce desgaste disparaje y permite fugas

Fig. 28 Falla por deformación del sello.

SELLADO DE ROSCAS DE TUBERÍAS.

Cuando vamos a brindar el mantenimiento en las partes de las tuberías, que se tienen por sección del equipo de bombas didácticas, se tiene que desmontar de forma cuidadosamente. Tomando en cuenta que al desmontar las tuberías siempre hay que tener en cuenta: suministrar este tipo de sellador de roscas o cinta teflón en cinta. (Pasta)



Fig. 30 Sellado de roscas de tubería

El sellador de roscas ha sido, desarrollado específicamente para roscas metálicas. El producto ha obtenido las homologaciones alemanas para su uso en sistemas de tuberías de agua potable (KTW) y gas (DVGW). Sellador profesional para el bloqueo y sellado fiable y duradero de roscas, racores y conexiones de tubos de diferentes materiales, acabados superficiales y diámetros. Está diseñado específicamente para sellar roscas metálicas y cumple con los requisitos de la homologación para agua potable KTW, para agua fría y caliente (hasta 60 °C). El producto impide que las roscas se aflojen, así como fugas debido a impactos y vibraciones. Además, proporciona protección duradera contra corrosión. El sellador endurece en ausencia de aire, proporcionando sellado muy rápido.

Los selladores ofrecen múltiples ventajas de aplicación, respecto a los selladores convencionales, como cinta de PTFE, estopa o pasta. Son productos mono componentes, sin disolvente, capaces de rellenar una holgura. Todas estas características se combinan para asegurar el rendimiento de sellado a largo plazo incluso bajo las condiciones más intensas de vibración, ataque químico o fluctuaciones térmicas y presiones.

CAPÍTULO 5 OPERACIÓN Y PRUEBAS

5.1 ANÁLISIS DE BOMBAS CENTRÍFUGAS

Cuadro de datos de las pruebas experimentales del banco de bombas centrífugas.

5.1.1 TRAYECTORIA 1

APERTURA (VUELTAS)	VACUÓMETRO DE SUCCIÓN (in Hg)	MANÓMETRO (PSI)	MANÓMETRO TOTAL (PSI)	AMPERIOS (A)	VOLTAJE (V)	POTENCIA (w)	VOLUMEN (V) lt + 635 ml	TIEMPO (S)	CAUDAL (Q) V/T (l/s)	MEDIDOR DE FLUJO / (0.0001)
1/4	- 3	32	31	1.6	110	175.98	14385	32.03	0.4491	10.5
1/2	- 4	23	22	1.6	110	175.98	14385	25.65	0.5608	10.7
3/4	- 4	16	16	2.4	110	263.97	14385	22.11	0.6506	10.9
1	- 4	14	13.8	1.9	110	208.97	14385	21.28	0.6759	11.2
1 1/4	- 4	13	13	1.8	110	177.98	14385	20.92	0.6876	11
1 1/2	- 4	13	13	2.2	110	241.97	14385	21.58	0.6665	11.3
1 3/4	- 4	14	13	2.2	110	241.97	14385	21.21	0.6782	10.8
2	- 4	13	13	2.49	110	273.87	14385	21.09	0.6820	10.9
2 1/4	- 4	14	13	2.49	110	273.87	14385	21.84	0.6586	11.3

Tabla 7 Datos de prueba en la trayectoria 1

CAUDAL (l/min)	ALTURA (m).
27	22
34	15
39	11
40	9
41	9
40	9
41	9
41	9
40	9

Tabla 8 Caudal vsr Altura en la trayectoria 1

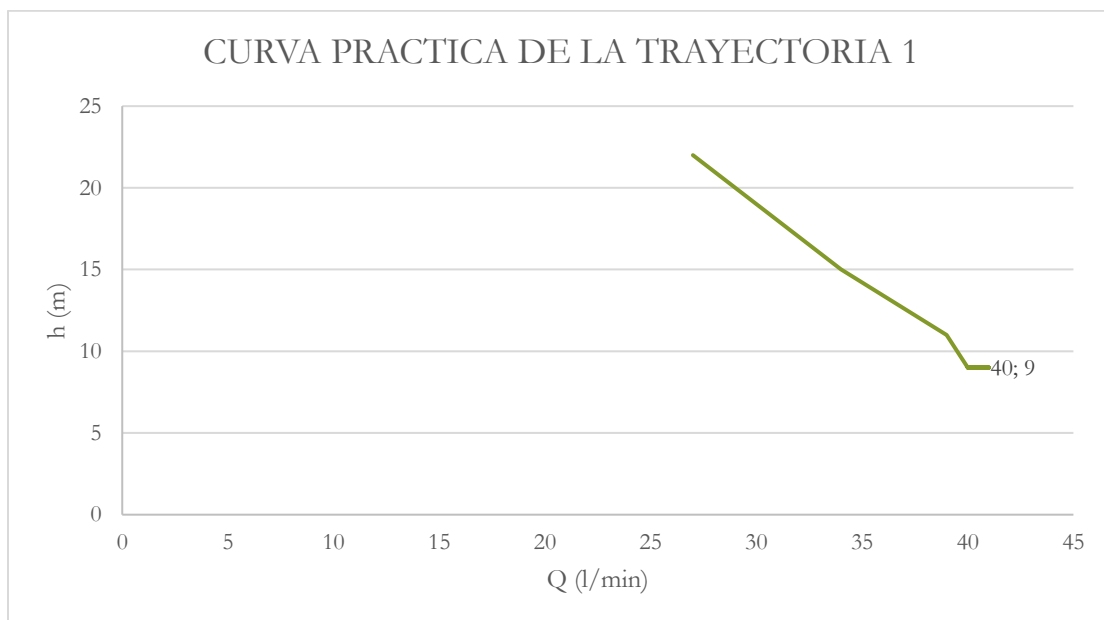


Fig. 31 Curva practica trayectoria 1

5.1.2 TRAYECTORIA 2

APERTURA (VUELTAS)	VACUÓMETRO DE SUCCIÓN (in Hg)	MANÓMETRO (PSI)	MANÓMETRO TOTAL (PSI)	AMPERIOS (A)	VOLTAJE (V)	POTENCIA (w)	VOLUMEN (V) lt + 635 ml	TIEMPO (S)	CAUDAL (Q) V/T (l/seg)	MEDIDOR DE FLUJO / (0.0001)
$\frac{1}{4}$	- 4	29	25	3.2	110	351.96	14385	33.99	0.4232	10.8
$\frac{1}{2}$	- 4	21	19	3.0	110	329.96	14385	27.62	0.5208	11.1
$\frac{3}{4}$	- 4	16	15	3.0	110	329.96	14385	23.61	0.6092	11
1	- 4	14	12	2.3	110	252.97	14385	22.32	0.6444	11.2
$1 \frac{1}{4}$	- 4	13	12	2.8	110	307.96	14385	21.90	0.6568	11
$1 \frac{1}{2}$	- 4	13	12	3.2	110	351.96	14385	21.53	0.6681	10.9
$1 \frac{3}{4}$	- 4	14	12	3.0	110	329.96	14385	21.99	0.6541	11
2	- 4	14	12	3.0	110	329.96	14385	21.38	0.6728	11.3
$2 \frac{1}{4}$	- 4	13	12	2.5	110	274.97	14385	21.70	0.6629	10

Tabla 9 Datos de prueba en la trayectoria 2

CAUDAL (l/min)	ALTURA (m)
25	18
31	13
37	11
39	8
39	8
40	8
39	8
40	8
39	8

Tabla 10 Caudal vs Altura en la trayectoria 2

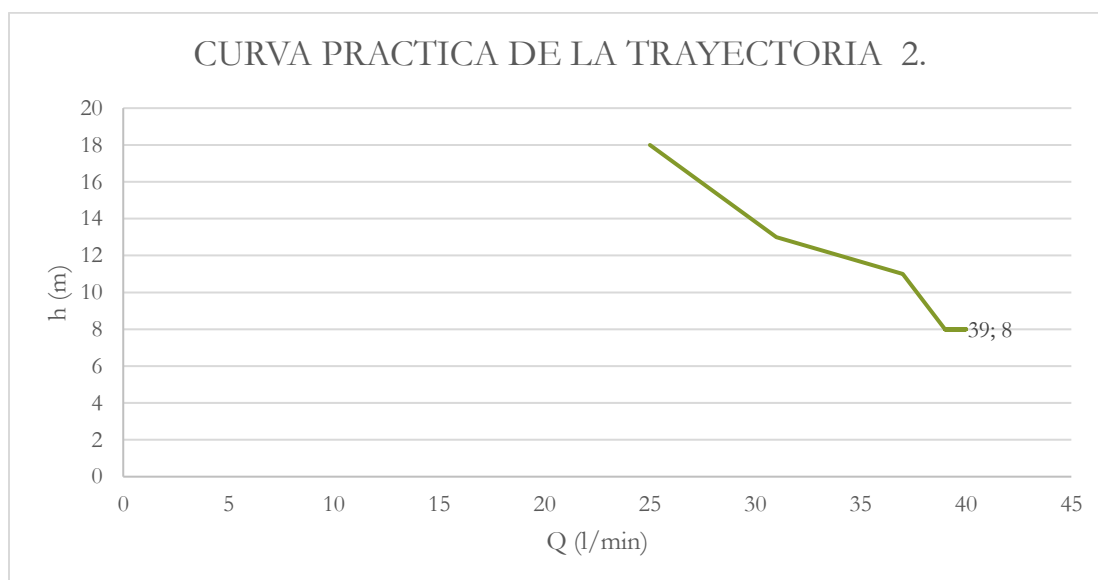


Fig. 32 Curva practica trayectoria 2

5.1.3 TRAYECTORIA 3 EN SERIE

APERTURA (VUELTAS)	VACUÓMETRO DE SUCCIÓN (in Hg)	MANÓMETRO M1 (PSI)	MANÓMETRO M2 (PSI)	MANÓMETRO M3 (PSI)	MANÓMETRO TOTAL (PSI)	AMPERIOS (A) BOMBA #1	AMPERIOS (A) BOMBA #2	POTENCIA (watts) B1	POTENCIA (watts) B2	VOLTAJE (V)	VOLUMEN (V) lt + 635 ml	TIEMPO (S)	CAUDAL (Q) V/T (l/seg)	MEDIDOR DE FLUJO / (0.0001)
1/4	-4	24	48	26	46	1.3	3.2	175.98	351.96	110	14385	26.01	0.5530	10.3
1/2	-4	17	25	18	33	1.6	3.2	175.98	351.96	110	14385	22.17	0.6488	10.5
3/4	-4	11	24	16	22	1.5	3.4	164.98	373.96	110	14385	19.36	0.7430	10.5
1	-4	9	20	11.5	18	1.5	3.4	164.98	373.96	110	14385	18.60	0.7733	10.4
1 1/4	-4	8	18	10.5	17	1.6	3.2	175.98	351.96	110	14385	18.13	0.7934	10.5
1 1/2	-4	8.5	18	10.5	17	1.5	3.2	164.98	351.96	110	14385	18.17	0.7916	10.5
1 3/4	-4	9	19	11	17	1.5	3.2	164.98	351.96	110	14385	18.72	0.7684	10.5
2	-4	8.5	18	10.5	16	1.5	3.2	164.98	351.96	110	14385	18.97	0.7583	10.9
2 1/4	-4	8	18	11	16	1.5	3.2	164.98	351.96	110	14385	18.84	0.7635	10.9

Tabla 11 Datos de prueba en la trayectoria 3

CAUDAL (l/min)	ALTURA (m)
33	32
39	23
45	15
46	13
48	12
48	12
46	12
46	12
46	12

Tabla 12 Caudal vs Altura en la trayectoria 3

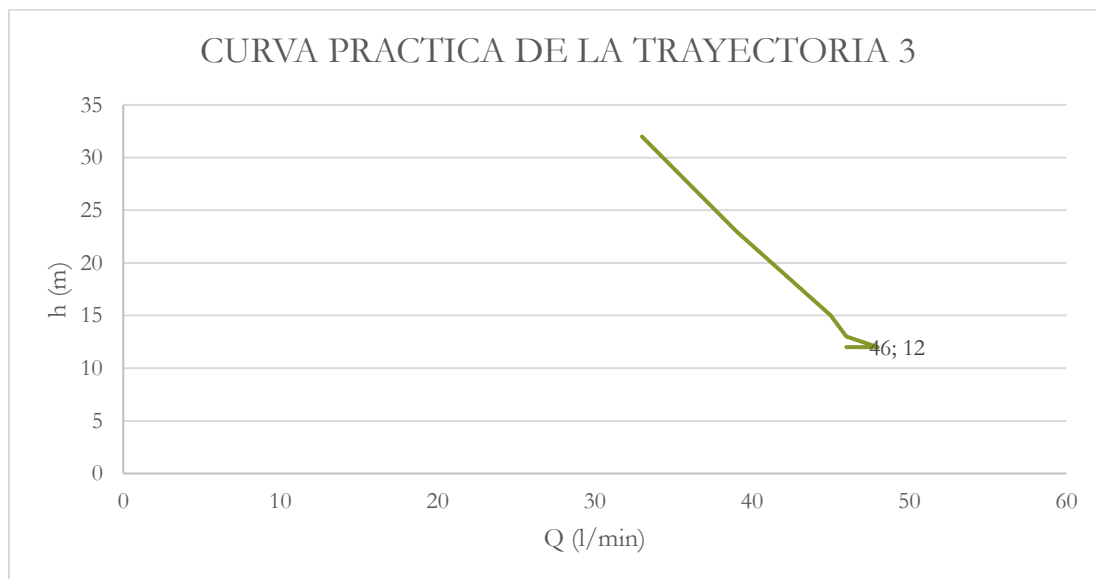


Fig. 33 Curva practica trayectoria 3

5.1.4 TRAYECTORIA 4 EN PARALELO

APERTURA (VUELTAS)	VACUÓMETRO DE SUCCIÓN (in Hg)	MANÓMETRO M1 (PSI)	MANÓMETRO M2 (PSI)	MANÓMETRO TOTA (PSI)	AMPERIOS (A) BOMBA #1	AMPERIOS (A) BOMBA #2	POTENCIA (watts) B1	POTENCIA (watts) B2	VOLTAJE (V)	VOLUMEN (V) lt + 635 ml	TIEMPO (S)	CAUDAL $Q = V/T$ (l/seg)	MEDIDOR DE FLUJO / (0.0001)
$\frac{1}{4}$	- 3.6	43	44	42	28	40	307.9	439.95	110	14385	27.86	0.5163	10.7
$\frac{1}{2}$	- 3.6	36	37	35	1.8	3.6	197.9	395.96	110	14385	21.06	0.6530	10.8
$\frac{3}{4}$	- 3.6	30	31	29	1.6	3.5	175.9	384.96	110	14385	16.25	0.8852	10.7
1	- 3.6	26	28	25	1.6	3.2	175.9	351.96	110	14385	15.07	0.9545	10.9
$1 \frac{1}{4}$	- 3.6	25.9	27	25	1.6	3.2	175.9	351.96	110	14385	15.06	0.9551	11.2
$1 \frac{1}{2}$	- 3.6	25.9	27	25	1.6	3.1	175.9	340.96	110	14385	14.99	0.9596	11.3
$1 \frac{3}{4}$	- 3.6	26.2	27	25	1.6	3.1	175.9	340.96	110	14385	15.05	0.9558	11
2	- 3.6	26	27	25	1.6	2.9	175.9	318.96	110	14385	15.44	0.9316	11
$2 \frac{1}{4}$	-4	26	27	25	1.6	3.0	175.9	329.96	110	14385	15.58	0.9232	11.3

Tabla 13 Datos de prueba en la trayectoria 4

CAUDAL (l/min)	ALTURA (m)
31	30
41	25
53	20
57	18
57	18
58	18
57	18
56	18
55	18

Tabla 14 Caudal vs Altura en la trayectoria 4

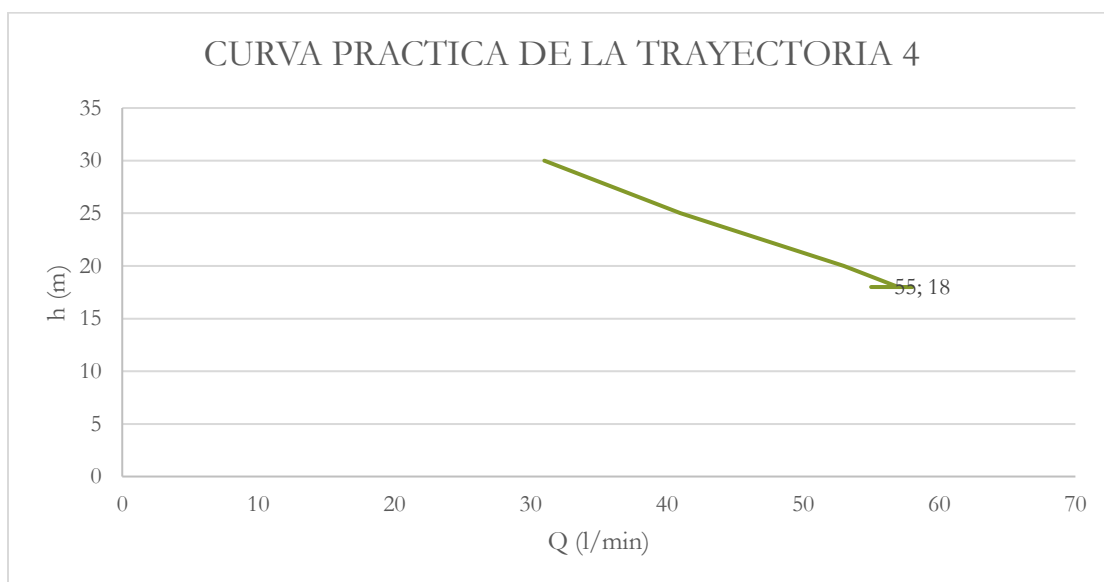


Fig. 34 Curva practica trayectoria 4

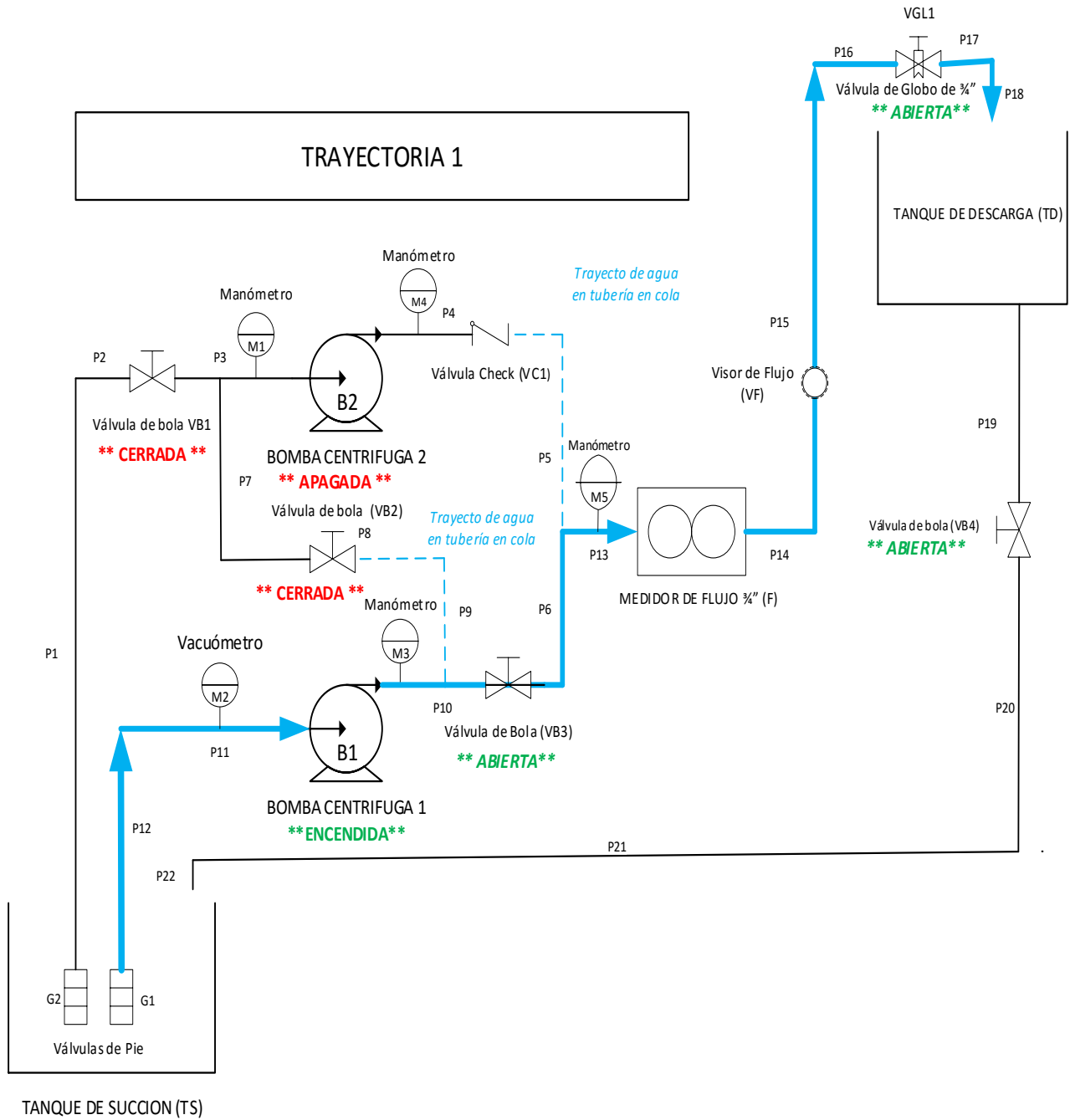


Fig. 35 Funcionamiento de la trayectoria 1

PROCEDIMIENTO PARA EL FUNCIONAMIENTO INICIAL PARA EL BANCO DIDÁCTICO DE BOMBAS CENTRIFUGAS.

TRAYECTORIA #1

Flujo de Trayectoria en color celeste

INDICACIONES GENERALES:

1. Verificar el estado de las válvulas de bola (VB1 y VB2) que estén totalmente “CERRADAS”
2. Brindarle abertura total a la válvula de globo de $\frac{3}{4}$ ” (VGL1) (En el transcurso de las pruebas, esta válvula se le puede ir colocando según, el giro de apertura que se va a ir configurando $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1, 1 $\frac{1}{4}$, 1 $\frac{1}{2}$, 1 $\frac{3}{4}$, 2, 2 $\frac{1}{4}$ de vueltas de la válvula).
3. La válvula de bola (VB3), tiene que estar totalmente abierta. (Esta válvula es la que permite el paso de forma lineal del flujo de agua, que impulsa la bomba centrífuga #1).
4. Colocar la válvula de bola (VB4) totalmente “ABIERTA” para garantizar el retorno del fluido, al tanque de succión sin ningún problema, para captar los datos del sistema, según variación de la válvula de globo (VGL1) que demande la posición de apertura del experimento.
5. La bomba centrífuga (B1) a utilizar es la #1, esta es la que se tiene que manejar para las pruebas respectivas de funcionamiento del banco didáctico.
6. La bomba centrífuga (B2) #2, totalmente apagada.

RESUMEN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA TRAYECTORIA 1

Todo el proceso inicia con la activación de la bomba centrífuga #1 (B1), pero antes de todo, se tiene que verificar la configuración de trabajo que se va a utilizar, con la trayectoria que se requiere. Con su debida apertura de la válvula de globo de $\frac{3}{4}$ ” (VGL1).

El sistema comienza a trabajar mediante la activación del interruptor #1, que se energiza con 110 v del suministro de Energía eléctrica por medio de un Breaker de 20 amperios, lo cual la Bomba Centrífuga (B1) #1 está lista para trabajar en el desplazamiento del fluido.

Se activa el selector #1, que energiza la bomba centrífuga (B1), la cual succiona el agua que está en el depósito del tanque de succión (TS), que pasa de forma inicial por la válvula de pie (G1) que tiene como función: de mantener la presencia continua de succión dentro de la bomba. Que está posicionada en el tramo de la tubería (P12), lo cual el vacuómetro (M2) capta la presión en vacío del área de succión; de la línea de tubería (P11), que pasa por la Bomba centrífuga (B1).

En el cual hace el trabajo de impulsar el líquido en la tubería, donde está instalado un manómetro (M3) que mide la presión exacta de salida de la bomba centrífuga (B1), que se desplaza por la tubería del tramo (P10) y que también pasa por la válvula de bola (VB3) en su trayectoria de paso, por la línea (P6), que hace un cruce por la línea (P13), pero antes se comporta de forma lineal por (P5), que hace un retorno a la fuerza opuesta que le transmite la válvula check (VC1), en esa parte el fluido pasa por un antirretorno, que hace una turbulencia interna en la línea guía de la tubería del sistema.

Volviendo a la línea de paso (P13) en ese punto el Manómetro llamado: Medidor de Presión Total (M5), capta la presión total del sistema y después pasa por el medidor de Flujo (F) que tiene como función principal: medir el caudal o gasto volumétrico del fluido, que está pasando por la trayectoria de la tubería (P14).

Cruzando por un codo para seguir la tubería con elevación lineal; donde se encuentra un visor de flujo (VF) de 2" de diámetro, que lleva la tubería (P15) de la línea, allí se une a la tubería (P16) que se encuentra conectada una válvula de globo (VGL1), que tiene la función: de limitar el paso del fluido, por medio de la disminución del área de la tubería, según su apertura de cierre; con esta opción logramos simular las alturas de un sistema de bombeo, en las que puede funcionar la Bomba Centrífuga (B1). Con esta práctica podemos tomar los datos del sistema como, presiones del sistema con los manómetros, variación de flujo, mediciones eléctricas de amperaje y voltaje, flujo másico del agua, caudal y pérdidas del sistema.

Luego casi en el área final de la tubería (P17), toma el desvío por el codo de descarga por la tubería (P18), que lleva la caída a depositar el flujo de caudal del sistema al tanque de descarga (TD). El retorno del fluido al sistema, lo hace por la tubería de 2" de diámetro de PVC (P19), en la cual la válvula de bola (VB4) tiene que estar "Abierta totalmente" para que siga por la tubería (P20) y se desplaza en su cruce a la línea de la tubería (P21), que desemboca por la tubería (P22) al tanque de succión (TS) y así se garantiza que el sistema tenga los niveles óptimos del fluido para el caudal que se le demande en las pruebas de laboratorio.

MEDICIÓN DE CAUDAL DE FORMA VOLUMÉTRICA EN EL SISTEMA.

1. Encender el banco de bombas centrífugas de forma correcta.
2. Parametrizar el equipo según la trayectoria a utilizar.
3. Colocar la válvula de globo (VLG1) en la apertura a utilizar. ($\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1, 1 $\frac{1}{4}$, 1 $\frac{1}{2}$, 1 $\frac{3}{4}$, 2, 2 $\frac{1}{4}$ de vueltas de la válvula).
4. Determinar que Volumen se va a utilizar según graduación del tanque de descarga (TD).
5. Apagar el sistema antes de la medición de caudal para tener en cero el nivel de volumen del tanque.
6. Cerrar la Válvula de bola (VB4).
7. Tener listo el cronometro para determinar el tiempo de llenado del fluido en el tanque, con el volumen preestablecido.
8. Encender el sistema para iniciar el proceso de medición del caudal.
9. Anotarlos datos respectivos, cuando el nivel de volumen este completado con su respectivo tiempo de llenado.
10. Apagar el equipo.
11. Drenar el sistema con la apertura de la válvula de bola de 2" de diámetro (VB4)
12. Aplicar la formula sobre los datos adquiridos de forma experimental.

MEDICIÓN DE CAUDAL POR MEDIO DEL MEDIDOR DE FLUJO DEL SISTEMA.

1. Encender el banco de bombas centrífugas de forma correcta.
2. Parametrizar el equipo según la trayectoria a utilizar.
3. Colocar la válvula de globo (VLG1) en la apertura a utilizar. ($\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1, 1 $\frac{1}{4}$, 1 $\frac{1}{2}$, 1 $\frac{3}{4}$, 2, 2 $\frac{1}{4}$ de vueltas de la válvula).
4. Determinar la lectura del medidor de flujo (F) a utilizar.
5. Determinar que Volumen se va a utilizar según graduación del tanque de descarga (TD), con el fin de tener una guía de comparación del sistema de bombeo.
6. Apagar el sistema antes de la medición de caudal para tener en cero el nivel de flujo másico en el sistema de tuberías.
7. Cerrar la Válvula de bola (VB4).

8. Tener listo el cronometro para determinar el tiempo de llenado del fluido en el tanque, con el volumen preestablecido y comparar la medición de la lectura en el medidor de flujo como señal del paso del fluido. Tomando en pauta un inicio y fin de la prueba.
9. Encender el sistema para iniciar el proceso de medición del caudal.
10. Anotarlos datos respectivos, cuando el nivel de volumen este completado con su respectivo tiempo de llenado.
11. Apagar el equipo.
12. Drenar el sistema con la apertura de la válvula de bola de 2" de diámetro (VB4)
13. Aplicar la formula sobre los datos adquiridos de forma experimental.

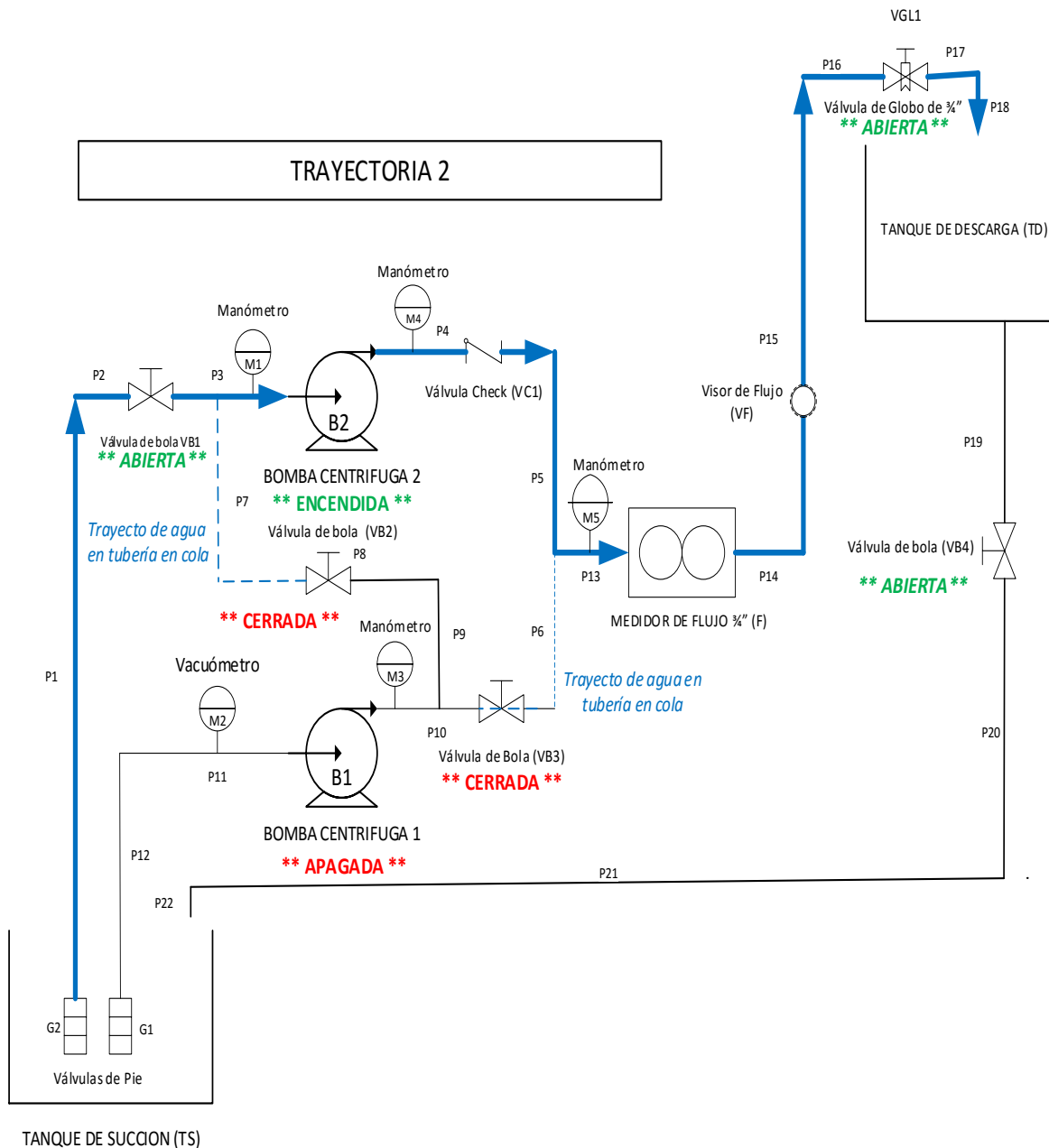


Fig. 36 Funcionamiento de la trayectoria 2

PROCEDIMIENTO PARA EL FUNCIONAMIENTO INICIAL PARA EL BANCO DIDÁCTICO DE BOMBAS CENTRIFUGAS.

TRAYECTORIA #2

Flujo de Trayectoria en color Azul

INDICACIONES GENERALES:

1. Verificar el estado de las válvulas de bola (VB1) que estén totalmente “ABIERTA”
2. Verificar el estado de las válvulas de bola (VB2) que estén totalmente “CERRADA”
3. Brindarle abertura total a la válvula de globo de $\frac{3}{4}$ ” (VGL1) (En el transcurso de las pruebas, esta válvula se le puede ir colocando según, el giro de apertura que se va a ir configurando $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1, 1 $\frac{1}{4}$, 1 $\frac{1}{2}$, 1 $\frac{3}{4}$, 2, 2 $\frac{1}{4}$ de vueltas de la válvula).
4. La válvula de bola (VB3), tiene que estar totalmente cerrada. (Esta válvula es la que permite el paso de forma lineal del flujo de agua, que impulsa la bomba centrífuga #1).
5. Colocar la válvula de bola (VB4) totalmente “ABIERTA” para garantizar el retorno del fluido, al tanque de succión sin ningún problema, para captar los datos del sistema, según variación de la válvula de globo (VGL1) que demande la posición de apertura del experimento.
6. La bomba centrífuga (B2) a utilizar es la #2, esta es la que se tiene que manejar para las pruebas respectivas de funcionamiento del banco didáctico.
7. La bomba centrífuga (B1) #1, totalmente apagada.

RESUMEN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA TRAYECTORIA 2

Todo el proceso inicia con la activación de la bomba centrífuga #2 (B2), pero antes de todo, se tiene que verificar la configuración de trabajo que se va a utilizar, con la trayectoria que se requiere. Con su debida apertura de la válvula de globo de $\frac{3}{4}$ ” (VGL1).

El sistema comienza a trabajar mediante la activación del interruptor #2, que se energiza con 110 v del suministro de Energía eléctrica por medio de un Breaker de 20 amperios, lo cual la Bomba Centrífuga (B2) #2 está lista para trabajar en el desplazamiento del fluido.

Se activa el selector #2, que energiza la bomba centrífuga (B2), la cual succiona el agua que está en el depósito del tanque de succión (TS), que pasa de forma inicial por la válvula de pie (G2) que tiene como función: de mantener la presencia continua de succión dentro de la bomba. Que está posicionada en el tramo de la tubería (P1), lo cual conecta por medio de un codo a 90 grados, con el tramo de tubería (P2), que pasa por la válvula de bola (VB1), que tiene que estar totalmente “ABIERTA” y que lleva el tramo de tubería (P3), que conecta de forma directa al manómetro (M1).

Pero antes de esa línea de Succión, hay un cruce planificado por el diseño del Banco de bombas centrífugas, para poder configurar las demás trayectorias de trabajo de flujo del líquido del sistema.

En esta conexión de la Bomba centrífuga (B2), hay una unión directa según conexión a la tubería (P7) y (P8), donde se conectan a la válvula de bola (VB2); que tiene que estar “Cerrada”, para evitar la conexión directa a la tubería (P9), que conecta a la tubería de salida de la descarga de la Bomba centrífuga (B1).

El Fluido sigue por el tramo de tubería (P4), impulsado por la Bomba centrífuga (B2), donde el flujo conecta al paso por una válvula check (CV1), que hace que el flujo no tenga retorno por la tubería, lo

cual este tramo de tubería (P5), que hace cruce por medio del codo a 90 grados, para conectarse al tramo (P13) que esta un manómetro (M5), que mide la presión total de la tubería instalada anteriormente.

Cabe aclarar que antes que el fluido cruce del tramo (P5) al tramo (P13), se va una parte del flujo, de forma recta por la tubería del tramo (P6), que es por diseño del equipo que sigue esa trayectoria; pero se encuentra con la válvula de bola (VB3) que está cerrada, impidiendo el paso del fluido hacia esa trayectoria de tubería.

Volviendo a la línea de paso (P13) en ese punto el Manómetro llamado: Medidor de Presión Total (M5), capta la presión total del sistema y después pasa por el medidor de Flujo (F) que tiene como función principal: medir el caudal o gasto volumétrico del fluido, que está pasando por la trayectoria de la tubería (P14).

Cruzando por un codo para seguir la tubería con elevación lineal; donde se encuentra un visor de flujo (VF) de 2" de diámetro, que lleva la tubería (P15) de la línea, allí se une a la tubería (P16) que se encuentra conectada una válvula de globo (VGL1), que tiene la función: de limitar el paso del fluido, por medio de la disminución del área de la tubería, según su apertura de cierre; con esta opción logramos simular las alturas de un sistema de bombeo, en las que puede funcionar la Bomba Centrífuga (B1). Con esta práctica podemos tomar los datos del sistema como, presiones del sistema con los manómetros, variación de flujo, mediciones eléctricas de amperaje y voltaje, flujo másico del agua, caudal y perdidas del sistema.

Luego casi en el área final de la tubería (P17), toma el desvío por el codo de descarga por la tubería (P18), que lleva la caída a depositar el flujo de caudal del sistema al tanque de descarga (TD). El retorno del fluido al sistema, lo hace por la tubería de 2" de diámetro de PVC (P19), en la cual la válvula de bola (VB4) tiene que estar "Abierta totalmente" para que siga por la tubería (P20) y se desplaza en su cruce a la línea de la tubería (P21), que desemboca por la tubería (P22) al tanque de succión (TS) y así se garantiza que el sistema tenga los niveles óptimos del fluido para el caudal que se le demande en las pruebas de laboratorio.

MEDICIÓN DE CAUDAL DE FORMA VOLUMÉTRICA EN EL SISTEMA.

1. Encender el banco de bombas centrífugas de forma correcta.
2. Parametrizar el equipo según la trayectoria a utilizar.
3. Colocar la válvula de globo (VLG1) en la apertura a utilizar. ($\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1, 1 $\frac{1}{4}$, 1 $\frac{1}{2}$, 1 $\frac{3}{4}$, 2, 2 $\frac{1}{4}$ de vueltas de la válvula).
4. Determinar que Volumen se va a utilizar según graduación del tanque de descarga (TD).
5. Apagar el sistema antes de la medición de caudal para tener en cero el nivel de volumen del tanque.
6. Cerrar la Válvula de bola (VB4).
7. Tener listo el cronometro para determinar el tiempo de llenado del fluido en el tanque, con el volumen preestablecido.
8. Encender el sistema para iniciar el proceso de medición del caudal.
9. Anotarlos datos respectivos, cuando el nivel de volumen este completado con su respectivo tiempo de llenado.
10. Apagar el equipo.
11. Drenar el sistema con la apertura de la válvula de bola de 2" de diámetro (VB4)
12. Aplicar la formula sobre los datos adquiridos de forma experimental.

MEDICIÓN DE CAUDAL POR MEDIO DEL MEDIDOR DE FLUJO DEL SISTEMA.

1. Encender el banco de bombas centrífugas de forma correcta.
2. Parametrizar el equipo según la trayectoria a utilizar.
3. Colocar la válvula de globo (VLG1) en la apertura a utilizar. ($\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1, $1\frac{1}{4}$, $1\frac{1}{2}$, $1\frac{3}{4}$, 2, $2\frac{1}{4}$ de vueltas de la válvula).
4. Determinar la lectura del medidor de flujo (F) a utilizar.
5. Determinar que Volumen se va a utilizar según graduación del tanque de descarga (TD), con el fin de tener una guía de comparación del sistema de bombeo.
6. Apagar el sistema antes de la medición de caudal para tener en cero el nivel de flujo másico en el sistema de tuberías.
7. Cerrar la Válvula de bola (VB4).
8. Tener listo el cronometro para determinar el tiempo de llenado del fluido en el tanque, con el volumen preestablecido y comparar la medición de la lectura en el medidor de flujo como señal del paso del fluido. Tomando en pauta un inicio y fin de la prueba.
9. Encender el sistema para iniciar el proceso de medición del caudal.
10. Anotarlos datos respectivos, cuando el nivel de volumen este completado con su respectivo tiempo de llenado.
11. Apagar el equipo.
12. Drenar el sistema con la apertura de la válvula de bola de 2" de diámetro (VB4)
13. Aplicar la formula sobre los datos adquiridos de forma experimental.

5.2 ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE BOMBAS EN SERIE

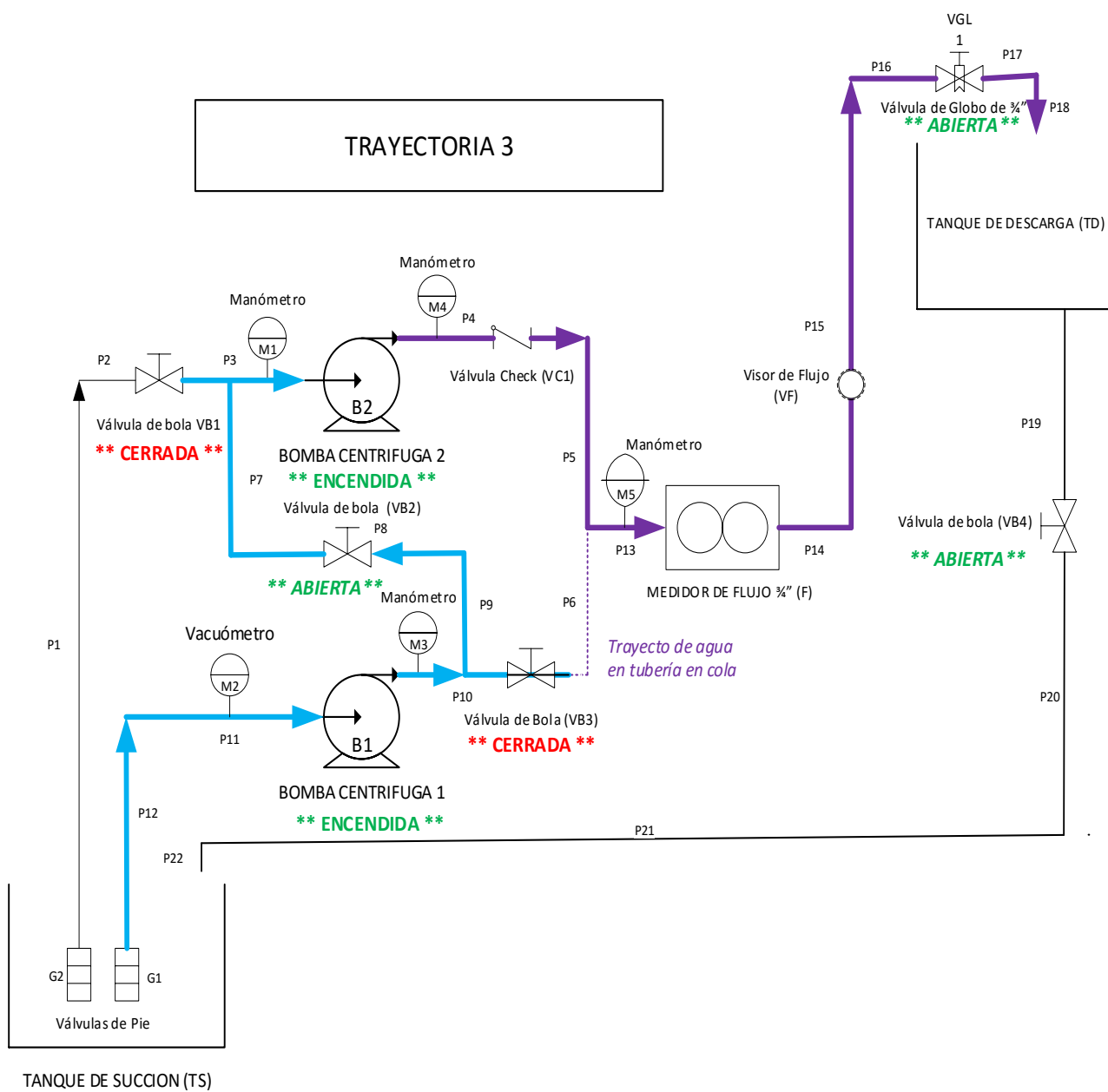


Fig. 37 Funcionamiento de la trayectoria 3 bombas en serie

PROCEDIMIENTO PARA EL FUNCIONAMIENTO INICIAL PARA EL BANCO DIDÁCTICO DE BOMBAS CENTRIFUGAS.

TRAYECTORIA 3 EN SISTEMA EN SERIE

Flujo de Trayectoria en color celeste, azul y morado

INDICACIONES GENERALES:

1. Verificar el estado de las válvulas de bola (VB1) que estén totalmente “CERRADA”
2. Verificar el estado de las válvulas de bola (VB2) que estén totalmente “ABIERTA”
3. Verificar el estado de las válvulas de bola (VB3) que estén totalmente “CERRADA”
4. Brindarle abertura total a la válvula de globo de $\frac{3}{4}$ ” (VGL1) (En el transcurso de las pruebas, esta válvula se le puede ir colocando según, el giro de apertura que se va a ir configurando $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1, 1 $\frac{1}{4}$, 1 $\frac{1}{2}$, 1 $\frac{3}{4}$, 2, 2 $\frac{1}{4}$ de vueltas de la válvula).
5. Colocar la válvula de bola (VB4) totalmente “ABIERTA” para garantizar el retorno del fluido, al tanque de succión sin ningún problema, para captar los datos del sistema, según variación de la válvula de globo (VGL1) que demande la posición de apertura del experimento.
6. Las bombas centrífugas (B1) y (B2) son las que se van a utilizar, para las pruebas respectivas de funcionamiento del banco didáctico. (ENCENDIDAS)
7. Colocar los selectores de las bombas centrífugas (S1) (S2) en opción de funcionamiento “ON”, para ser operados desde el Breakers 110 voltios, tomando así la activación principal del sistema de bombeo.

RESUMEN DEL FUNCIONAMIENTO 3 EN SERIE.

Todo el proceso inicia con la activación de las bombas centrífugas #1 (B1) y #2 (B2), pero antes de todo, se tiene verificar la configuración de trabajo que se va a utilizar, con la trayectoria que se requiere. Con su debida apertura de la válvula de globo de $\frac{3}{4}$ ” (VGL1).

En la operación de este sistema de trayectoria en serie, la configuración preparatoria es de sumamente importante para la exactitud de datos experimentales del equipo de bombeo, la válvula de bola (VB2) es la que apertura el paso del fluido sobre el sistema; pero antes de todo, las válvulas de bola (VB1) y (VB3) tienen que estar totalmente cerradas, para aislar la trayectoria del sistema de tubería de las bombas centrífugas conectadas en serie.

La activación de la Bomba centrífuga (B1) y (B2), se energizan en común, con sus debidos selectores (S1) y (S2), manejados completamente por el Breakers 110 voltios, desde ese punto inicial se analiza que la conducción del fluido desde el punto de la trayectoria de la Bomba centrífuga (B1). Se comporta de la siguiente manera:

Se activa el selector #1, que energiza la bomba centrífuga (B1), la cual succiona el agua que está en el depósito del tanque de succión (TS), que pasa de forma inicial por la válvula de pie (G1) que tiene como función: de mantener la presencia continua de succión dentro de la bomba. Que está posicionada en el tramo de la tubería (P12), lo cual el vacuómetro (M2) capta la presión en vacío del área de succión; de la línea de tubería (P11), que pasa por la Bomba centrífuga (B1).

En el cual hace el trabajo de impulsar el líquido en la tubería, donde está instalado un manómetro (M3) que mide la presión exacta de salida de la bomba centrífuga (B1), que se desplaza por la tubería del tramo

(P10), se conecta de forma directa por el tramo (P9), con el tramo (P8). (Antes del tramo (P10) la válvula de bola (VB3) está totalmente “CERRADA” que impide el paso.

Siguiendo con la trayectoria del tramo de tubería en (P8), válvula de bola (VB2), totalmente “ABIERTA”, que permite el arreglo de esta configuración en SERIE, conecta con la tubería (P7) y (P3) que pasa por el Manómetro (M1), pero antes hace un pequeño recorrido el sistema a la válvula de bola (VB1), que esta “CERRADA” para que pueda impedir el paso a la tubería del tramo (P2) y (P1). Para que se cumpla el arreglo en serie del sistema.

Cuando el Manómetro (M1) mide la presión que es desplazada desde la bomba centrífuga (B1), hacia la succión de la Bomba centrífuga (B2), aumenta la presión y velocidad del fluido; con el doble impulso recorre el tramo de tubería (P4) y donde el flujo conecta al paso por una válvula check (CV1), que hace que el flujo no tenga retorno por la tubería, lo cual este tramo de tubería (P5), que hace cruce por medio del codo a 90 grados, para conectarse al tramo (P13) que esta un manómetro (M5), que mide la presión total de la tubería instalada anteriormente.

Cabe aclarar que antes que el fluido cruce del tramo (P5) al tramo (P13), se va una parte del flujo, de forma recta por la tubería del tramo (P6), que es por diseño del equipo que sigue esa trayectoria; pero se encuentra con la válvula de bola (VB3) que está cerrada, impidiendo el paso del fluido hacia esa trayectoria de tubería.

Parte final del sistema en paralelo.

Cruzando por un codo para seguir la tubería con elevación lineal; donde se encuentra un visor de flujo (VF) de 2” de diámetro, que lleva la tubería (P15) de la línea, allí se une a la tubería (P16) que se encuentra conectada una válvula de globo (VGL1), que tiene la función: de limitar el paso del fluido, por medio de la disminución del área de la tubería, según su apertura de cierre; con esta opción logramos simular las alturas de un sistema de bombeo, en las que puede funcionar la Bomba Centrífuga (B1). Con esta práctica podemos tomar los datos del sistema como, presiones del sistema con los manómetros, variación de flujo, mediciones eléctricas de amperaje y voltaje, flujo másico del agua, caudal y perdidas del sistema.

Luego casi en el área final de la tubería (P17), toma el desvío por el codo de descarga por la tubería (P18), que lleva la caída a depositar el flujo de caudal del sistema al tanque de descarga (TD). El retorno del fluido al sistema, lo hace por la tubería de 2” de diámetro de PVC (P19), en la cual la válvula de bola (VB4) tiene que estar “Abierta totalmente” para que siga por la tubería (P20) y se desplaza en su cruce a la línea de la tubería (P21), que desemboca por la tubería (P22) al tanque de succión (TS) y así se garantiza que el sistema tenga los niveles óptimos del fluido para el caudal que se le demande en las pruebas de laboratorio.

MEDICIÓN DE CAUDAL DE FORMA VOLUMÉTRICA EN EL SISTEMA.

1. Encender el banco de bombas centrífugas de forma correcta.
2. Parametrizar el equipo según la trayectoria a utilizar.
3. Colocar la válvula de globo (VLG1) en la apertura a utilizar. ($\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1, $1\frac{1}{4}$, $1\frac{1}{2}$, $1\frac{3}{4}$, 2, $2\frac{1}{4}$ de vueltas de la válvula).
4. Determinar que Volumen se va a utilizar según graduación del tanque de descarga (TD).
5. Apagar el sistema antes de la medición de caudal para tener en cero el nivel de volumen del tanque.
6. Cerrar la Válvula de bola (VB4).

7. Tener listo el cronometro para determinar el tiempo de llenado del fluido en el tanque, con el volumen preestablecido.
8. Encender el sistema para iniciar el proceso de medición del caudal.
9. Anotarlos datos respectivos, cuando el nivel de volumen este completado con su respectivo tiempo de llenado.
10. Apagar el equipo.
11. Drenar el sistema con la apertura de la válvula de bola de 2" de diámetro (VB4)
12. Aplicar la formula sobre los datos adquiridos de forma experimental.

MEDICIÓN DE CAUDAL POR MEDIO DEL MEDIDOR DE FLUJO DEL SISTEMA.

1. Encender el banco de bombas centrifugas de forma correcta.
2. Parametrizar el equipo según la trayectoria a utilizar.
3. Colocar la válvula de globo (VLG1) en la apertura a utilizar. ($\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1, 1 $\frac{1}{4}$, 1 $\frac{1}{2}$, 1 $\frac{3}{4}$, 2, 2 $\frac{1}{4}$ de vueltas de la válvula).
4. Determinar la lectura del medidor de flujo (F) a utilizar.
5. Determinar que Volumen se va a utilizar según graduación del tanque de descarga (TD), con el fin de tener una guía de comparación del sistema de bombeo.
6. Apagar el sistema antes de la medición de caudal para tener en cero el nivel de flujo másico en el sistema de tuberías.
7. Cerrar la Válvula de bola (VB4).
8. Tener listo el cronometro para determinar el tiempo de llenado del fluido en el tanque, con el volumen preestablecido y comparar la medición de la lectura en el medidor de flujo como señal del paso del fluido. Tomando en pauta un inicio y fin de la prueba.
9. Encender el sistema para iniciar el proceso de medición del caudal.
10. Anotarlos datos respectivos, cuando el nivel de volumen este completado con su respectivo tiempo de llenado.
11. Apagar el equipo.
12. Drenar el sistema con la apertura de la válvula de bola de 2" de diámetro (VB4)
13. Aplicar la formula sobre los datos adquiridos de forma experimental.

5.3 ANÁLISIS DE INSTALACIÓN DE BOMBAS EN PARALELO

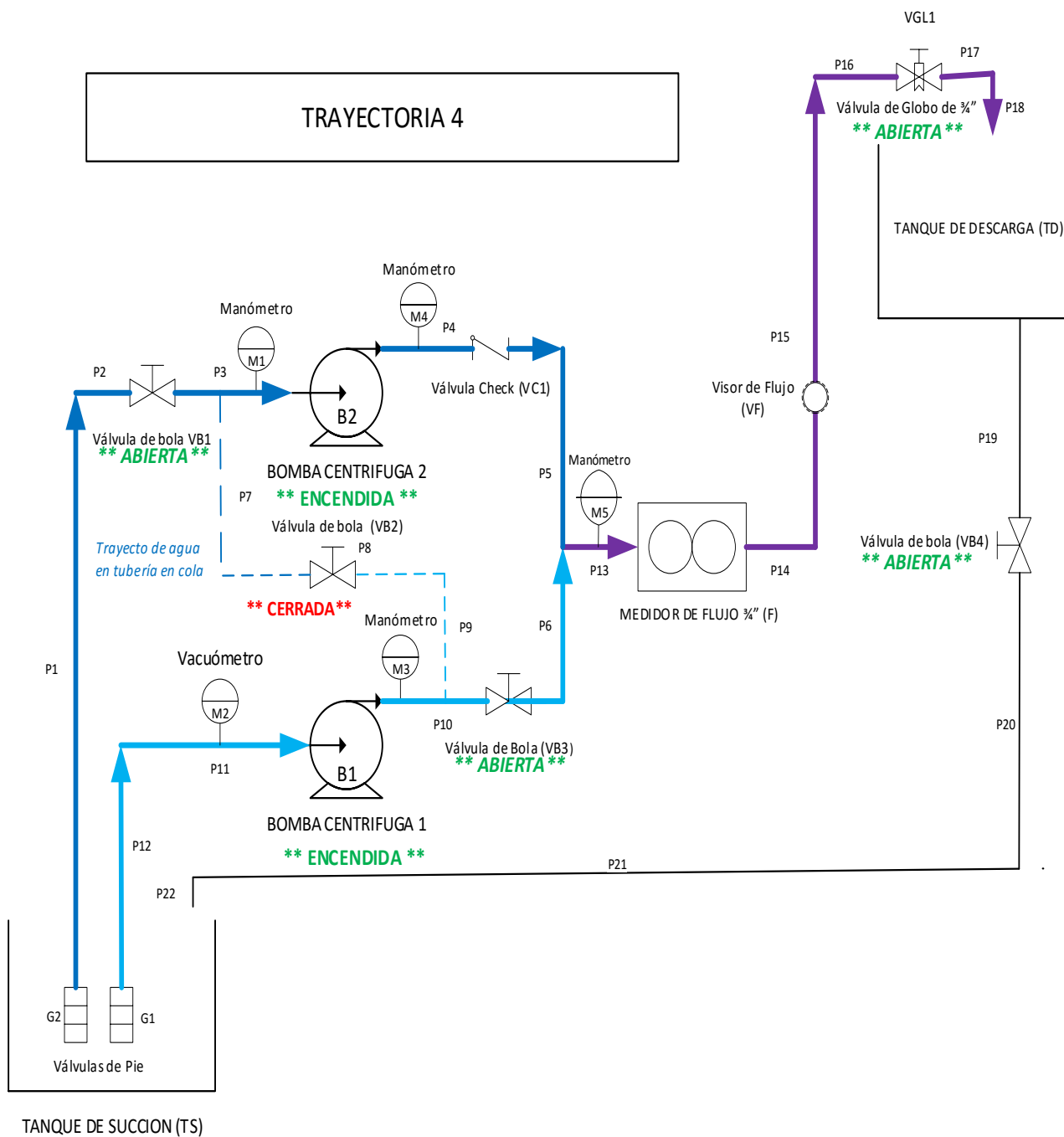


Fig. 38 Funcionamiento de la trayectoria 4 bombas en paralelo.

PROCEDIMIENTO PARA EL FUNCIONAMIENTO INICIAL PARA EL BANCO DIDÁCTICO DE BOMBAS CENTRIFUGAS.

TRAYECTORIA 4 EN SISTEMA PARALELO

(Flujo de Trayectoria en color celeste, azul y morado)

INDICACIONES GENERALES:

1. Verificar el estado de las válvulas de bola (VB1) que estén totalmente “ABIERTA”
2. Verificar el estado de las válvulas de bola (VB2) que estén totalmente “CERRADA”
3. Verificar el estado de las válvulas de bola (VB3) que estén totalmente “ABIERTA”
4. Brindarle abertura total a la válvula de globo de $\frac{3}{4}$ ” (VGL1) (En el transcurso de las pruebas, esta válvula se le puede ir colocando según, el giro de apertura que se va a ir configurando $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1, 1 $\frac{1}{4}$, 1 $\frac{1}{2}$, 1 $\frac{3}{4}$, 2, 2 $\frac{1}{4}$ de vueltas de la válvula).
5. La válvula de bola (VB3), tiene que estar totalmente cerrada. (Esta válvula es la que permite el paso de forma lineal del flujo de agua, que impulsa la bomba centrífuga #1).
6. Colocar la válvula de bola (VB4) totalmente “ABIERTA” para garantizar el retorno del fluido, al tanque de succión sin ningún problema, para captar los datos del sistema, según variación de la válvula de globo (VGL1) que demande la posición de apertura del experimento.
7. Las bombas centrífugas (B1) y (B2) son las que se van a utilizar, para las pruebas respectivas de funcionamiento del banco didáctico.
8. Colocar los selectores de las bombas centrífugas (S1) (S2) en opción de funcionamiento “ON”, para ser operados desde el Breakers 110 voltios, tomando así la activación principal del sistema de bombeo.

RESUMEN DEL FUNCIONAMIENTO DE TRAYECTORIA 4 EN PARALELO.

Todo el proceso inicia con la activación de las bombas centrífugas #1 (B1) y #2 (B2), pero antes de todo, se tiene verificar la configuración de trabajo que se va a utilizar, con la trayectoria que se requiere. Con su debida apertura de la válvula de globo de $\frac{3}{4}$ ” (VGL1).

Con la Activación en simultaneo de las bombas centrífugas (B1) y (B2), se comportan teóricamente similar, pero el trayecto de trabajo de impulsión del flujo de agua; son diferentes, por lo tanto, el comportamiento de trabajo cambia; Según la configuración #1 y #2 del sistema de trayectoria de recorrido del fluido, lo cual en la unión de este sistema para que las bombas, estén bien configuradas. Hay una conexión “CERRADA” que lo hace la válvula de bola (VB2), para que el sistema sea optimo en su funcionamiento, lo que sí cabe aclarar que en esta unión hay un retorno a la fuerza por cada trayectoria. (Visto en los tramos de tubería (P9) y (P7) que conectan a la tubería (P8)).

Se analizan las dos trayectorias anteriores, para que se pueda dar un buen sentido a la conexión en paralelo del fluido, que recorre la tubería principal de cada salida de las bombas y antes de poner en funcionamiento este arreglo de las bombas. Se requiere haber realizado las dos pruebas anteriores de la trayectoria #1 y #2 del sistema.

Teniendo en cuenta las dos trayectorias anteriores de los dos sistemas, en los tramos de tubería (P5) y (P6) que cruzan a la línea de tubería (P13) y se encuentran el Manómetro Principal (M5) de medición total del sistema en paralelo. Lo cual hay un aumento de presión en todos los puntos y sus variantes, que el medidor de flujo (F) censa y comprueba los datos experimentales con el factor tiempo, según su flujo másico que pasa por la tubería (P14).

Parte final del sistema en paralelo.

Cruzando por un codo para seguir la tubería con elevación lineal; donde se encuentra un visor de flujo (VF) de 2" de diámetro, que lleva la tubería (P15) de la línea, allí se une a la tubería (P16) que se encuentra conectada una válvula de globo (VGL1), que tiene la función: de limitar el paso del fluido, por medio de la disminución del área de la tubería, según su apertura de cierre; con esta opción logramos simular las alturas de un sistema de bombeo, en las que puede funcionar la Bomba Centrífuga (B1). Con esta práctica podemos tomar los datos del sistema como, presiones del sistema con los manómetros, variación de flujo, mediciones eléctricas de amperaje y voltaje, flujo másico del agua, caudal y pérdidas del sistema.

Luego casi en el área final de la tubería (P17), toma el desvío por el codo de descarga por la tubería (P18), que lleva la caída a depositar el flujo de caudal del sistema al tanque de descarga (TD). El retorno del fluido al sistema, lo hace por la tubería de 2" de diámetro de PVC (P19), en la cual la válvula de bola (VB4) tiene que estar "Abierta totalmente" para que siga por la tubería (P20) y se desplaza en su cruce a la línea de la tubería (P21), que desemboca por la tubería (P22) al tanque de succión (TS) y así se garantiza que el sistema tenga los niveles óptimos del fluido para el caudal que se le demande en las pruebas de laboratorio.

TRAMO DE TRAYECTORIA #1

El sistema comienza a trabajar mediante la activación del interruptor #1, que se energiza con 110 v del suministro de Energía eléctrica por medio de un Breaker de 20 amperios, lo cual la Bomba Centrífuga (B1) #1 está lista para trabajar en el desplazamiento del fluido.

Se activa el selector #1, que energiza la bomba centrífuga (B1), la cual succiona el agua que está en el depósito del tanque de succión (TS), que pasa de forma inicial por la válvula de pie (G1) que tiene como función: de mantener la presencia continua de succión dentro de la bomba. Que está posicionada en el tramo de la tubería (P12), lo cual el vacuómetro (M2) capta la presión en vacío del área de succión; de la línea de tubería (P11), que pasa por la Bomba centrífuga (B1).

En el cual hace el trabajo de impulsar el líquido en la tubería, donde está instalado un manómetro (M3) que mide la presión exacta de salida de la bomba centrífuga (B1), que se desplaza por la tubería del tramo (P10) y que también pasa por la válvula de bola (VB3) en su trayectoria de paso, por la línea (P6), que hace un cruce por la línea (P13), pero antes se comporta de forma lineal por (P5), que hace un retorno a la fuerza opuesta que le transmite la válvula check (VC1), en esa parte el fluido pasa por un antirretorno, que hace una turbulencia interna en la línea guía de la tubería del sistema.

Volviendo a la línea de paso (P13) en ese punto el Manómetro llamado: Medidor de Presión Total (M5), capta la presión total del sistema y después pasa por el medidor de Flujo (F) que tiene como función principal: medir el caudal o gasto volumétrico del fluido, que está pasando por la trayectoria de la tubería (P14).

TRAMO DE TRAYECTORIA #2

El sistema comienza a trabajar mediante la activación del interruptor #2, que se energiza con 110 v del suministro de Energía eléctrica por medio de un Breaker de 20 amperios, lo cual la Bomba Centrífuga (B2) #2 está lista para trabajar en el desplazamiento del fluido.

Se activa el selector #2, que energiza la bomba centrífuga (B2), la cual succiona el agua que está en el depósito del tanque de succión (TS), que pasa de forma inicial por la válvula de pie (G2) que tiene como función: de mantener la presencia continua de succión dentro de la bomba. Que está posicionada en el tramo de la tubería (P1), lo cual conecta por medio de un codo a 90 grados, con el tramo de tubería (P2),

que pasa por la válvula de bola (VB1), que tiene que estar totalmente “ABIERTA” y que lleva el tramo de tubería (P3), que conecta de forma directa al manómetro (M1).

Pero antes de esa línea de Succión, hay un cruce planificado por el diseño del Banco de bombas centrifugas, para poder configurar las demás trayectorias de trabajo de flujo del líquido del sistema.

En esta conexión de la Bomba centrifuga (B2), hay una unión directa según conexión a la tubería (P7) y (P8), donde se conectan a la válvula de bola (VB2); que tiene que estar “Cerrada”, para evitar la conexión directa a la tubería (P9), que conecta a la tubería de salida de la descarga de la Bomba centrifuga (B1).

El Fluido sigue por el tramo de tubería (P4), impulsado por la Bomba centrifuga (B2), donde el flujo conecta al paso por una válvula check (CV1), que hace que el flujo no tenga retorno por la tubería, lo cual este tramo de tubería (P5), que hace cruce por medio del codo a 90 grados, para conectarse al tramo (P13) que esta un manómetro (M5), que mide la presión total de la tubería instalada anteriormente.

Cabe aclarar que antes que el fluido cruce del tramo (P5) al tramo (P13), se va una parte del flujo, de forma recta por la tubería del tramo (P6), que es por diseño del equipo que sigue esa trayectoria; pero se encuentra con la válvula de bola (VB3) que está cerrada, impidiendo el paso del fluido hacia esa trayectoria de tubería.

MEDICIÓN DE CAUDAL DE FORMA VOLUMÉTRICA EN EL SISTEMA.

1. Encender el banco de bombas centrifugas de forma correcta.
2. Parametrizar el equipo según la trayectoria a utilizar.
3. Colocar la válvula de globo (VLG1) en la apertura a utilizar. ($\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1, $1\frac{1}{4}$, $1\frac{1}{2}$, $1\frac{3}{4}$, 2, 2 $\frac{1}{4}$ de vueltas de la válvula).
4. Determinar que Volumen se va a utilizar según graduación del tanque de descarga (TD).
5. Apagar el sistema antes de la medición de caudal para tener en cero el nivel de volumen del tanque.
6. Cerrar la Válvula de bola (VB4).
7. Tener listo el cronometro para determinar el tiempo de llenado del fluido en el tanque, con el volumen preestablecido.
8. Encender el sistema para iniciar el proceso de medición del caudal.
9. Anotarlos datos respectivos, cuando el nivel de volumen este completado con su respectivo tiempo de llenado.
10. Apagar el equipo.
11. Drenar el sistema con la apertura de la válvula de bola de 2” de diámetro (VB4)
12. Aplicar la formula sobre los datos adquiridos de forma experimental.

MEDICIÓN DE CAUDAL POR MEDIO DEL MEDIDOR DE FLUJO DEL SISTEMA.

1. Encender el banco de bombas centrifugas de forma correcta.
2. Parametrizar el equipo según la trayectoria a utilizar.
3. Colocar la válvula de globo (VLG1) en la apertura a utilizar. ($\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1, $1\frac{1}{4}$, $1\frac{1}{2}$, $1\frac{3}{4}$, 2, 2 $\frac{1}{4}$ de vueltas de la válvula).
4. Determinar la lectura del medidor de flujo (F) a utilizar.
5. Determinar que Volumen se va a utilizar según graduación del tanque de descarga (TD), con el fin de tener una guía de comparación del sistema de bombeo.

6. Apagar el sistema antes de la medición de caudal para tener en cero el nivel de flujo másico en el sistema de tuberías.
7. Cerrar la Válvula de bola (VB4).
8. Tener listo el cronometro para determinar el tiempo de llenado del fluido en el tanque, con el volumen preestablecido y comparar la medición de la lectura en el medidor de flujo como señal del paso del fluido. Tomando en pauta un inicio y fin de la prueba.
9. Encender el sistema para iniciar el proceso de medición del caudal.
10. Anotarlos datos respectivos, cuando el nivel de volumen este completado con su respectivo tiempo de llenado.
11. Apagar el equipo.
12. Drenar el sistema con la apertura de la válvula de bola de 2" de diámetro (VB4)
13. Aplicar la formula sobre los datos adquiridos de forma experimental.

5.4 GUÍAS DE LABORATORIO

5.4.1 RECONOCIMIENTO DE EQUIPO HIDRAULICO



UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA

DEPTO. DE INGENIERÍA MECÁNICA

LABORATORIO No 1:

RECONOCIMIENTO DE INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO.

1.- OBJETIVO:

El alumno será capaz de identificar las partes principales del equipo de práctica y determinará las curvas de operación de las bombas en el sistema de bombeo.

2.- EQUIPO UTILIZADO:

- Banco hidráulico.
- Libro de Apuntes.
- Contador comercial de gasto de agua.
- Cronómetro
- Cinta métrica
- Pie de Rey.

3.- TEORÍA:

El sistema de bombeo tiene como objeto elevar la presión del fluido térmico para vencer la resistencia que opondrá el circuito a su circulación. Las presiones de trabajo deben ser tales que se garantice en todo momento que el fluido permanece en estado líquido y que no hay vaporización.

Una bomba de agua es una máquina hidráulica cuyo funcionamiento se basa en el Principio de Bernoulli, según el cual, en un fluido ideal sin viscosidad, ni rozamiento, e incompresible que se encuentra en circulación por un conducto cerrado, su energía permanece constante en cada punto de su recorrido.

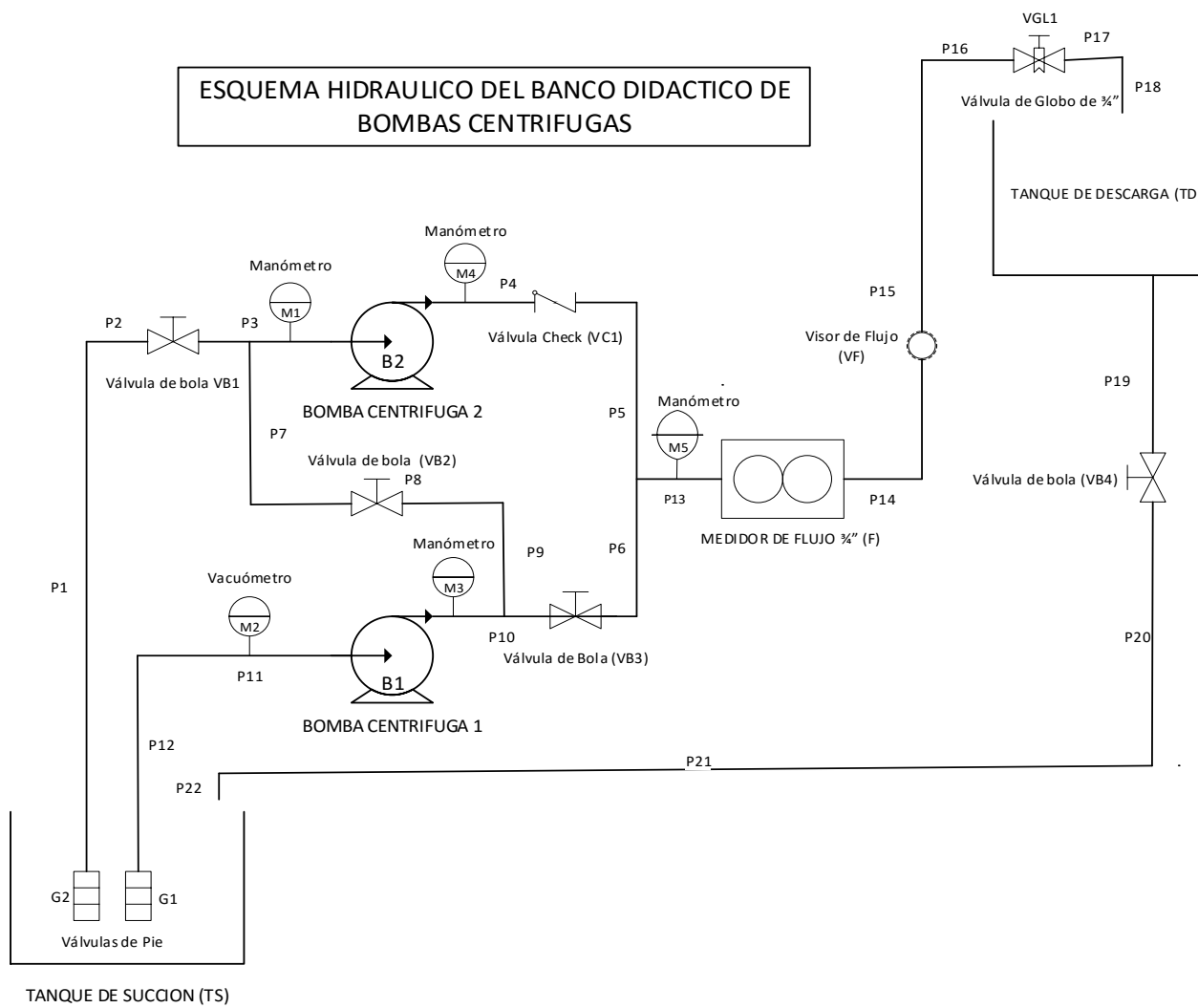
Un equipo de bombeo consiste en dos elementos, una bomba y su accionador el cual puede ser un motor eléctrico, motor de combustión interna, etc. El accionador entrega energía mecánica y la bomba la convierte en energía cinética que un fluido adquiere en forma de presión, de posición y de velocidad. Como un ejemplo de esta adición de energía al fluido mencionaremos el uso de algunos equipos de bombeo en los servicios específicos siguientes: Un equipo de bombeo de pozo profundo se utiliza para cambiar la posición del agua que se encuentra en el subsuelo para que salga a la superficie. Un equipo de bombeo de transporte se utiliza para adicionar energía de presión al fluido, que se utiliza para poder vencer las pérdidas de fricción que se tienen en la conducción, esto se da en donde las elevaciones, así como los diámetros de tubería y las velocidades del fluido son iguales. En la mayoría de las aplicaciones de los equipos de bombeo en que se trabajan con presiones y elevaciones iguales, generalmente estos adicionan energía de velocidad.

4.- VERIFICAR EL BANCO DE BOMBAS CENTRIFUGAS

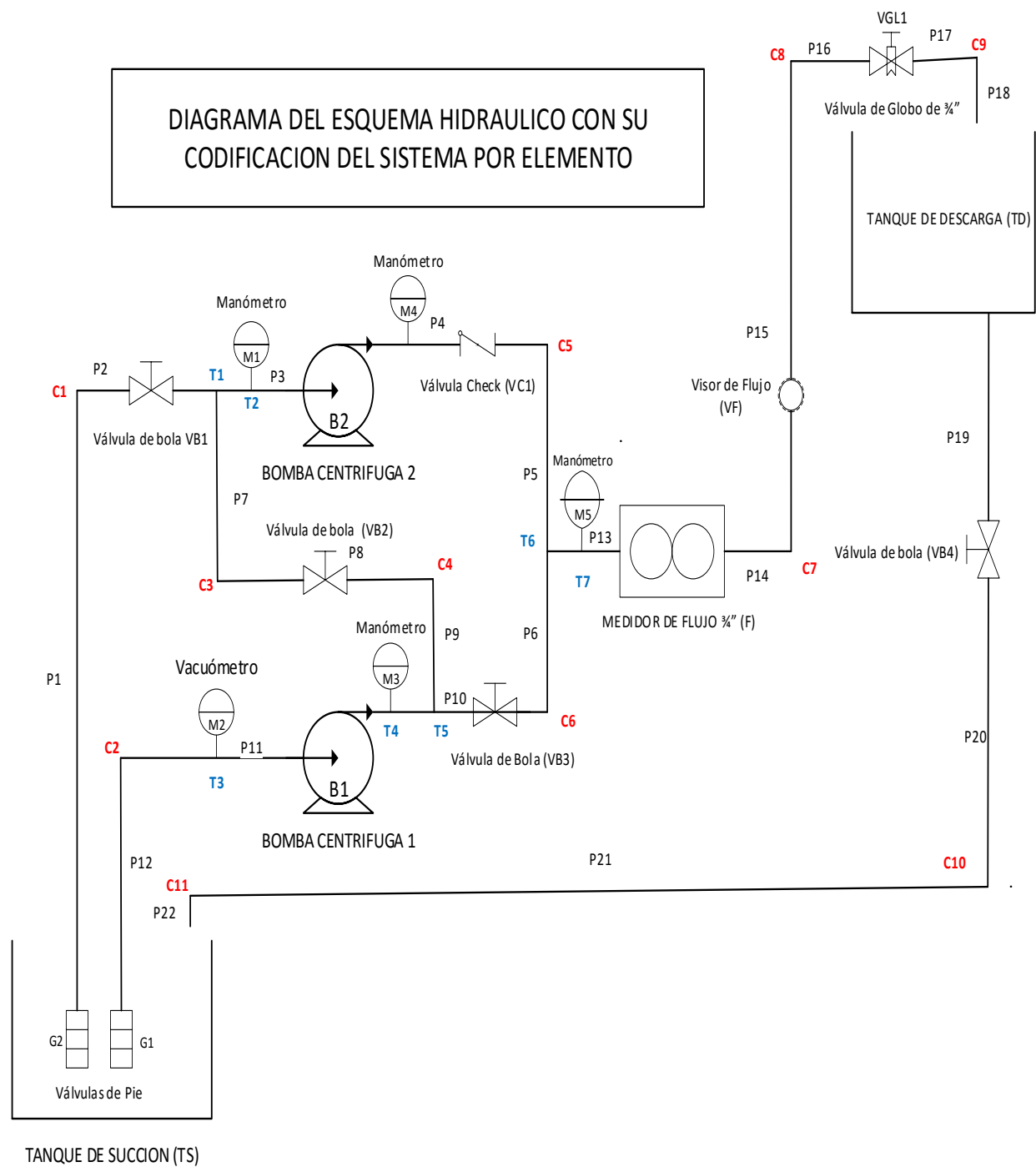
PROCEDIMIENTO:

1. Verificar el estado de las válvulas de bola (VB1 y VB2) que estén totalmente “CERRADAS”
2. Brindarle abertura total a la válvula de globo de $\frac{3}{4}$ ” (VGL1) (En el transcurso de las pruebas, esta válvula se le puede ir colocando según, el giro de apertura que se va a ir configurando $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1, $1\frac{1}{4}$, $1\frac{1}{2}$, $1\frac{3}{4}$, 2, $2\frac{1}{4}$ de vueltas de la válvula).
3. La válvula de bola (VB3), tiene que estar totalmente abierta. (Esta válvula es la que permite el paso de forma lineal del flujo de agua, que impulsa la bomba centrífuga #1).
4. Colocar la válvula de bola (VB4) totalmente “ABIERTA” para garantizar el retorno del fluido, al tanque de succión sin ningún problema, para captar los datos del sistema, según variación de la válvula de globo (VGL1) que demande la posición de apertura del experimento.
5. La bomba centrífuga (B1) a utilizar es la #1, esta es la que se tiene que manejar para las pruebas respectivas de funcionamiento del banco didáctico.
6. La bomba centrífuga (B2) #2, totalmente apagada.
7. Verificar las tres partes en que se puede desarmar el banco de bombas, parte 1 de sección, parte 2 de salida de la bomba en descarga y la parte 3 que sigue en la trayectoria al tanque de descarga.
8. Medir las dimensiones del banco de bombas centrífugas y sus trayectorias.
9. Hacer una contabilización de los equipos que constan el banco hidráulico, basado en el esquema de conexión. (figura 1)
10. Describir cómo funciona cada uno de los elementos del equipo de bombas centrífugas.

5.- ESQUEMA DE LA CONEXIÓN:



GL1 Fig. 1 Banco didáctico de bombas centrifugas



GL1 Fig. 2 Codificación del sistema por elemento

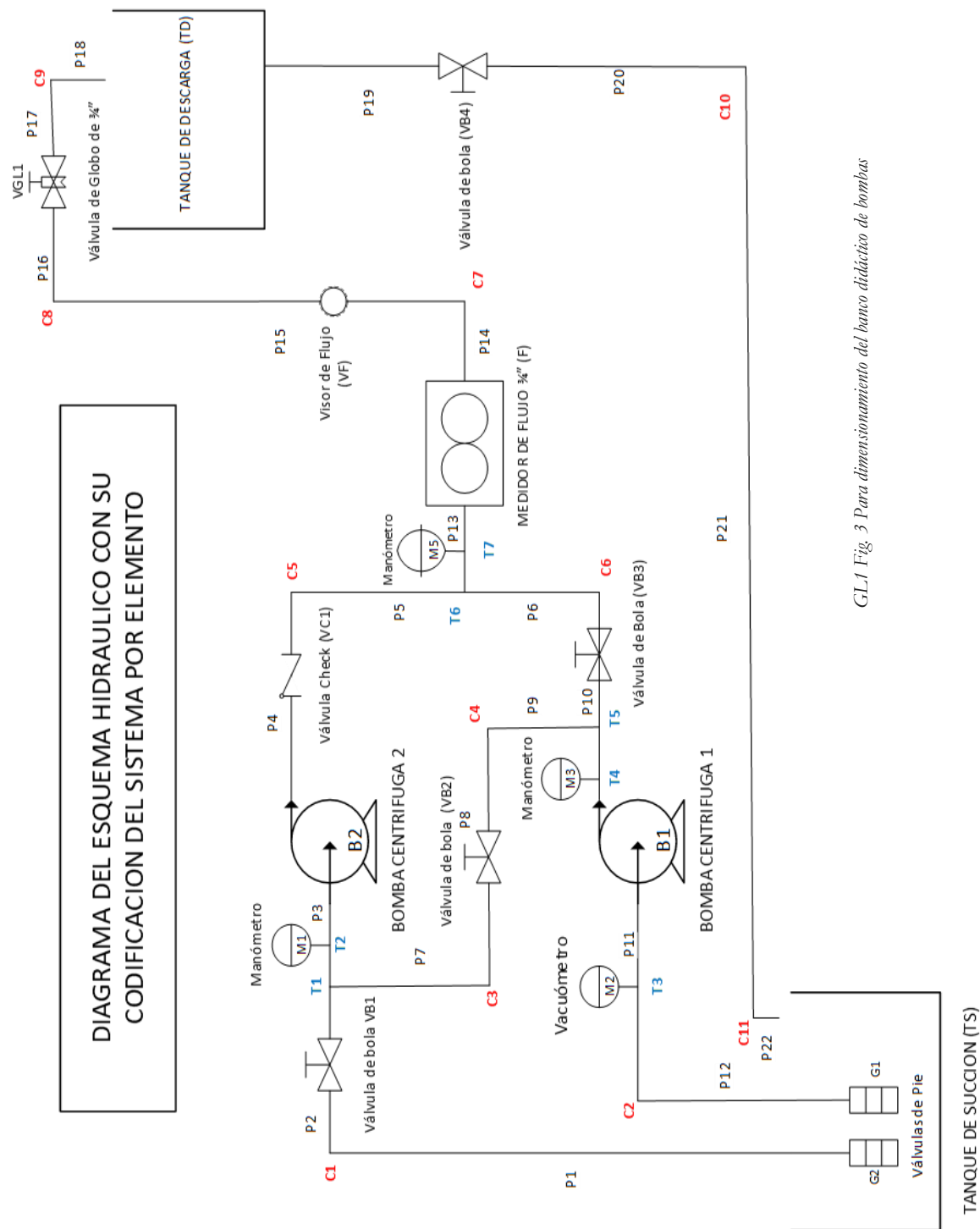
6.- DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL BANCO HIDRÁULICO.

CÓDIGO	ESQUEMA	FUNCIÓN

CÓDIGO	ESQUEMA	FUNCIÓN

ESQUEMA PARA COLOCAR LAS MEDIDAS DEL BANCO DE BOMBAS CENTRIF

AS.



GL1 Fig. 3 Para dimensionamiento del banco didáctico de bombas

5.4.2 PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA



UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA

DEPTO. DE INGENIERÍA MECÁNICA

LABORATORIO No 2:

PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBAS CENTRIFUGAS

1.- OBJETIVO:

El alumno será capaz de operar el equipo de prácticas del sistema de bombas centrífugas y determinará las curvas de operación del sistema.

2.- EQUIPO UTILIZADO:

- Banco hidráulico.
- Libro de Apuntes.
- Contador comercial de gasto de agua.
- Cronómetro.
- Cinta métrica.
- Pie de Rey.
- Llaves Stillson.
- Cinta Teflón. (Solida o Liquida)

3.- TEORÍA:

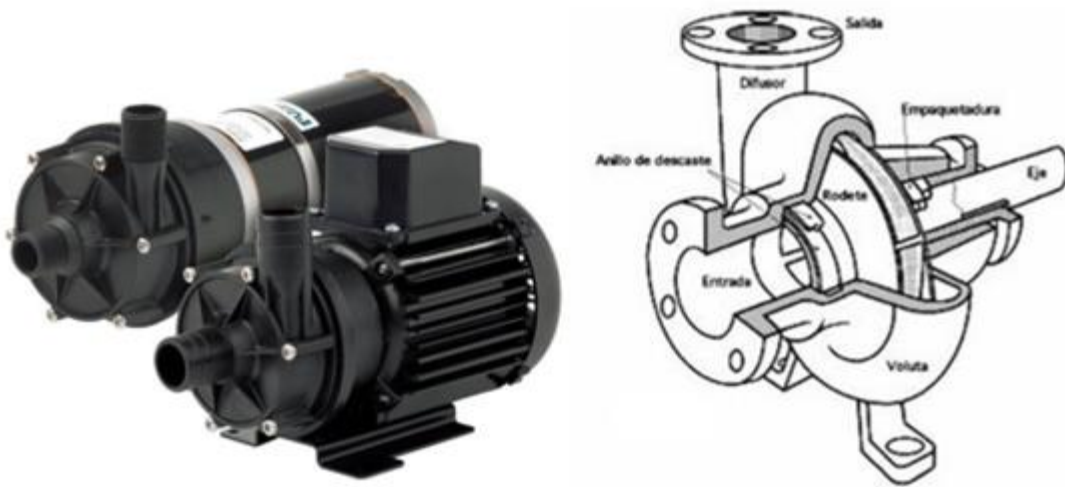
En todos los edificios y plantas industriales de diferentes sectores y actividades nos encontramos casi siempre con circuitos e instalaciones de fluidos. Dichos circuitos tienen un considerable consumo eléctrico, lo que se traduce en costes energéticos y su correspondiente contaminación. La importancia que reciben dichas instalaciones debería ser la misma que cualquier otra y, por lo tanto, hemos decidido encauzar este episodio pendiente de la “eficiencia energética” y darle remedio de la mejor manera posible, con análisis exhaustivos, estudios de funcionamiento particulares en instalaciones, ideando propuestas de mejora e incorporando desarrollos propios hasta ahora no tan extendidos que garantizan una mejora de la ansiada eficiencia energética en los circuitos hidráulicos.

La disminución del consumo energético en estas instalaciones se considera que puede realizarse mediante dos aspectos:

- a) Por la disminución de consumos de agua como consecuencia de un mejor conocimiento de las necesidades de la instalación y los procesos.
- b) Por la correcta adecuación del sistema de recirculación de agua, y por la reestructuración, rediseño o modernización del sistema de bombeo.

Analicemos entonces, ¿cuál es la problemática que se suele dar en este tipo de instalaciones?

Lo más habitual en una instalación hidráulica o de cualquier otro fluido es tener el sistema de bombeo trabajando en un punto de operación inadecuado, trabajando de manera ineficiente. En general se utilizan válvulas para regular el caudal o, en el mejor de los casos, variadores de frecuencia.

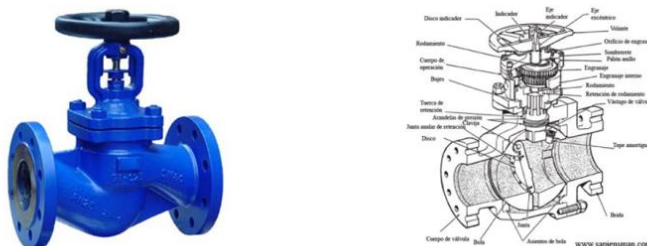


GL2 Fig. 1 Bombas centrífugas

¿Qué es lo primero que necesitamos conocer de una instalación?

Nuestro punto de partida será el de conocer el punto de operación actual de la bomba analizada y de la instalación hidráulica, así como el método que se utiliza actualmente para regular el caudal. Mediante el uso de un manómetro/barómetro, situado antes y después de la bomba, y un caudalímetro podríamos obtener la curva de esta.

El método más habitual de regulación de caudal se realiza mediante la manipulación de válvulas en la instalación. Este método conlleva una grave penalización, ya que cuando cerramos una válvula estamos provocando una acentuada pérdida de presión, que se traduce en pérdidas energéticas.



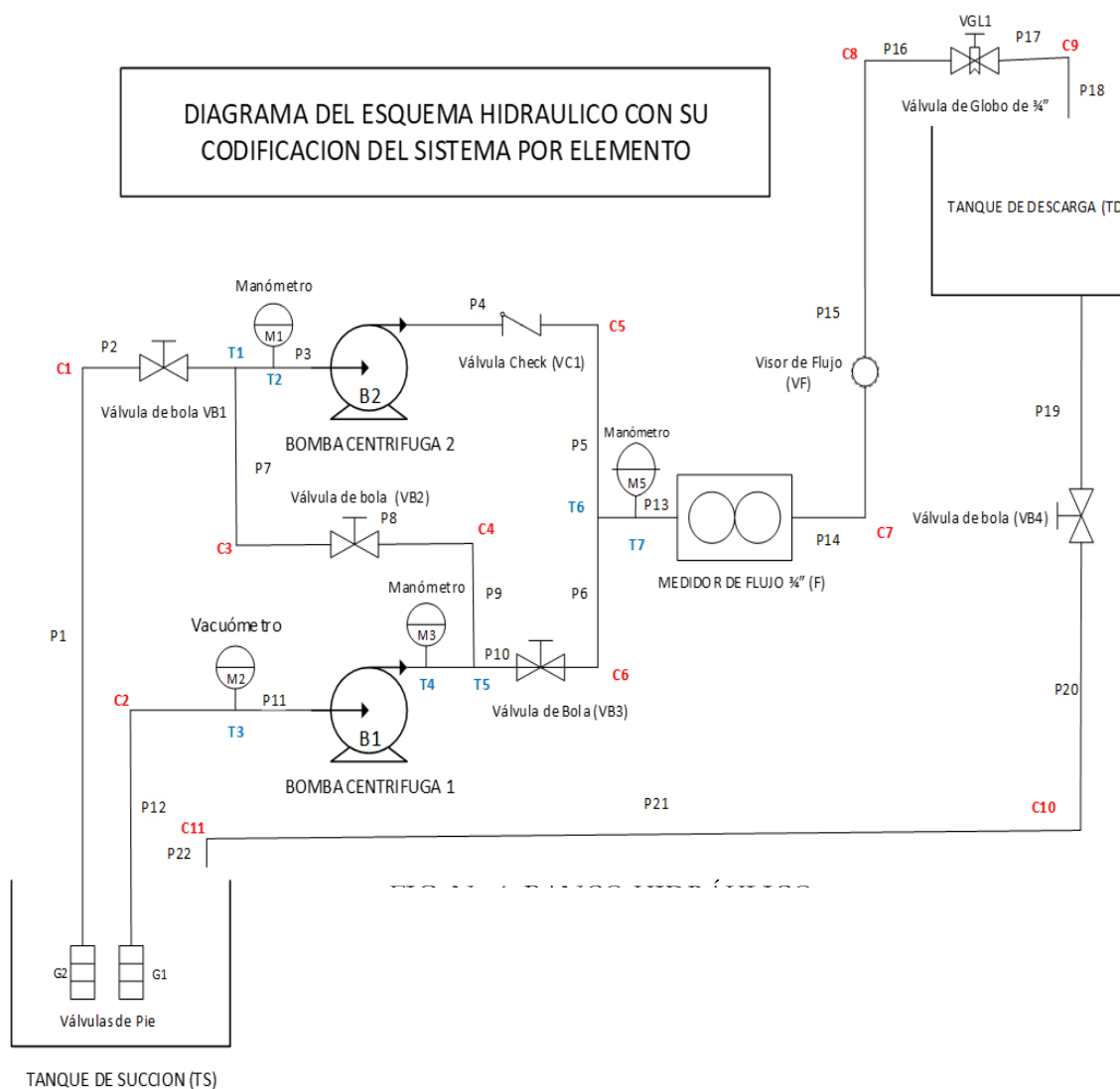
Para mejorar la eficiencia respecto al punto anterior, normalmente se procede a la colocación de variadores de frecuencia en el sistema de bombeo. Un variador de frecuencia es un dispositivo electrónico que modifica la velocidad del motor asíncrono que mueve los álabes de la bomba con la finalidad de adecuar la velocidad a la necesidad mayor o menor de caudal. Cabe la posibilidad de variar la frecuencia manualmente para ajustar el punto de operación deseado, o bien, implementando un autómatas que, mediante realimentación en lazo cerrado, varíe la velocidad en función de los requerimientos. La primera posibilidad es eficaz en instalaciones con un caudal fijo, la segunda sería la óptima en instalaciones con caudal variable.



La utilización de variadores de frecuencia es un método muy eficiente ya que no regulamos a base de pérdidas, sino a partir de la potencia entregada al motor de la bomba. No obstante, seguimos trabajando en un rango de rendimientos similares al punto de operación inicial. Dicho punto de operación habitualmente se encuentra desplazado respecto al de rendimiento óptimo.

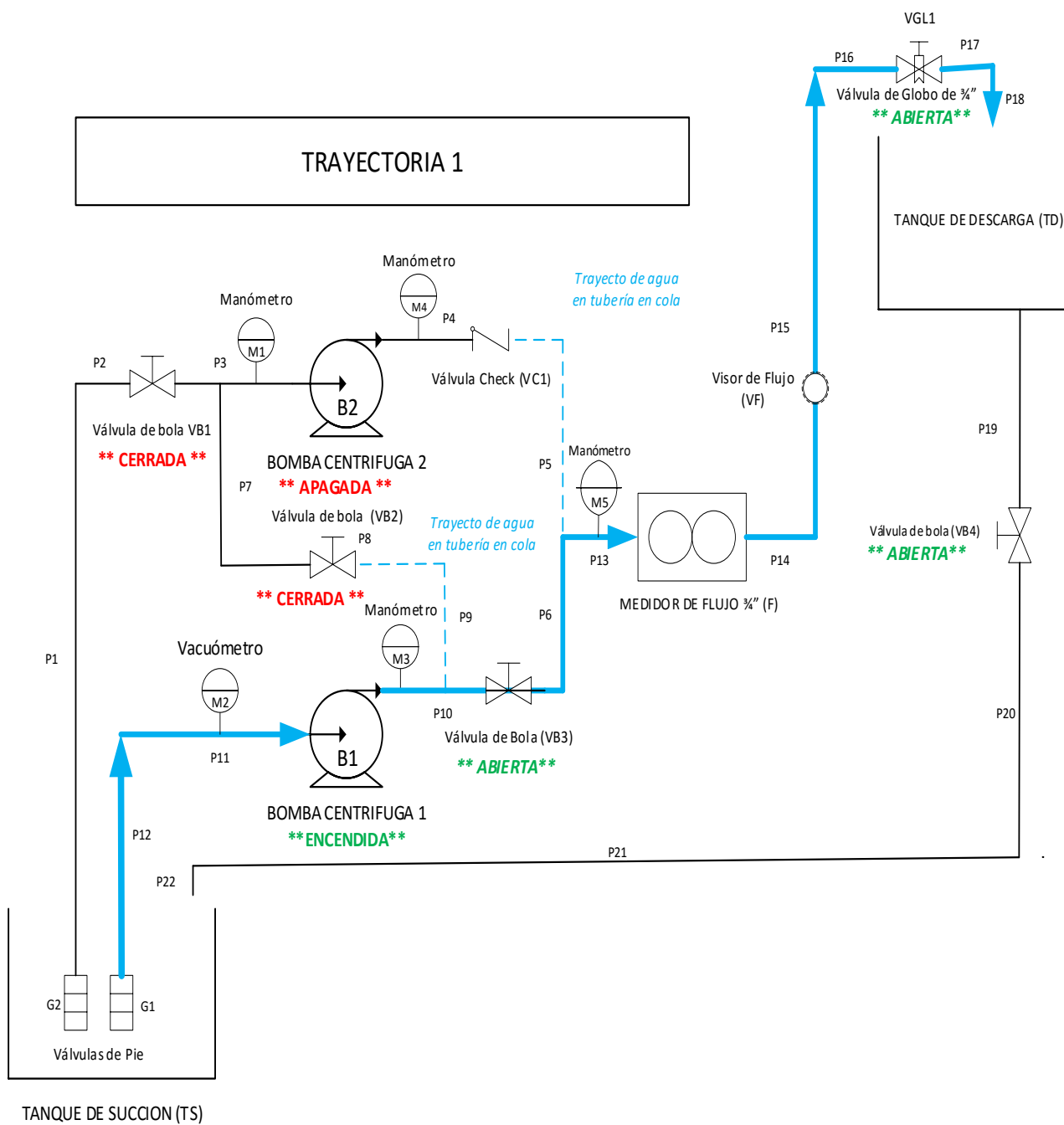
Esta desviación puede tener diversos motivos, como el desgaste de la bomba, la modificación de la instalación, la adición de nuevos puntos de consumo, etc.

5.- ESQUEMA DE LA CONEXIÓN:



GL2 Fig. 4 Diagrama hidráulico codificado por elemento.

6. CONFIGURACIONES DEL SISTEMA DE BOMBEO EN EL EQUIPO DE TRABAJO.



GL2 Fig. 5 Trayectoria 1

PROCEDIMIENTO PARA EL FUNCIONAMIENTO INICIAL PARA EL BANCO DIDÁCTICO DE BOMBAS CENTRIFUGAS.

TRAYECTORIA 1

(Flujo de Trayectoria en color celeste)

INDICACIONES GENERALES:

1. Verificar el estado de las válvulas de bola (VB1 y VB2) que estén totalmente “CERRADAS”
2. Brindarle abertura total a la válvula de globo de $\frac{3}{4}$ ” (VGL1) (En el transcurso de las pruebas, esta válvula se le puede ir colocando según, el giro de apertura que se va a ir configurando $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1, 1 $\frac{1}{4}$, 1 $\frac{1}{2}$, 1 $\frac{3}{4}$, 2, 2 $\frac{1}{4}$ de vueltas de la válvula).
3. La válvula de bola (VB3), tiene que estar totalmente abierta. (Esta válvula es la que permite el paso de forma lineal del flujo de agua, que impulsa la bomba centrífuga #1).
4. Colocar la válvula de bola (VB4) totalmente “ABIERTA” para garantizar el retorno del fluido, al tanque de succión sin ningún problema, para captar los datos del sistema, según variación de la válvula de globo (VGL1) que demande la posición de apertura del experimento.
5. La bomba centrífuga (B1) a utilizar es la #1, esta es la que se tiene que manejar para las pruebas respectivas de funcionamiento del banco didáctico.
6. La bomba centrífuga (B2) #2, totalmente apagada.

RESUMEN DEL FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO DE LA BOMBA CENTRIFUGA (B1)

Todo el proceso inicia con la activación de la bomba centrífuga #1 (B1), pero antes de todo, se tiene que verificar la configuración de trabajo que se va a utilizar, con la trayectoria que se requiere. Con su debida apertura de la válvula de globo de $\frac{3}{4}$ ” (VGL1).

El sistema comienza a trabajar mediante la activación del interruptor #1, que se energiza con 110 v del suministro de Energía eléctrica por medio de un Breaker de 20 amperios, lo cual la Bomba Centrífuga (B1) #1 está lista para trabajar en el desplazamiento del fluido.

Se activa el selector #1, que energiza la bomba centrífuga (B1), la cual succiona el agua que está en el depósito del tanque de succión (TS), que pasa de forma inicial por la válvula de pie (G1) que tiene como función: de mantener la presencia continua de succión dentro de la bomba. Que está posicionada en el tramo de la tubería (P12), lo cual el vacuómetro (M2) capta la presión en vacío del área de succión; de la línea de tubería (P11), que pasa por la Bomba centrífuga (B1).

En el cual hace el trabajo de impulsar el líquido en la tubería, donde está instalado un manómetro (M3) que mide la presión exacta de salida de la bomba centrífuga (B1), que se desplaza por la tubería del tramo (P10) y que también pasa por la válvula de bola (VB3) en su trayectoria de paso, por la línea (P6), que hace un cruce por la línea (P13), pero antes se comporta de forma lineal por (P5), que hace un retorno a la fuerza opuesta que le transmite la válvula check (VC1), en esa parte el fluido pasa por un antirretorno, que hace una turbulencia interna en la línea guía de la tubería del sistema.

Volviendo a la línea de paso (P13) en ese punto el Manómetro llamado: Medidor de Presión Total (M5), capta la presión total del sistema y después pasa por el medidor de Flujo (F) que tiene como función principal: medir el caudal o gasto volumétrico del fluido, que está pasando por la trayectoria de la tubería (P14).

Cruzando por un codo para seguir la tubería con elevación lineal; donde se encuentra un visor de flujo (VF) de 2" de diámetro, que lleva la tubería (P15) de la línea, allí se une a la tubería (P16) que se encuentra conectada una válvula de globo (VGL1), que tiene la función: de limitar el paso del fluido, por medio de la disminución del área de la tubería, según su apertura de cierre; con esta opción logramos simular las alturas de un sistema de bombeo, en las que puede funcionar la Bomba Centrífuga (B1). Con esta práctica podemos tomar los datos del sistema como, presiones del sistema con los manómetros, variación de flujo, mediciones eléctricas de amperaje y voltaje, flujo másico del agua, caudal y pérdidas del sistema.

Luego casi en el área final de la tubería (P17), toma el desvío por el codo de descarga por la tubería (P18), que lleva la caída a depositar el flujo de caudal del sistema al tanque de descarga (TD). El retorno del fluido al sistema, lo hace por la tubería de 2" de diámetro de PVC (P19), en la cual la válvula de bola (VB4) tiene que estar "Abierta totalmente" para que siga por la tubería (P20) y se desplaza en su cruce a la línea de la tubería (P21), que desemboca por la tubería (P22) al tanque de succión (IS) y así se garantiza que el sistema tenga los niveles óptimos del fluido para el caudal que se le demande en las pruebas de laboratorio.

MEDICIÓN DE CAUDAL DE FORMA VOLUMÉTRICA EN EL SISTEMA.

1. Encender el banco de bombas centrífugas de forma correcta.
2. Parametrizar el equipo según la trayectoria a utilizar.
3. Colocar la válvula de globo (VLG1) en la apertura a utilizar. ($\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1, 1 $\frac{1}{4}$, 1 $\frac{1}{2}$, 1 $\frac{3}{4}$, 2, 2 $\frac{1}{4}$ de vueltas de la válvula).
4. Determinar que Volumen se va a utilizar según graduación del tanque de descarga (TD).

5. Apagar el sistema antes de la medición de caudal para tener en cero el nivel de volumen del tanque.
6. Cerrar la Válvula de bola (VB4).
7. Tener listo el cronometro para determinar el tiempo de llenado del fluido en el tanque, con el volumen preestablecido.
8. Encender el sistema para iniciar el proceso de medición del caudal.
9. Anotarlos datos respectivos, cuando el nivel de volumen este completado con su respectivo tiempo de llenado.
10. Apagar el equipo.
11. Drenar el sistema con la apertura de la válvula de bola de 2" de diámetro (VB4)
12. Aplicar la formula sobre los datos adquiridos de forma experimental.

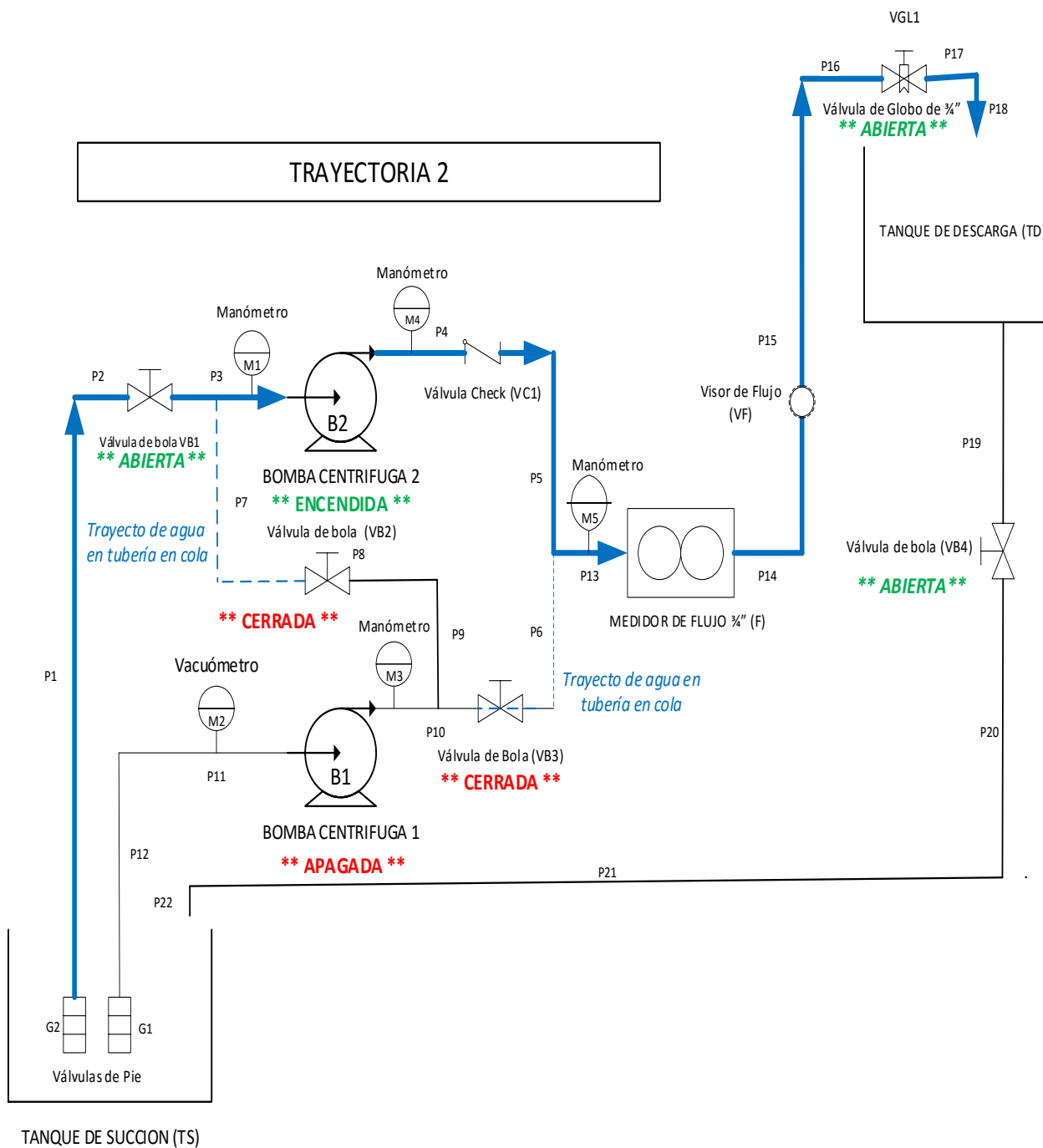
MEDICIÓN DE CAUDAL POR MEDIO DEL MEDIDOR DE FLUJO DEL SISTEMA.

1. Encender el banco de bombas centrifugas de forma correcta.
2. Parametrizar el equipo según la trayectoria a utilizar.
3. Colocar la válvula de globo (VLG1) en la apertura a utilizar. ($\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1, $1\frac{1}{4}$, $1\frac{1}{2}$, $1\frac{3}{4}$, 2, $2\frac{1}{4}$ de vueltas de la válvula).
4. Determinar la lectura del medidor de flujo (F) a utilizar.
5. Determinar que Volumen se va a utilizar según graduación del tanque de descarga (TD), con el fin de tener una guía de comparación del sistema de bombeo.
6. Apagar el sistema antes de la medición de caudal para tener en cero el nivel de flujo másico en el sistema de tuberías.
7. Cerrar la Válvula de bola (VB4).
8. Tener listo el cronometro para determinar el tiempo de llenado del fluido en el tanque, con el volumen preestablecido y comparar la medición de la lectura en el medidor de flujo como señal del paso del fluido. Tomando en pauta un inicio y fin de la prueba.
9. Encender el sistema para iniciar el proceso de medición del caudal.
10. Anotarlos datos respectivos, cuando el nivel de volumen este completado con su respectivo tiempo de llenado.
11. Apagar el equipo.
12. Drenar el sistema con la apertura de la válvula de bola de 2" de diámetro (VB4)
13. Aplicar la formula sobre los datos adquiridos de forma experimental.

CUADRO DE TOMA DE DATOS DE LA CONFIGURACIÓN #1.

APERTURA (VUELTAS)	VACUÓMETRO DE SUCCIÓN (in Hg)	MANÓMETRO (PSI)	MANÓMETRO TOTAL (PSI)	AMPERIOS (A)	VOLTAJE (V)	POTENCIA (watts)	VOLUMEN (V) lt + 635 ml	TIEMPO (S)	CAUDAL (Q) V/T l/s	MEDIDOR DE FLUJO / (0.0001)
¼										
½										
¾										
1										
1 1/4										
1 1/2										
1 3/4										
2										
2 1/4										

CONFIGURACIÓN DE LA TRAYECTORIA 2.



GL2 Fig. 6 Trayectoria 2

PROCEDIMIENTO PARA EL FUNCIONAMIENTO INICIAL PARA EL BANCO DIDÁCTICO DE BOMBAS CENTRIFUGAS.

TRAYECTORIA 2

(Flujo de Trayectoria en color Azul)

INDICACIONES GENERALES:

1. Verificar el estado de las válvulas de bola (VB1) que estén totalmente “ABIERTA”
2. Verificar el estado de las válvulas de bola (VB2) que estén totalmente “CERRADA”
3. Brindarle abertura total a la válvula de globo de $\frac{3}{4}$ ” (VGL1) (En el transcurso de las pruebas, esta válvula se le puede ir colocando según, el giro de apertura que se va a ir configurando $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1, 1 $\frac{1}{4}$, 1 $\frac{1}{2}$, 1 $\frac{3}{4}$, 2, 2 $\frac{1}{4}$ de vueltas de la válvula).
4. La válvula de bola (VB3), tiene que estar totalmente cerrada. (Esta válvula es la que permite el paso de forma lineal del flujo de agua, que impulsa la bomba centrífuga #1).
5. Colocar la válvula de bola (VB4) totalmente “ABIERTA” para garantizar el retorno del fluido, al tanque de succión sin ningún problema, para captar los datos del sistema, según variación de la válvula de globo (VGL1) que demande la posición de apertura del experimento.
6. La bomba centrífuga (B2) a utilizar es la #2, esta es la que se tiene que manejar para las pruebas respectivas de funcionamiento del banco didáctico.
7. La bomba centrífuga (B1) #1, totalmente apagada.

RESUMEN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA TRAYECTORIA 2.

Todo el proceso inicia con la activación de la bomba centrífuga #2 (B2), pero antes de todo, se tiene que verificar la configuración de trabajo que se va a utilizar, con la trayectoria que se requiere. Con su debida apertura de la válvula de globo de $\frac{3}{4}$ ” (VGL1).

El sistema comienza a trabajar mediante la activación del interruptor #2, que se energiza con 110 v del suministro de Energía eléctrica por medio de un Breaker de 20 amperios, lo cual la Bomba Centrífuga (B2) #2 está lista para trabajar en el desplazamiento del fluido.

Se activa el selector #2, que energiza la bomba centrífuga (B2), la cual succiona el agua que está en el depósito del tanque de succión (TS), que pasa de forma inicial por la válvula de pie (G2) que tiene como función: de mantener la presencia continua de succión dentro de la bomba. Que está posicionada en el tramo de la tubería (P1), lo cual conecta por medio de un codo a 90 grados, con el tramo de tubería (P2), que pasa por la válvula de bola (VB1), que tiene que estar totalmente “ABIERTA” y que lleva el tramo de tubería (P3), que conecta de forma directa al manómetro (M1).

Pero antes de esa línea de Succión, hay un cruce planificado por el diseño del Banco de bombas centrífugas, para poder configurar las demás trayectorias de trabajo de flujo del líquido del sistema.

En esta conexión de la Bomba centrífuga (B2), hay una unión directa según conexión a la tubería (P7) y (P8), donde se conectan a la válvula de bola (VB2); que tiene que estar “Cerrada”, para evitar la conexión directa a la tubería (P9), que conecta a la tubería de salida de la descarga de la Bomba centrífuga (B1).

El Fluido sigue por el tramo de tubería (P4), impulsado por la Bomba centrífuga (B2), donde el flujo conecta al paso por una válvula check (CV1), que hace que el flujo no tenga retorno por la tubería, lo cual este tramo de tubería (P5), que hace cruce por medio del codo a 90 grados, para conectarse al tramo (P13) que está un manómetro (M5), que mide la presión total de la tubería instalada anteriormente.

Cabe aclarar que antes que el fluido cruce del tramo (P5) al tramo (P13), se va una parte del flujo, de forma recta por la tubería del tramo (P6), que es por diseño del equipo que sigue esa trayectoria; pero se encuentra con la válvula de bola (VB3) que está cerrada, impidiendo el paso del fluido hacia esa trayectoria de tubería.

Volviendo a la línea de paso (P13) en ese punto el Manómetro llamado: Medidor de Presión Total (M5), capta la presión total del sistema y después pasa por el medidor de Flujo (F) que tiene como función principal: medir el caudal o gasto volumétrico del fluido, que está pasando por la trayectoria de la tubería (P14).

Cruzando por un codo para seguir la tubería con elevación lineal; donde se encuentra un visor de flujo (VF) de 2" de diámetro, que lleva la tubería (P15) de la línea, allí se une a la tubería (P16) que se encuentra conectada una válvula de globo (VGL1), que tiene la función: de limitar el paso del fluido, por medio de la disminución del área de la tubería, según su apertura de cierre; con esta opción logramos simular las alturas de un sistema de bombeo, en las que puede funcionar la Bomba Centrífuga (B1). Con esta práctica podemos tomar los datos del sistema como, presiones del sistema con los manómetros, variación de flujo, mediciones eléctricas de amperaje y voltaje, flujo másico del agua, caudal y pérdidas del sistema.

Luego casi en el área final de la tubería (P17), toma el desvío por el codo de descarga por la tubería (P18), que lleva la caída a depositar el flujo de caudal del sistema al tanque de descarga (TD). El retorno del fluido al sistema, lo hace por la tubería de 2" de diámetro de PVC (P19), en la cual la válvula de bola (VB4) tiene que estar "Abierta totalmente" para que siga por la tubería (P20) y se desplaza en su cruce a la línea de la tubería (P21), que desemboca por la tubería (P22) al tanque de succión (TS) y así se garantiza que el sistema tenga los niveles óptimos del fluido para el caudal que se le demande en las pruebas de laboratorio.

MEDICIÓN DE CAUDAL DE FORMA VOLUMÉTRICA EN EL SISTEMA.

1. Encender el banco de bombas centrífugas de forma correcta.
2. Parametrizar el equipo según la trayectoria a utilizar.
3. Colocar la válvula de globo (VGL1) en la apertura a utilizar. ($\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1, 1 $\frac{1}{4}$, 1 $\frac{1}{2}$, 1 $\frac{3}{4}$, 2, 2 $\frac{1}{4}$ de vueltas de la válvula).
4. Determinar que Volumen se va a utilizar según graduación del tanque de descarga (TD).
5. Apagar el sistema antes de la medición de caudal para tener en cero el nivel de volumen del tanque.
6. Cerrar la Válvula de bola (VB4).
7. Tener listo el cronometro para determinar el tiempo de llenado del fluido en el tanque, con el volumen preestablecido.
8. Encender el sistema para iniciar el proceso de medición del caudal.
9. Anotarlos datos respectivos, cuando el nivel de volumen este completado con su respectivo tiempo de llenado.
10. Apagar el equipo.
11. Drenar el sistema con la apertura de la válvula de bola de 2" de diámetro (VB4)
12. Aplicar la formula sobre los datos adquiridos de forma experimental.

MEDICIÓN DE CAUDAL POR MEDIO DEL MEDIDOR DE FLUJO DEL SISTEMA.

1. Encender el banco de bombas centrífugas de forma correcta.
2. Parametrizar el equipo según la trayectoria a utilizar.
3. Colocar la válvula de globo (VLG1) en la apertura a utilizar. ($\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1, $1\frac{1}{4}$, $1\frac{1}{2}$, $1\frac{3}{4}$, 2, $2\frac{1}{4}$ de vueltas de la válvula).
4. Determinar la lectura del medidor de flujo (F) a utilizar.
5. Determinar que Volumen se va a utilizar según graduación del tanque de descarga (TD), con el fin de tener una guía de comparación del sistema de bombeo.
6. Apagar el sistema antes de la medición de caudal para tener en cero el nivel de flujo másico en el sistema de tuberías.
7. Cerrar la Válvula de bola (VB4).
8. Tener listo el cronometro para determinar el tiempo de llenado del fluido en el tanque, con el volumen preestablecido y comparar la medición de la lectura en el medidor de flujo como señal del paso del fluido. Tomando en pauta un inicio y fin de la prueba.
9. Encender el sistema para iniciar el proceso de medición del caudal.
10. Anotarlos datos respectivos, cuando el nivel de volumen este completado con su respectivo tiempo de llenado.
11. Apagar el equipo.
12. Drenar el sistema con la apertura de la válvula de bola de 2" de diámetro (VB4)
13. Aplicar la formula sobre los datos adquiridos de forma experimental.

CUADRO DE TOMA DE DATOS DE LA CONFIGURACIÓN #2.

APERTURA (VUELTAS)	VACUÓMETRO DE SUCCIÓN (in Hg)	MANÓMETRO (PSI)	MANÓMETRO TOTAL (PSI)	AMPERIOS (A)	VOLTAJE (V)	POTENCIA (watts)	VOLUMEN (V) lt + 635 ml	TIEMPO (S)	CAUDAL (Q) V/T (l/s)	MEDIDOR DE FLUJO / (0.0001)
¼										
½										
¾										
1										
1 1/4										
1 1/2										
1 3/4										
2										
2 1/4										

5.4.3 CONEXIÓN DE BOMBAS CENTRIFUGAS EN SERIE



UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA

DEPTO. DE INGENIERÍA MECÁNICA

LABORATORIO No 3:

CONEXIÓN DE BOMBAS CENTRIFUGAS EN SERIE.

1.- OBJETIVO:

El alumno será capaz de operar el equipo de prácticas del sistema de bombas centrifugas, colocar la trayectoria de trabajo en serie y determinará las curvas de operación en el sistema.

2.- EQUIPO UTILIZADO:

- Banco hidráulico.
- Libro de Apuntes.
- Contador comercial de gasto de agua.
- Cronómetro.
- Cinta métrica.
- Pie de Rey.
- Llaves Stillson.
- Cinta Teflón. (Sólida o Líquida)

3.- TEORÍA:

En este tipo de asociaciones, la impulsión de una se convierte en la aspiración de la otra. Este tipo de instalaciones no suele ser la más común. Son muy utilizadas en instalaciones abiertas que bombeen fluido a distintas alturas. Estas bombas disponen de varios rodets instalados en serie dentro de la misma carcasa, con lo que se consiguen grandes alturas.

Se dice que dos o más bombas se encuentran en serie, cuando una le entrega a la siguiente su caudal al objeto de aumentar la energía del líquido y poder elevar el agua a una altura mayor.

Acoplamiento de Bombas en Serie.

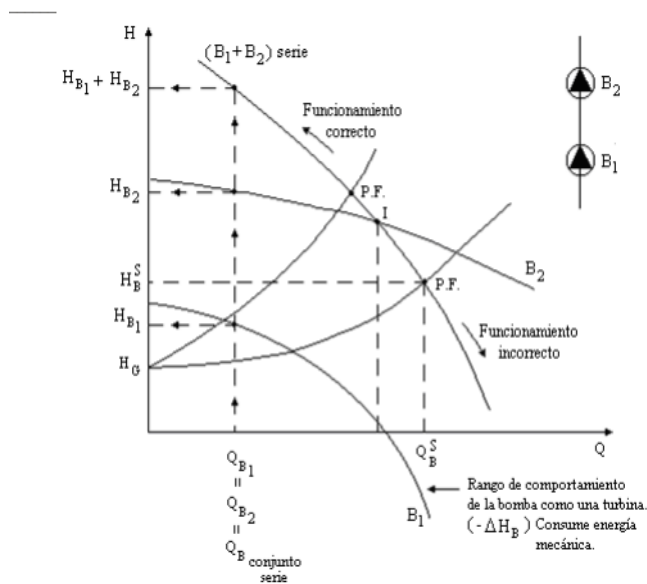
Este tipo de acoplamiento se emplea en casos en los cuales se desea elevar un mismo caudal a distintas alturas, o para impulsar un determinado caudal, venciendo grandes resistencias debidas a grandes longitudes de las conducciones (líquidos industriales: petróleo, ACPM, gasolina, etc.), si bien es relativamente pequeño el desnivel geométrico a vencer.

Esta manera de optar las bombas es poco frecuente y no debe confundirse con el caso de tener dos o más estaciones de bombeo escalonadas, como, por ejemplo, en un sistema de abastecimiento de agua, o en largas conducciones de combustible, en los cuales la descarga de una bomba se recibe en un depósito elevado con respecto al anterior, desde donde aspira la siguiente unidad, para impulsar al fluido hasta el próximo depósito y así, sucesivamente.

En este último caso los caudales impulsados individualmente no necesariamente tienen que ser iguales, asimismo, tampoco se requiere que las bombas estén funcionando a la vez. La situación de acoplamiento de bombas en serie más frecuente la constituye la disposición de N rodets idénticos en una bomba multietapas (o multicelular).

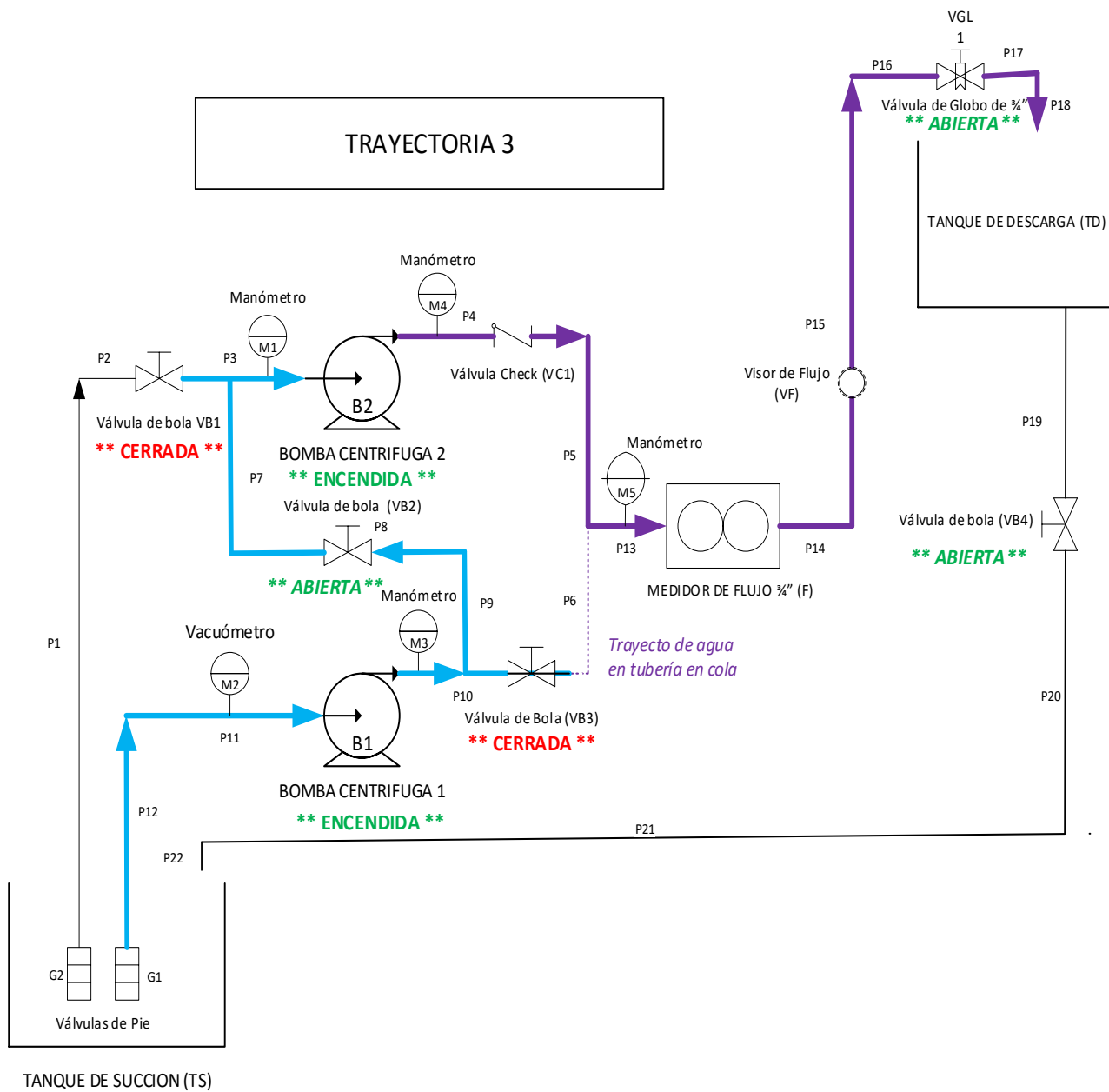
Las bombas multicelulares se aplican cuando se desea bombear caudales a grandes alturas, como, por ejemplo, en bombas de aguas de pozo. En efecto, si se emplea una bomba de rodete único para impulsar agua desde un pozo hacia una altura relativamente grande, aquella deberá tener un diámetro de rotor grande, y así, también, grande sería la bomba y la tubería de aspiración, por lo cual el diámetro del pozo sería grande (del orden de 1.0, 1.5 m o más).

Además, si la bomba opera en aspiración (succión positiva) y el pozo es relativamente profundo (5, 10, 20 50, ... 150 m), la cavitación sería inevitable, y, si a esto se le suma el hecho de que, en épocas de sequía, el nivel del pozo descende, aumentando la altura de succión y la altura estática, el punto de funcionamiento se desplazaría en la curva motriz de la bomba (HB vs. Q), por lo cual disminuye el caudal de bombeo, reduciéndose el rendimiento de la misma.



GL3 Fig. 1 Curva característica H vs. Q de dos bombas diferentes en serie.

4.- ARREGLO DE CONEXIÓN DE BOMBAS EN SERIE:



GL3 Fig. 2 Trayectoria 3 conexión de bombas en serie

PROCEDIMIENTO PARA EL FUNCIONAMIENTO INICIAL PARA EL BANCO DIDÁCTICO DE BOMBAS CENTRIFUGAS.

TRAYECTORIA #3 EN SISTEMA EN SERIE

(Flujo de Trayectoria en color celeste, azul y morado)

INDICACIONES GENERALES:

1. Verificar el estado de las válvulas de bola (VB1) que estén totalmente “CERRADA”
2. Verificar el estado de las válvulas de bola (VB2) que estén totalmente “ABIERTA”
3. Verificar el estado de las válvulas de bola (VB3) que estén totalmente “CERRADA”
4. Brindarle abertura total a la válvula de globo de $\frac{3}{4}$ ” (VGL1) (En el transcurso de las pruebas, esta válvula se le puede ir colocando según, el giro de apertura que se va a ir configurando $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1, 1 $\frac{1}{4}$, 1 $\frac{1}{2}$, 1 $\frac{3}{4}$, 2, 2 $\frac{1}{4}$ de vueltas de la válvula).
5. Colocar la válvula de bola (VB4) totalmente “ABIERTA” para garantizar el retorno del fluido, al tanque de succión sin ningún problema, para captar los datos del sistema, según variación de la válvula de globo (VGL1) que demande la posición de apertura del experimento.
6. Las bombas centrífugas (B1) y (B2) son las que se van a utilizar, para las pruebas respectivas de funcionamiento del banco didáctico. (ENCENDIDAS)
7. Colocar los selectores de las bombas centrífugas (S1) (S2) en opción de funcionamiento “ON”, para ser operados desde el Breakers 110 voltios, tomando así la activación principal del sistema de bombeo.

RESUMEN DEL FUNCIONAMIENTO TRAYECTORIA 3 EN SERIE.

Todo el proceso inicia con la activación de las bombas centrífugas #1 (B1) y #2 (B2), pero antes de todo, se tiene verificar la configuración de trabajo que se va a utilizar, con la trayectoria que se requiere. Con su debida apertura de la válvula de globo de $\frac{3}{4}$ ” (VGL1).

En la operación de este sistema de trayectoria en serie, la configuración preparatoria es de sumamente importante para la exactitud de datos experimentales del equipo de bombeo, la válvula de bola (VB2) es la que apertura el paso del fluido sobre el sistema; pero antes de todo, las válvulas de bola (VB1) y (VB3) tienen que estar totalmente cerradas, para aislar la trayectoria del sistema de tubería de las bombas centrífugas conectadas en serie.

La activación de la Bomba centrífuga (B1) y (B2), se energizan en común, con sus debidos selectores (S1) y (S2), manejados completamente por el Breakers 110 voltios, desde ese punto inicial se analiza que la conducción del fluido desde el punto de la trayectoria de la Bomba centrífuga (B1). Se comporta de la siguiente manera:

Se activa el selector #1, que energiza la bomba centrífuga (B1), la cual succiona el agua que está en el depósito del tanque de succión (TS), que pasa de forma inicial por la válvula de pie (G1) que tiene como función: de mantener la presencia continua de succión dentro de la bomba. Que está posicionada en el

tramo de la tubería (P12), lo cual el vacuómetro (M2) capta la presión en vacío del área de succión; de la línea de tubería (P11), que pasa por la Bomba centrífuga (B1).

En el cual hace el trabajo de impulsar el líquido en la tubería, donde está instalado un manómetro (M3) que mide la presión exacta de salida de la bomba centrífuga (B1), que se desplaza por la tubería del tramo (P10), se conecta de forma directa por el tramo (P9), con el tramo (P8). (Antes del tramo (P10) la válvula de bola (VB3) está totalmente “CERRADA” que impide el paso.

Siguiendo con la trayectoria del tramo de tubería en (P8), válvula de bola (VB2), totalmente “ABIERTA”, que permite el arreglo de esta configuración en SERIE, conecta con la tubería (P7) y (P3) que pasa por el Manómetro (M1), pero antes hace un pequeño recorrido el sistema a la válvula de bola (VB1), que esta “CERRADA” para que pueda impedir el paso a la tubería del tramo (P2) y (P1). Para que se cumpla el arreglo en serie del sistema.

Cuando el Manómetro (M1) mide la presión que es desplazada desde la bomba centrífuga (B1), hacia la succión de la Bomba centrífuga (B2), aumenta la presión y velocidad del fluido; con el doble impulso recorre el tramo de tubería (P4) y donde el flujo conecta al paso por una válvula check (CV1), que hace que el flujo no tenga retorno por la tubería, lo cual este tramo de tubería (P5), que hace cruce por medio del codo a 90 grados, para conectarse al tramo (P13) que esta un manómetro (M5), que mide la presión total de la tubería instalada anteriormente.

Cabe aclarar que antes que el fluido cruce del tramo (P5) al tramo (P13), se va una parte del flujo, de forma recta por la tubería del tramo (P6), que es por diseño del equipo que sigue esa trayectoria; pero se encuentra con la válvula de bola (VB3) que está cerrada, impidiendo el paso del fluido hacia esa trayectoria de tubería.

Parte final del sistema en paralelo.

Cruzando por un codo para seguir la tubería con elevación lineal; donde se encuentra un visor de flujo (VF) de 2” de diámetro, que lleva la tubería (P15) de la línea, allí se une a la tubería (P16) que se encuentra conectada una válvula de globo (VGL1), que tiene la función: de limitar el paso del fluido, por medio de la disminución del área de la tubería, según su apertura de cierre; con esta opción logramos simular las alturas de un sistema de bombeo, en las que puede funcionar la Bomba Centrífuga (B1). Con esta práctica podemos tomar los datos del sistema como, presiones del sistema con los manómetros, variación de flujo, mediciones eléctricas de amperaje y voltaje, flujo másico del agua, caudal y pérdidas del sistema.

Luego casi en el área final de la tubería (P17), toma el desvío por el codo de descarga por la tubería (P18), que lleva la caída a depositar el flujo de caudal del sistema al tanque de descarga (TD). El retorno del fluido al sistema, lo hace por la tubería de 2” de diámetro de PVC (P19), en la cual la válvula de bola (VB4) tiene que estar “Abierta totalmente” para que siga por la tubería (P20) y se desplaza en su cruce a la línea de la tubería (P21), que desemboca por la tubería (P22) al tanque de succión (TS) y así se garantiza que el sistema tenga los niveles óptimos del fluido para el caudal que se le demande en las pruebas de laboratorio.

MEDICIÓN DE CAUDAL DE FORMA VOLUMÉTRICA EN EL SISTEMA.

1. Encender el banco de bombas centrífugas de forma correcta.
2. Parametrizar el equipo según la trayectoria a utilizar.
3. Colocar la válvula de globo (VLG1) en la apertura a utilizar. ($\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1, 1 $\frac{1}{4}$, 1 $\frac{1}{2}$, 1 $\frac{3}{4}$, 2, 2 $\frac{1}{4}$ de vueltas de la válvula).
4. Determinar que Volumen se va a utilizar según graduación del tanque de descarga (TD).
5. Apagar el sistema antes de la medición de caudal para tener en cero el nivel de volumen del tanque.
6. Cerrar la Válvula de bola (VB4).
7. Tener listo el cronometro para determinar el tiempo de llenado del fluido en el tanque, con el volumen preestablecido.
8. Encender el sistema para iniciar el proceso de medición del caudal.
9. Anotarlos datos respectivos, cuando el nivel de volumen este completado con su respectivo tiempo de llenado.
10. Apagar el equipo.
11. Drenar el sistema con la apertura de la válvula de bola de 2" de diámetro (VB4)
12. Aplicar la formula sobre los datos adquiridos de forma experimental.

MEDICIÓN DE CAUDAL POR MEDIO DEL MEDIDOR DE FLUJO DEL SISTEMA.

1. Encender el banco de bombas centrífugas de forma correcta.
2. Parametrizar el equipo según la trayectoria a utilizar.
3. Colocar la válvula de globo (VLG1) en la apertura a utilizar. ($\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1, 1 $\frac{1}{4}$, 1 $\frac{1}{2}$, 1 $\frac{3}{4}$, 2, 2 $\frac{1}{4}$ de vueltas de la válvula).
4. Determinar la lectura del medidor de flujo (F) a utilizar.
5. Determinar que Volumen se va a utilizar según graduación del tanque de descarga (TD), con el fin de tener una guía de comparación del sistema de bombeo.
6. Apagar el sistema antes de la medición de caudal para tener en cero el nivel de flujo másico en el sistema de tuberías.
7. Cerrar la Válvula de bola (VB4).
8. Tener listo el cronometro para determinar el tiempo de llenado del fluido en el tanque, con el volumen preestablecido y comparar la medición de la lectura en el medidor de flujo como señal del paso del fluido. Tomando en pauta un inicio y fin de la prueba.
9. Encender el sistema para iniciar el proceso de medición del caudal.
10. Anotarlos datos respectivos, cuando el nivel de volumen este completado con su respectivo tiempo de llenado.
11. Apagar el equipo.
12. Drenar el sistema con la apertura de la válvula de bola de 2" de diámetro (VB4)
13. Aplicar la formula sobre los datos adquiridos de forma experimental.

CUADRO DE TOMA DE DATOS DE LA CONFIGURACIÓN DE BOMBAS EN SERIE.

APERTURA (VUELTAS)	VACUÓMETRO DE SUCCIÓN (in Hg)	MANÓMETRO M1 (PSI)	MANÓMETRO M2 (PSI)	MANÓMETRO M3 (PSI)	MANÓMETRO TOTA(PSI)	AMPERIOS (A) BOMBA #1	AMPERIOS (A) BOMBA #2	POTENCIA (watts) B1	POTENCIA (watts) B2	VOLTAJE (V)	VOLUMEN (V) lt + 635 ml	TIEMPO (S)	CAUDAL (Q) V/T (l/s)	MEDIDOR DE FLUJO / (0.0001)
¼														
½														
¾														
1														
1 1/4														
1 1/2														
1 3/4														
2														
2 1/4														

5.4.4 CONEXIÓN DE BOMBAS CENTRIFUGAS EN PARALELO



UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA

DEPTO. DE INGENIERÍA MECÁNICA

LABORATORIO No 4:

CONEXIÓN DE BOMBAS CENTRIFUGAS EN PARALELO.

1.- OBJETIVO:

El alumno será capaz de operar el equipo de prácticas del sistema de bombas centrifugas, colocar la trayectoria de trabajo en paralelo y determinará las curvas de operación en el sistema.

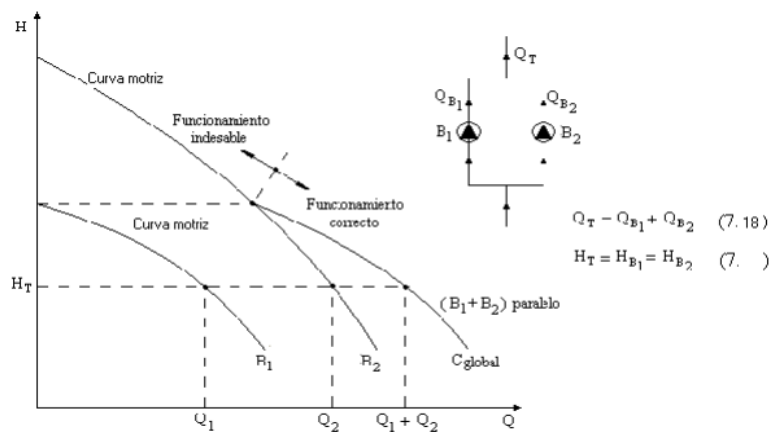
2.- EQUIPO UTILIZADO:

- Banco hidráulico.
- Libro de Apuntes.
- Contador comercial de gasto de agua.
- Cronómetro.
- Cinta métrica.
- Pie de Rey.
- Llaves Stillson.
- Cinta Teflón. (Solida o Liquida)

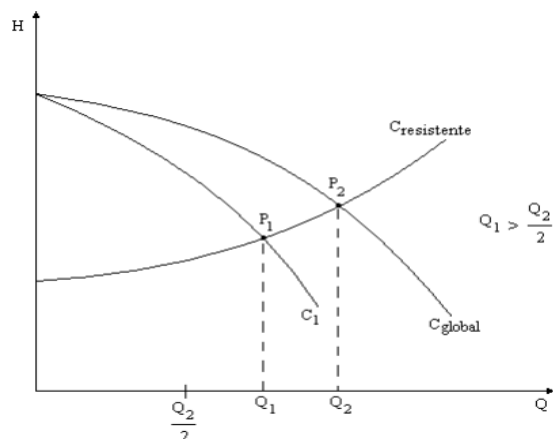
3.- TEORÍA:

Acoplamiento de Bombas en Paralelo Cuando se trata de satisfacer las necesidades o demandas de agua, variables en el tiempo, como en sistemas de riego, o en redes de distribución de agua potable, se justifica el acoplamiento de dos o más bombas en paralelo. En efecto, el empleo de una sola bomba, para satisfacer los consumos altamente variables con el tiempo, sería factible también, pero antieconómico, puesto que aquella tendría que trabajar con eficiencias muy bajas, correspondientes a los distintos puntos de funcionamiento, dado que las curvas de η vs. Q no son, infortunadamente, planas.

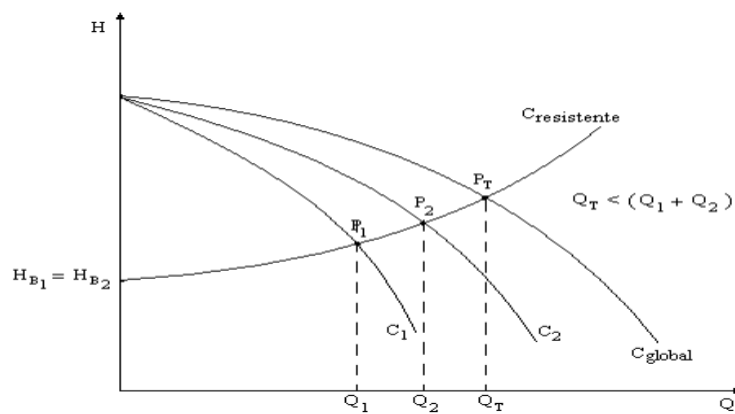
Por el contrario, el suministro de agua, variable según la demanda, puede garantizarse por medio de una progresiva entrada en funcionamiento de distintos grupos de bombas, conformado por bombas acopladas en paralelo, manteniendo el rendimiento del conjunto dentro de unos valores aceptables. Para obtener la curva característica de un conjunto de bombas acopladas en paralelo, basta con sumar sus respectivos caudales, para una misma altura o cabeza, a partir de sus correspondientes curvas características de H vs. Q . Ello resulta en unas curvas globales H vs. Q , cada vez más planas, tanto más planas cuanto más bombas en paralelo sean acopladas.



GLA Fig. 1 Acoplamiento de dos bombas diferentes acopladas en paralelo.

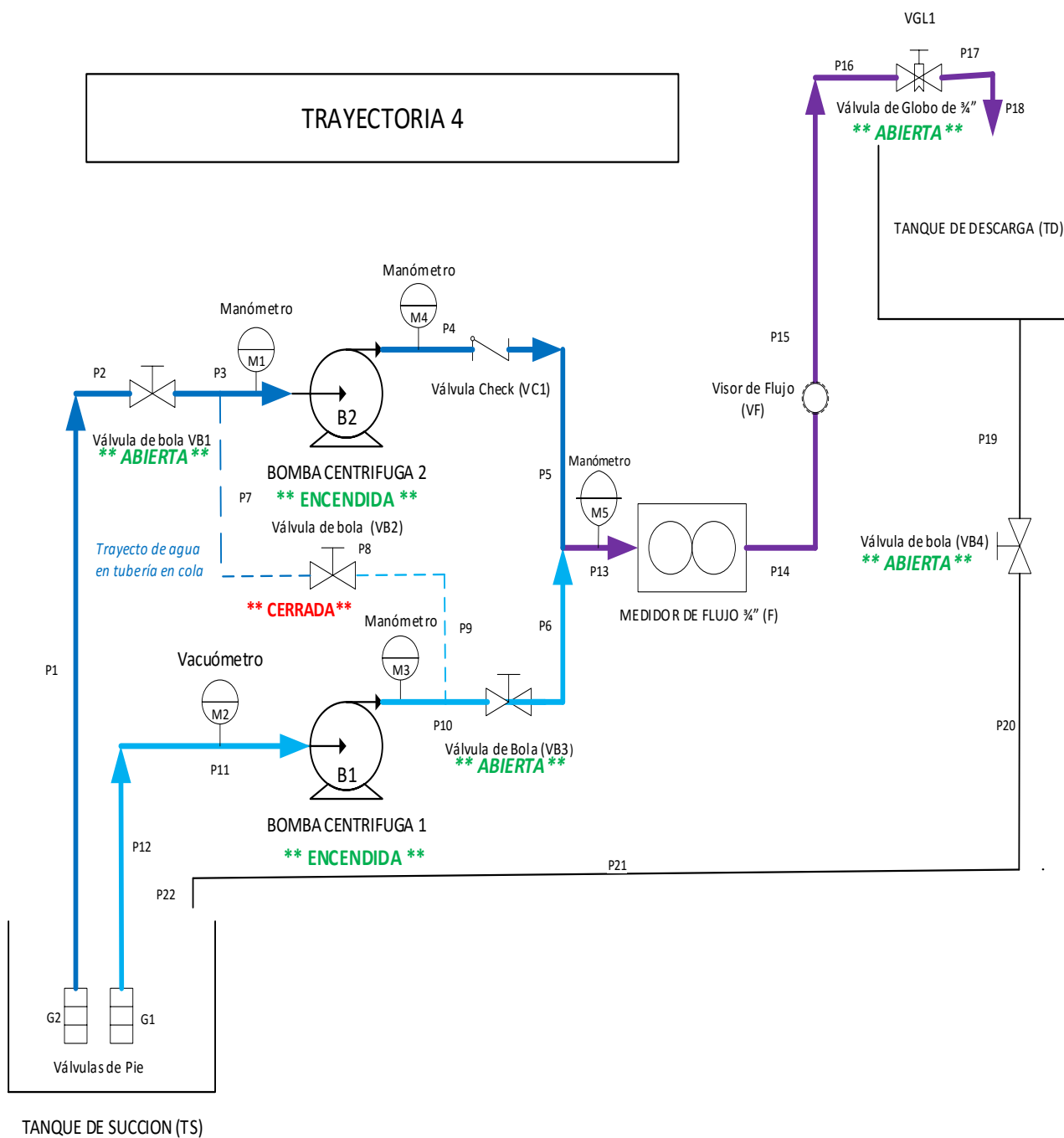


GLA Fig. 2 Acoplamiento de dos bombas idénticas en paralelo



GLA Fig. 3 Acoplamiento de dos bombas distintas en paralelo, con igual ordenada H , para $Q = 0$.

4.- ARREGLO DE CONEXIÓN DE BOMBAS EN PARALELO:



GLA Fig. 4 Trayectoria 4 conexión de bombas en paralelo.

PROCEDIMIENTO PARA EL FUNCIONAMIENTO INICIAL PARA EL BANCO DIDÁCTICO DE BOMBAS CENTRIFUGAS.

TRAYECTORIA 4 EN SISTEMA PARALELO

(Flujo de Trayectoria en color celeste, azul y morado)

INDICACIONES GENERALES:

1. Verificar el estado de las válvulas de bola (VB1) que estén totalmente “ABIERTA”
2. Verificar el estado de las válvulas de bola (VB2) que estén totalmente “CERRADA”
3. Verificar el estado de las válvulas de bola (VB3) que estén totalmente “ABIERTA”
4. Brindarle abertura total a la válvula de globo de $\frac{3}{4}$ ” (VGL1) (En el transcurso de las pruebas, esta válvula se le puede ir colocando según, el giro de apertura que se va a ir configurando $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1, 1 $\frac{1}{4}$, 1 $\frac{1}{2}$, 1 $\frac{3}{4}$, 2, 2 $\frac{1}{4}$ de vueltas de la válvula).
5. La válvula de bola (VB3), tiene que estar totalmente cerrada. (Esta válvula es la que permite el paso de forma lineal del flujo de agua, que impulsa la bomba centrífuga #1).
6. Colocar la válvula de bola (VB4) totalmente “ABIERTA” para garantizar el retorno del fluido, al tanque de succión sin ningún problema, para captar los datos del sistema, según variación de la válvula de globo (VGL1) que demande la posición de apertura del experimento.
7. Las bombas centrífugas (B1) y (B2) son las que se van a utilizar, para las pruebas respectivas de funcionamiento del banco didáctico.
8. Colocar los selectores de las bombas centrífugas (S1) (S2) en opción de funcionamiento “ON”, para ser operados desde el Breakers 110 voltios, tomando así la activación principal del sistema de bombeo.

RESUMEN DEL FUNCIONAMIENTO TRAYECTORIA 4 EN PARALELO.

Todo el proceso inicia con la activación de las bombas centrífugas #1 (B1) y #2 (B2), pero antes de todo, se tiene verificar la configuración de trabajo que se va a utilizar, con la trayectoria que se requiere. Con su debida apertura de la válvula de globo de $\frac{3}{4}$ ” (VGL1).

Con la Activación en simultaneo de las bombas centrífugas (B1) y (B2), se comportan teóricamente similar, pero el trayecto de trabajo de impulsión del flujo de agua; son diferentes, por lo tanto, el comportamiento de trabajo cambia; Según la configuración #1 y #2 del sistema de trayectoria de recorrido del fluido, lo cual en la unión de este sistema para que las bombas, estén bien configuradas. Hay una conexión “CERRADA” que lo hace la válvula de bola (VB2), para que el sistema sea optimo en su funcionamiento, lo que sí cabe aclarar que en esta unión hay un retorno a la fuerza por cada trayectoria. (Visto en los tramos de tubería (P9) y (P7) que conectan a la tubería (P8)).

Se analizan las dos trayectorias anteriores, para que se pueda dar un buen sentido a la conexión en paralelo del fluido, que recorre la tubería principal de cada salida de las bombas y antes de poner en funcionamiento este arreglo de las bombas. Se requiere haber realizado las dos pruebas anteriores de la trayectoria #1 y #2 del sistema.

Teniendo en cuenta las dos trayectorias anteriores de los dos sistemas, en los tramos de tubería (P5) y (P6) que cruzan a la línea de tubería (P13) y se encuentran el Manómetro Principal (M5) de medición total del sistema en paralelo. Lo cual hay un aumento de presión en todos los puntos y sus variantes, que el medidor de flujo (F) censa y comprueba los datos experimentales con el factor tiempo, según su flujo másico que pasa por la tubería (P14).

Parte final del sistema en paralelo.

Cruzando por un codo para seguir la tubería con elevación lineal; donde se encuentra un visor de flujo (VF) de 2" de diámetro, que lleva la tubería (P15) de la línea, allí se une a la tubería (P16) que se encuentra conectada una válvula de globo (VGL1), que tiene la función: de limitar el paso del fluido, por medio de la disminución del área de la tubería, según su apertura de cierre; con esta opción logramos simular las alturas de un sistema de bombeo, en las que puede funcionar la Bomba Centrífuga (B1).

Con esta práctica podemos tomar los datos del sistema como, presiones del sistema con los manómetros, variación de flujo, mediciones eléctricas de amperaje y voltaje, flujo másico del agua, caudal y pérdidas del sistema.

Luego casi en el área final de la tubería (P17), toma el desvío por el codo de descarga por la tubería (P18), que lleva la caída a depositar el flujo de caudal del sistema al tanque de descarga (TD). El retorno del fluido al sistema, lo hace por la tubería de 2" de diámetro de PVC (P19), en la cual la válvula de bola (VB4) tiene que estar "Abierta totalmente" para que siga por la tubería (P20) y se desplaza en su cruce a la línea de la tubería (P21), que desemboca por la tubería (P22) al tanque de succión (TS) y así se garantiza que el sistema tenga los niveles óptimos del fluido para el caudal que se le demande en las pruebas de laboratorio.

TRAMO DE TRAYECTORIA #1

El sistema comienza a trabajar mediante la activación del interruptor #1, que se energiza con 110 v del suministro de Energía eléctrica por medio de un Breaker de 20 amperios, lo cual la Bomba Centrífuga (B1) #1 está lista para trabajar en el desplazamiento del fluido.

Se activa el selector #1, que energiza la bomba centrífuga (B1), la cual succiona el agua que está en el depósito del tanque de succión (TS), que pasa de forma inicial por la válvula de pie (G1) que tiene como función: de mantener la presencia continua de succión dentro de la bomba. Que está posicionada en el tramo de la tubería (P12), lo cual el vacuómetro (M2) capta la presión en vacío del área de succión; de la línea de tubería (P11), que pasa por la Bomba centrífuga (B1).

En el cual hace el trabajo de impulsar el líquido en la tubería, donde está instalado un manómetro (M3) que mide la presión exacta de salida de la bomba centrífuga (B1), que se desplaza por la tubería del tramo (P10) y que también pasa por la válvula de bola (VB3) en su trayectoria de paso, por la línea (P6), que hace un cruce por la línea (P13), pero antes se comporta de forma lineal por (P5), que hace un retorno a la fuerza opuesta que le transmite la válvula check (VC1), en esa parte el fluido pasa por un antirretorno, que hace una turbulencia interna en la línea guía de la tubería del sistema.

Volviendo a la línea de paso (P13) en ese punto el Manómetro llamado: Medidor de Presión Total (M5), capta la presión total del sistema y después pasa por el medidor de Flujo (F) que tiene como función principal: medir el caudal o gasto volumétrico del fluido, que está pasando por la trayectoria de la tubería (P14).

TRAMO DE TRAYECTORIA #2

El sistema comienza a trabajar mediante la activación del interruptor #2, que se energiza con 110 v del suministro de Energía eléctrica por medio de un Breaker de 20 amperios, lo cual la Bomba Centrífuga (B2) #2 está lista para trabajar en el desplazamiento del fluido.

Se activa el selector #2, que energiza la bomba centrífuga (B2), la cual succiona el agua que está en el depósito del tanque de succión (TS), que pasa de forma inicial por la válvula de pie (G2) que tiene como función: de mantener la presencia continua de succión dentro de la bomba. Que está posicionada en el tramo de la tubería (P1), lo cual conecta por medio de un codo a 90 grados, con el tramo de tubería (P2), que pasa por la válvula de bola (VB1), que tiene que estar totalmente “ABIERTA” y que lleva el tramo de tubería (P3), que conecta de forma directa al manómetro (M1).

Pero antes de esa línea de Succión, hay un cruce planificado por el diseño del Banco de bombas centrífugas, para poder configurar las demás trayectorias de trabajo de flujo del líquido del sistema.

En esta conexión de la Bomba centrífuga (B2), hay una unión directa según conexión a la tubería (P7) y (P8), donde se conectan a la válvula de bola (VB2); que tiene que estar “Cerrada”, para evitar la conexión directa a la tubería (P9), que conecta a la tubería de salida de la descarga de la Bomba centrífuga (B1).

El Fluido sigue por el tramo de tubería (P4), impulsado por la Bomba centrífuga (B2), donde el flujo conecta al paso por una válvula check (CV1), que hace que el flujo no tenga retorno por la tubería, lo cual este tramo de tubería (P5), que hace cruce por medio del codo a 90 grados, para conectarse al tramo (P13) que está un manómetro (M5), que mide la presión total de la tubería instalada anteriormente.

Cabe aclarar que antes que el fluido cruce del tramo (P5) al tramo (P13), se va una parte del flujo, de forma recta por la tubería del tramo (P6), que es por diseño del equipo que sigue esa trayectoria; pero se encuentra con la válvula de bola (VB3) que está cerrada, impidiendo el paso del fluido hacia esa trayectoria de tubería.

MEDICIÓN DE CAUDAL DE FORMA VOLUMÉTRICA EN EL SISTEMA.

1. Encender el banco de bombas centrífugas de forma correcta.
2. Parametrizar el equipo según la trayectoria a utilizar.
3. Colocar la válvula de globo (VLG1) en la apertura a utilizar. ($\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1, $1\frac{1}{4}$, $1\frac{1}{2}$, $1\frac{3}{4}$, 2, 2 $\frac{1}{4}$ de vueltas de la válvula).
4. Determinar que Volumen se va a utilizar según graduación del tanque de descarga (TD).
5. Apagar el sistema antes de la medición de caudal para tener en cero el nivel de volumen del tanque.
6. Cerrar la Válvula de bola (VB4).
7. Tener listo el cronometro para determinar el tiempo de llenado del fluido en el tanque, con el volumen preestablecido.
8. Encender el sistema para iniciar el proceso de medición del caudal.
9. Anotarlos datos respectivos, cuando el nivel de volumen este completado con su respectivo tiempo de llenado.
10. Apagar el equipo.
11. Drenar el sistema con la apertura de la válvula de bola de 2” de diámetro (VB4)
12. Aplicar la formula sobre los datos adquiridos de forma experimental.

MEDICIÓN DE CAUDAL POR MEDIO DEL MEDIDOR DE FLUJO DEL SISTEMA.

1. Encender el banco de bombas centrífugas de forma correcta.
2. Parametrizar el equipo según la trayectoria a utilizar.
3. Colocar la válvula de globo (VLG1) en la apertura a utilizar. ($\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1, $1\frac{1}{4}$, $1\frac{1}{2}$, $1\frac{3}{4}$, 2, $2\frac{1}{4}$ de vueltas de la válvula).
4. Determinar la lectura del medidor de flujo (F) a utilizar.
5. Determinar que Volumen se va a utilizar según graduación del tanque de descarga (TD), con el fin de tener una guía de comparación del sistema de bombeo.
6. Apagar el sistema antes de la medición de caudal para tener en cero el nivel de flujo másico en el sistema de tuberías.
7. Cerrar la Válvula de bola (VB4).
8. Tener listo el cronometro para determinar el tiempo de llenado del fluido en el tanque, con el volumen preestablecido y comparar la medición de la lectura en el medidor de flujo como señal del paso del fluido. Tomando en pauta un inicio y fin de la prueba.
9. Encender el sistema para iniciar el proceso de medición del caudal.
10. Anotarlos datos respectivos, cuando el nivel de volumen este completado con su respectivo tiempo de llenado.
11. Apagar el equipo.
12. Drenar el sistema con la apertura de la válvula de bola de 2" de diámetro (VB4)
13. Aplicar la formula sobre los datos adquiridos de forma experimental.

CUADRO DE TOMA DE DATOS DE LA CONFIGURACIÓN DE BOMBAS EN PARALELO.

APERTURA (VUELTAS)	VACUÓMETRO DE SUCCIÓN (in Hg)	MANÓMETRO M1 (PSI)	MANÓMETRO M2 (PSI)	MANÓMETRO M3 (PSI)	MANÓMETRO TOTAL (PSI)	AMPERIOS (A) BOMBA #1	AMPERIOS (A) BOMBA #2	POTENCIA (watts) B1	POTENCIA (watts) B2	VOLTAJE (V)	VOLUMEN (V) lt + 635 ml	TIEMPO (S)	CAUDAL (Q) V/T (l/s)	MEDIDOR DE FLUJO / (0.0001)
¼				*****										
½				*****										
¾				*****										
1				*****										
1 1/4				*****										
1 1/2				*****										
1 3/4				*****										
2				*****										
2 1/4				*****										

CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

A partir de los datos obtenidos y el análisis de los resultados, concluimos que:

Cuando se conectan las bombas centrífugas en conexión en serie y en paralelo de forma experimental en el banco didáctico de pruebas, comprobamos que las bombas son más “eficientes” colocadas en “paralelo”, ya que el caudal aumenta casi el doble, logrando transportar más fluido en menos tiempo. Por otra parte, la conexión en “Serie” entrega una altura de elevación del fluido mucho mayor a la que entrega una conexión en paralelo.

Este sistema de conexión hidráulico en caudales produce una gran variedad de diferentes presiones en la tubería, las cuales podrían provocar “cavitación”, es decir, el rendimiento de la bomba caería drásticamente, deteriorándose ella también. Por lo tanto, se debe considerar este factor y tener precaución en la construcción de estos sistemas.

Cuando nos referimos a los costos totales del proyecto, es importante una buena elección de la bomba centrífuga y con esto, conocer su eficiencia o bien la potencia consumida, ya que al utilizar mejores los recursos, se aumenta el rendimiento y reducen los costos.

También podemos decir que el diseño de nuestro banco didáctico de pruebas de bombas centrífugas, es bastante innovativo, ya que el diseño permite un desarme total de la tubería en tres partes, fácil de transportar, de gran versatilidad para su uso en las practicas del sistema de bombeo. Tiene un tamaño fácil de colocar en cualquier área, su funcionabilidad es relativamente silencioso y su control de puesta en marcha es sumamente fácil.

Se tomo en cuenta un nuevo diseño para transportar un fluido de un punto a otro, tomando en cuenta se cumpliera el traslado de un fluido desde el tanque de succión de un área, hacia otro tramo de tubería de hierro galvanizado, al tanque de descarga y que se pueda verificar las pérdidas de carga del sistema, variando el paso del fluido, mediante la colocación de una válvula de globo, que simulara unas alturas al sistema, mediante el cierre del paso del fluido por la disminución del área de cierre de la válvula, tomando en cuenta que los datos del sistema de bombeo van encaminados a variar de forma radical por las diferentes aperturas de la válvula de globo. Cuando se transportan los líquidos, nunca se debe permitir que la presión en cualquier punto adentro de la bomba centrífuga, caiga a menos de la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo, siempre se debe tener suficiente energía disponible en la succión de la bomba, para hacer que el líquido llegue al impulsor y contrarreste las perdidas entre la boquilla de la succión y la entrada al impulsor de la bomba.

Un arreglo de bombas en “Paralelo” permite tener un aumento de caudal del fluido circulante en la tubería y nos permite mantener la velocidad del fluido entre distancias, donde se mantiene dicho fluido en movimiento y este aumenta la presión.

Las bombas que se conectan en “Serie” se necesita una carga mayor y son idealmente para cuando se requiere aumentar la presión del sistema.

Para mejorar la eficiencia del sistema, se debe de conectar las bombas semejantes o así se tratará de bombas diferentes para un mayor rendimiento. También si las bombas no tienen las mismas dimensiones o no son las adecuadas, la bomba más pequeña no sería capaz de manejar la carga hidrostática, esto ocasionara una perdida en la presión del sistema de trabajo del equipo de bombeo.

6.2 RECOMENDACIONES

En la tubería de aspiración es importante el uso indispensable de una válvula de pie.

Conocer siempre la curva de operación de la bomba centrífuga, que se va a utilizar es de gran importancia, para ver el desempeño y condiciones a utilizar según demanda del sistema de bombeo, donde se va a instalar.

En la tubería de impulsión el elemento más importante es la válvula check.

La curva de operación y las curvas características nos permiten predecir un mejor funcionamiento del sistema a diseñar.

Se recomienda utilizar accesorios que contengan información necesaria de coeficientes de fricción o longitudes equivalentes dados estrictamente por el fabricante, con el fin de que se pueda realizar cálculos que minimicen el error teórico vs práctico.

Se recomienda utilizar bombas centrífugas las cuales contengan información donde se detalle curvas de eficiencia, NPSH, y potencia, datos necesarios en el momento de realizar cálculos más precisos.

Debido al costo que representa instrumentos de medida digitales, se utilizó un medidor de agua, el cual tiene un rango de error alto para el uso en un banco de pruebas de laboratorio, por lo que se recomienda utilizar equipos electrónicos más precisos y digitales para futuros proyectos, y así obtener resultados con mayor precisión.

Tecnología.

Se recomienda actualizar el sistema del banco entrenador de bombas, con la instalación de electroválvulas hidráulicas controladas en cada una de los sistemas de succión, descargas y retorno del sistema. La implementación de estos elementos le dará paso al control directo de supervisión de los datos que arroja el sistema de bombeo, con las señales digitales captadas por componentes digitales.

Esta información servirá para tener unas variables de gran fidelidad en el cálculo de los sistemas hidráulicos y obtención de datos de las gráficas.

Sistema Dual e integración con la industria.

Se recomienda orientar las prácticas hacia la aplicación real en empresas industriales, de tal manera que se integre el conocimiento teórico con la realidad, de esta manera se reducirá la curva de aprendizaje en el desempeño laboral y se tendrá un impacto positivo en la integración de los nuevos profesionales hacia la industria.

Medio ambiente

Para minimizar el consumo de agua, se recomienda utilizar filtros para eliminar partículas sólidas que puedan afectar en el desempeño de los componentes, así como tratamientos químicos que eliminen malos olores y eviten la proliferación de microorganismos, de esta manera se podrá aumentar el número de ciclos de reutilización del agua.

Se recomienda revisar los procedimientos autorizados por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales para el tratamiento y disposición final de aguas negras y residuales, para evitar la contaminación de mantos acuíferos y suelos fértiles a la hora de cambiar el agua al equipo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

De las Heras, S. (2011) *Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas*. México. Editorial Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.

Mc. Naughton, Kenneth (1992). *Bombas, Selección Uso y Mantenimiento*. México. McGraw Hill Interamericana de México, SA

Mott, Robert (2006). *Mecánica de los fluidos*. México. Editorial Pearson.

Saldarriaga, J. (2007) *Hidráulica de Tuberías*. Bogotá Editorial Alfaomega.

Crane, Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías, Mc Graw Hill.

Mataix Claudio, *Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas*, segunda edición, Ediciones del castillo S.A. España 1982

Manuel Viejo Zubicaray, *Bombas, teoría, diseño y mantenimiento*, Editorial Limusa S.A de C.V. Grupo Noriega editores, año 2000

SITIO GRAFÍA

Rodríguez, R. Mantenimiento de bombas. GABPingeniería. Recuperado de:

(https://gabpingenieria.weebly.com/uploads/2/0/1/6/20162823/mantenimiento_bombas)

Dragoit. Sistemas de Bombeo. Dragoit. Recuperado de: (<https://dragoit.com/blog/sistemas-de-bombeo/>)

Efinética (2014). Optimización de sistemas de bombeo, ¿de qué opciones dispones? Efinética Blog. Recuperado de: (<https://efinetika.wordpress.com/2014/05/09/optimizacion-de-sistemas-de-bombeo-de-que-opciones-dipones/>)

Bibing (2019). Bombas Centrifugas. Bibing. Recuperado de:

(<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5091/fichero/6+-+BOMBAS+CEN'TR%C3%8DFUGAS.pdf>)

Marbello Pérez, R. (2019) Bombas Hidráulicas Rotodinámicas. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de: (<http://bdigital.unal.edu.co/11934/51/3353962.2007.Parte11.pdf>)

Cornejo Zamora, A. (2012) Selección de una bomba centrifuga mediante el análisis del costo de ciclo de vida - aplicación planta Aceros Arequipa. ALICIA. Recuperado de: (https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_4e9c27d320ce6843b8111d9885c821f4/Description#tabnav)

ANEXO 1

DATOS EXPERIMENTALES DEL BANCO DE BOMBAS.

CUADRO DE DATOS DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES DEL BANCO DE BOMBAS
CENTRIFUGAS.

TRAYECTORIA #1

#	APERTURA (VUELTAS)	BARÓMETRO DE SUCCIÓN (in Hg)	MANÓMETRO (PSI)	MANÓMETRO TOTAL (PSI)	AMPERIOS (A)	VOLTAJE (V)	VOLUMEN (V) lt + 635 ml	TIEMPO (S)	CAUDAL (Q) V/T	MEDIDOR DE FLUJO / (0.0001)
1	¼	- 4	36	35	2.8	110	14385	39.01	0.3687	10.8
2	½	- 4	18	17	2.9	110	14385	24.27	0.5927	11
3	¾	- 4	14	13.5	2.9	110	14385	22.26	0.6462	11.3
4	1	- 4	13	13	1.8	110	14385	21.86	0.6580	11.5
5	1 1/4	- 4	13	12	1.8	110	14385	21.27	0.6763	11
6	1 1/2	- 4	13.9	13.5	1	110	14385	22.5	0.6393	11.5
7	1 3/4	- 4	13.9	13	1.5	110	14385	22.39	0.6424	11.4
8	2	- 4	13.5	13	1.5	110	14385	21.46	0.6703	11

TRAYECTORIA #2

#	APERTURA (VUELTAS)	BARÓMETRO DE SUCCIÓN (in Hg)	MANÓMETRO (PSI)	MANÓMETRO TOTAL (PSI)	AMPERIOS (A)	VOLTAJE (V)	VOLUMEN (V) lt + 635 ml	TIEMPO (S)	CAUDAL (Q) V/T	MEDIDOR DE FLUJO / (0.0001)
1	¼	- 4	35	33	3	110	14385	44.5	0.3250	11.3
2	½	- 4	17	15	2.9	110	14385	24.92	0.5772	11.2
3	¾	- 4	14	13	2.9	110	14385	23.81	0.6041	11
4	1	- 4	13	11	2.9	110	14385	22.14	0.6497	11
5	1 1/4	- 4	13	11	2.8	110	14385	22.64	0.6353	11.3
6	1 1/2	- 4	13.9	12	2.8	110	14385	23.30	0.6173	11.4
7	1 3/4	- 4	13	11	2.8	110	14385	22.65	0.6350	10.4
8	2	- 4	13	11.8	2.8	110	14385	22.12	0.6503	10.9

TRAYECTORIA 3 EN “SERIE”

#	APERTURA (VUELTAS)	BARÓMETRO DE SUCCIÓN (in Hg)	MANÓMETRO M1 (PSI)	MANÓMETRO M2 (PSI)	MANÓMETRO MS (PSI)	MANÓMETRO TOTAL (PSI)	AMPERIOS (A) BOMBA #1	AMPERIOS BOMBA #2	VOLTAJE (V)	VOLUMEN (V) lt + 635 ml	TIEMPO (S)	CAUDAL Q = V/T	MEDIDOR DE FLUJO / (0.0001)
1	1/4	- 3	22	44	24	42	0.8	1.8	110	14385	35.47	0.4055	10.6
2	1/2	- 4	11	24.2	13	22	1.5	1.8	110	14385	20.74	0.6935	11.3
3	3/4	- 4	9	19	11	18	1.3	1.8	110	14385	19.67	0.7313	11.1
4	1	- 4	9	18	10	16	1.3	1.8	110	14385	19.13	0.7519	11
5	1 1/4	- 4	8	18	10	16	1.3	1.8	110	14385	18.63	0.7721	10.8
6	1 1/2	- 4	8.3	18.3	11	16.5	1.2	1.8	110	14385	19.36	0.7430	11
7	1 3/4	- 4	8	18	11	16	1.2	1.8	110	14385	19.2	0.7492	11
8	2	- 4	8	18	11	16	1.2	1.5	110	14385	18.97	0.7583	11

TRAYECTORIA #4 EN “PARALELO”

#	APERTURA (VUELTAS)	BARÓMETRO DE SUCCIÓN (in Hg)	MANÓMETRO M1 (PSI)	MANÓMETRO M2 (PSI)	MANÓMETRO MS (PSI)	MANÓMETRO TOTAL (PSI)	AMPERIOS (A) BOMBA #1	AMPERIOS (A) BOMBA #2	VOLTAJE (V)	VOLUMEN (V) lt + 635 ml	TIEMPO (S)	CAUDAL Q = V/T	MEDIDOR DE FLUJO / (0.0001)
1	1/4	- 3	43	44	***	42	1.8	2	110	14385	29.35	0.4901	9.9
2	1/2	- 3	30	30.5	***	28	1	1.9	110	14385	16.78	0.8572	10.8
3	3/4	- 4	27	28	***	26	1	1.3	110	14385	16.07	0.8951	11
4	1	- 4	25	26	***	25	0.9	1.8	110	14385	15.98	0.9001	11.2
5	1 1/4	- 4	25	26	***	24	0.9	1.9	110	14385	15.46	0.9304	11.2
6	1 1/2	- 4	26	27	***	25	0.9	1.9	110	14385	15.63	0.9203	11.1
7	1 3/4	- 4	26	27	***	24	1.2	2	110	14385	15.69	0.9168	10.9
8	2	- 4	25	26	***	25	1.5	1.8	110	14385	14.99	0.9596	11

ANEXO 2

FOTOGRAFÍAS



Foto 2



Foto 1

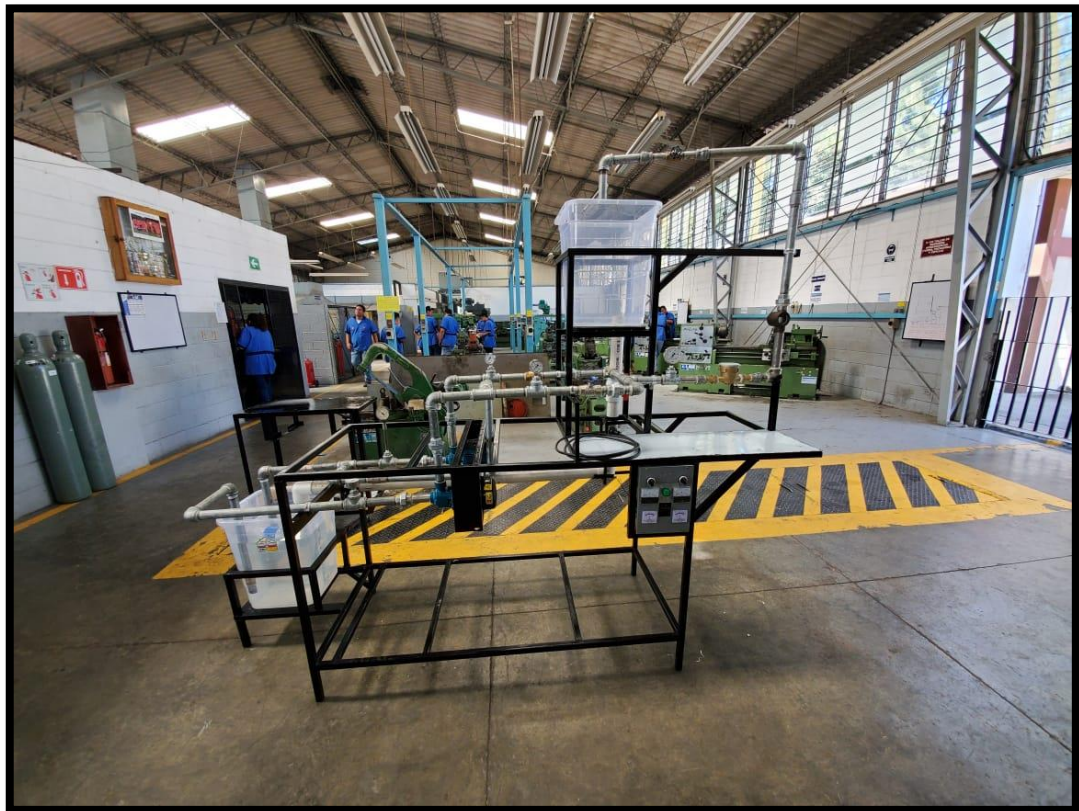
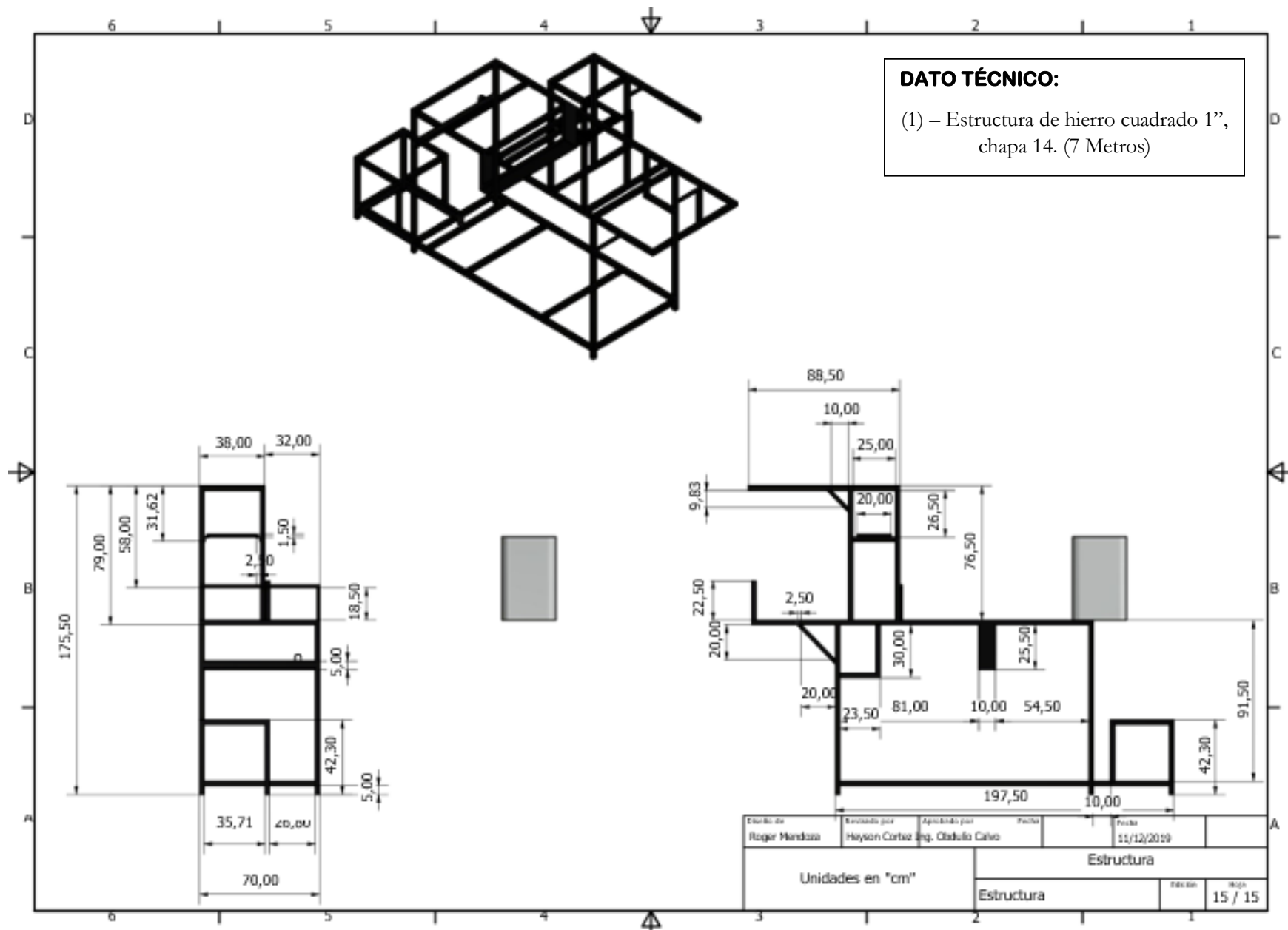
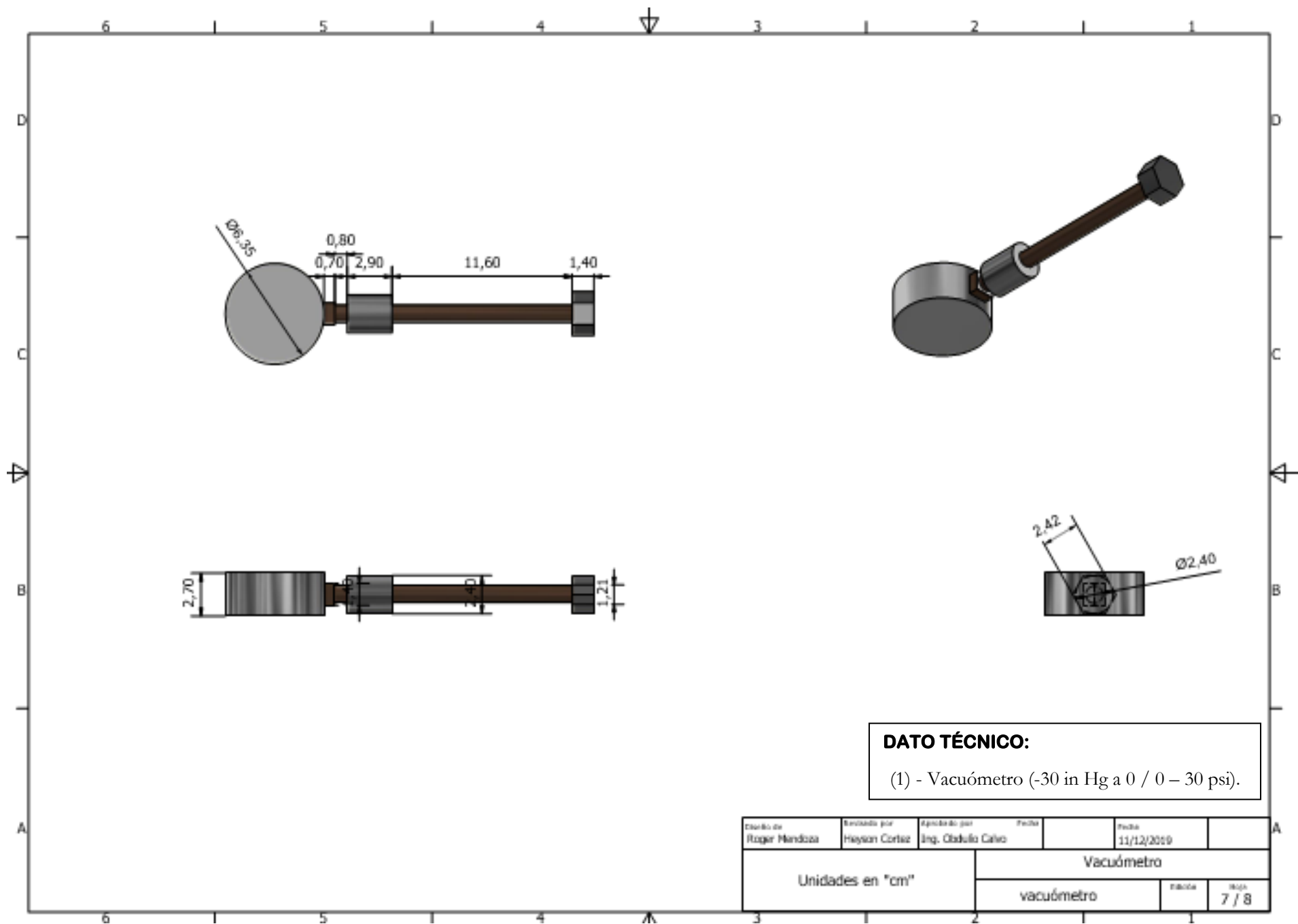


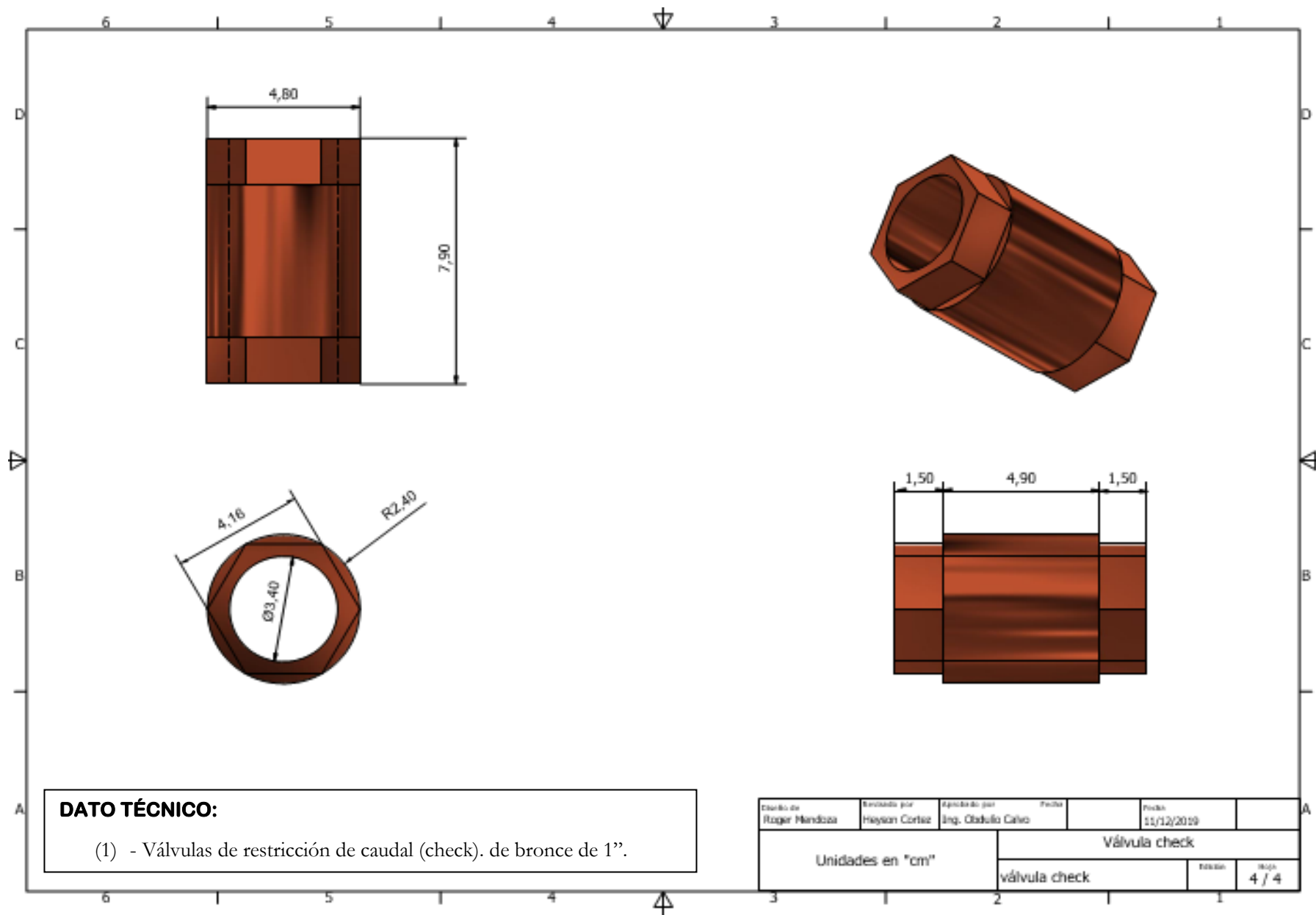
Foto 3

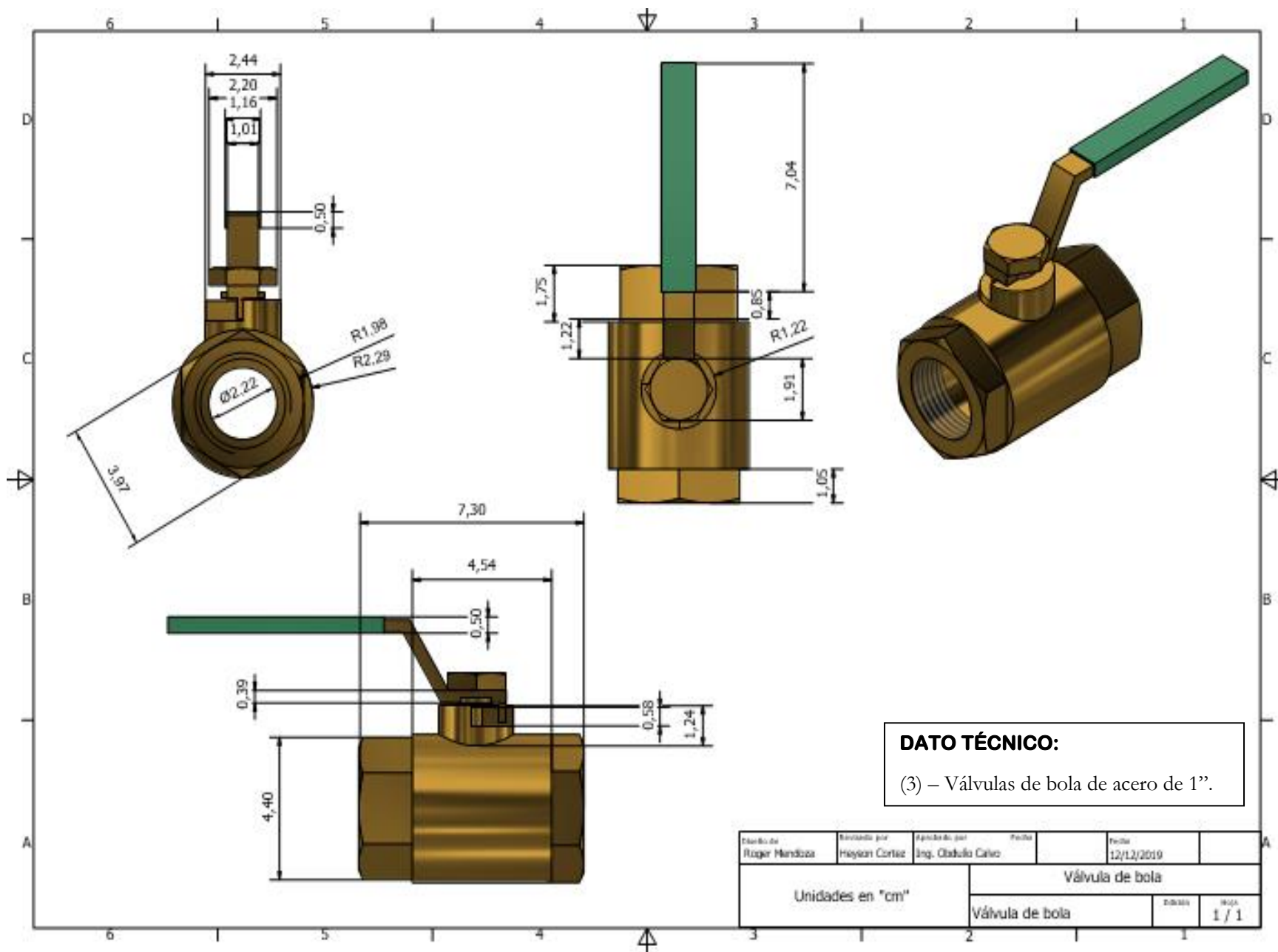
ANEXO 3

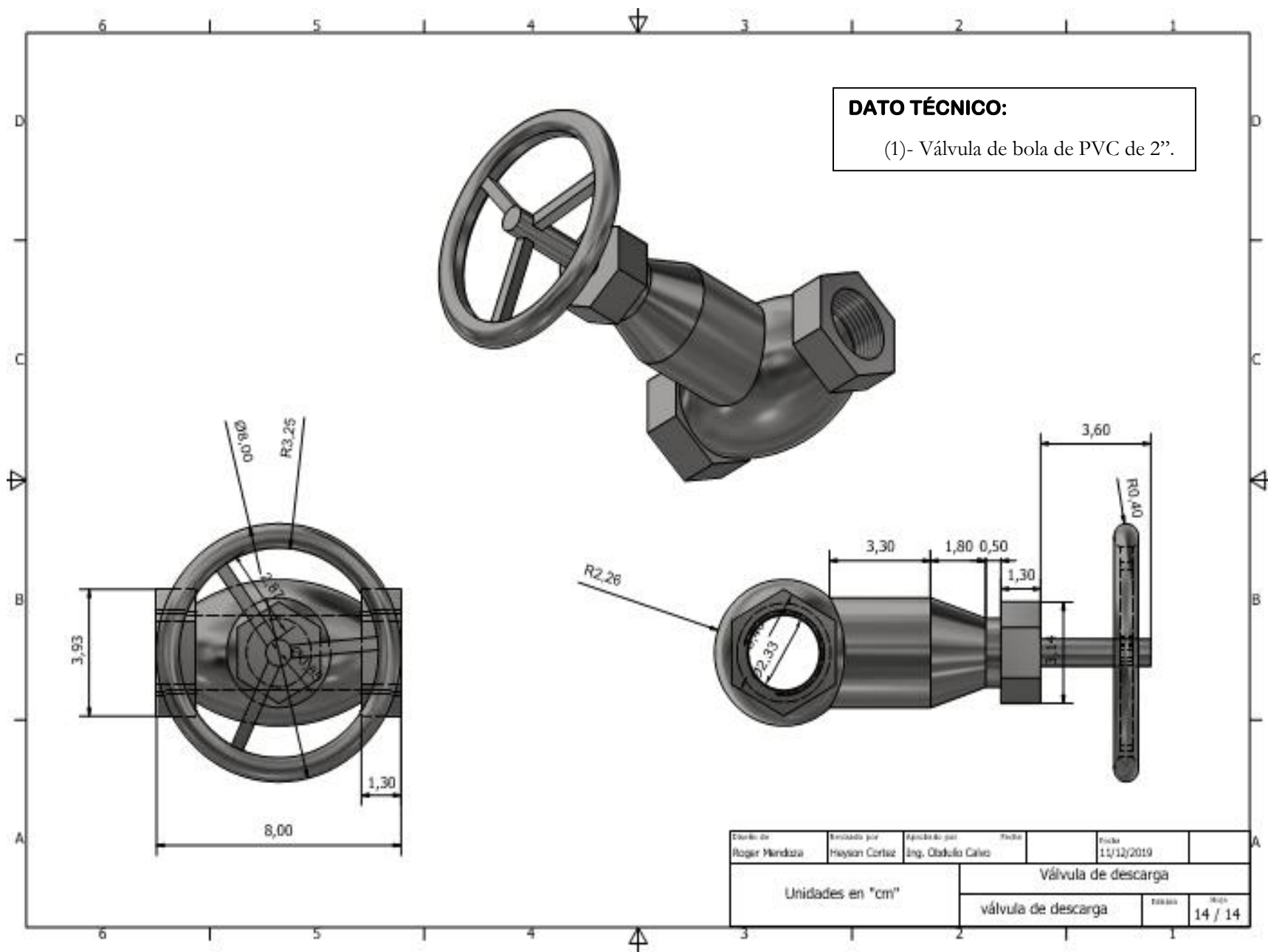
PLANOS MECÁNICOS

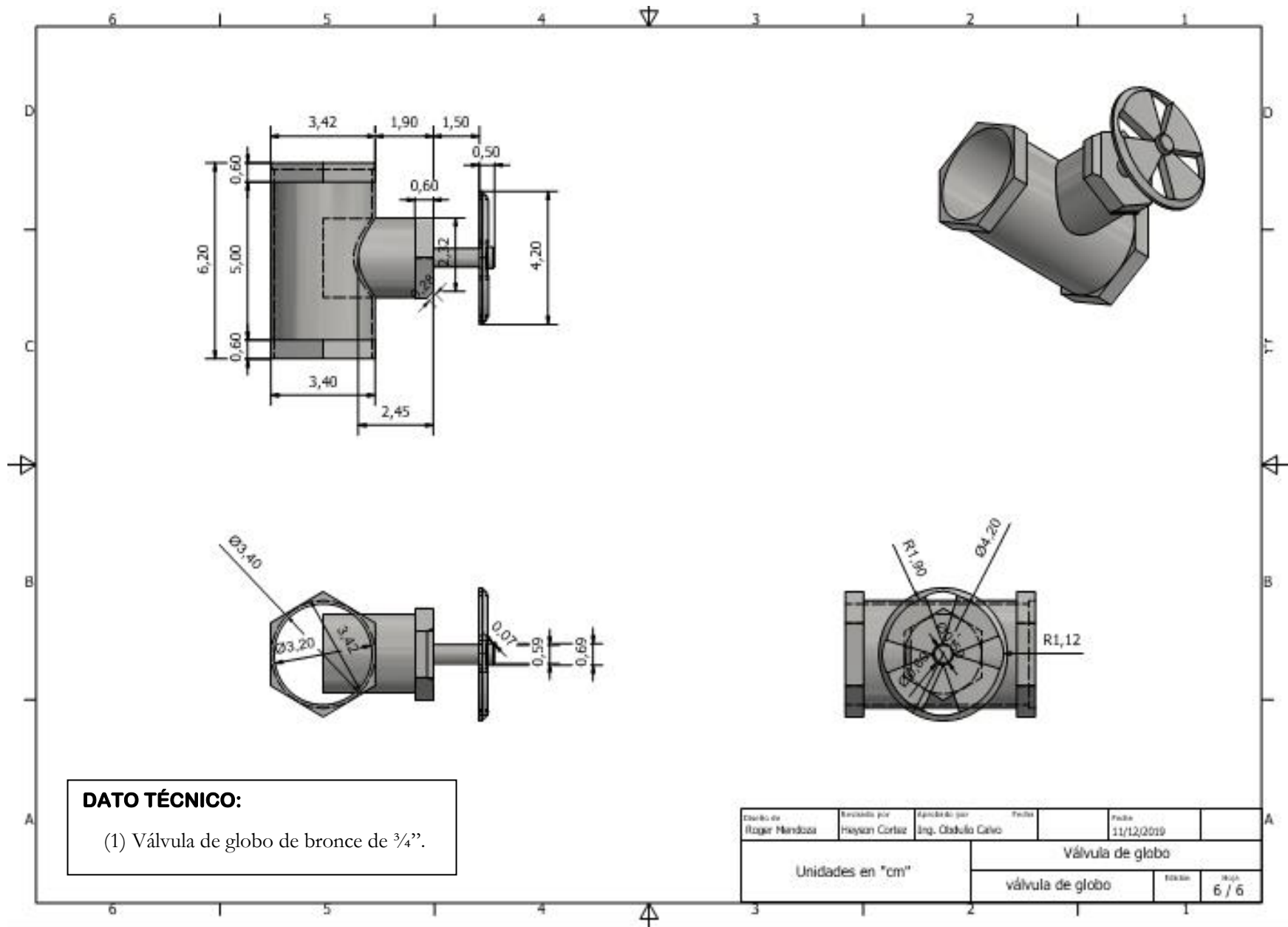


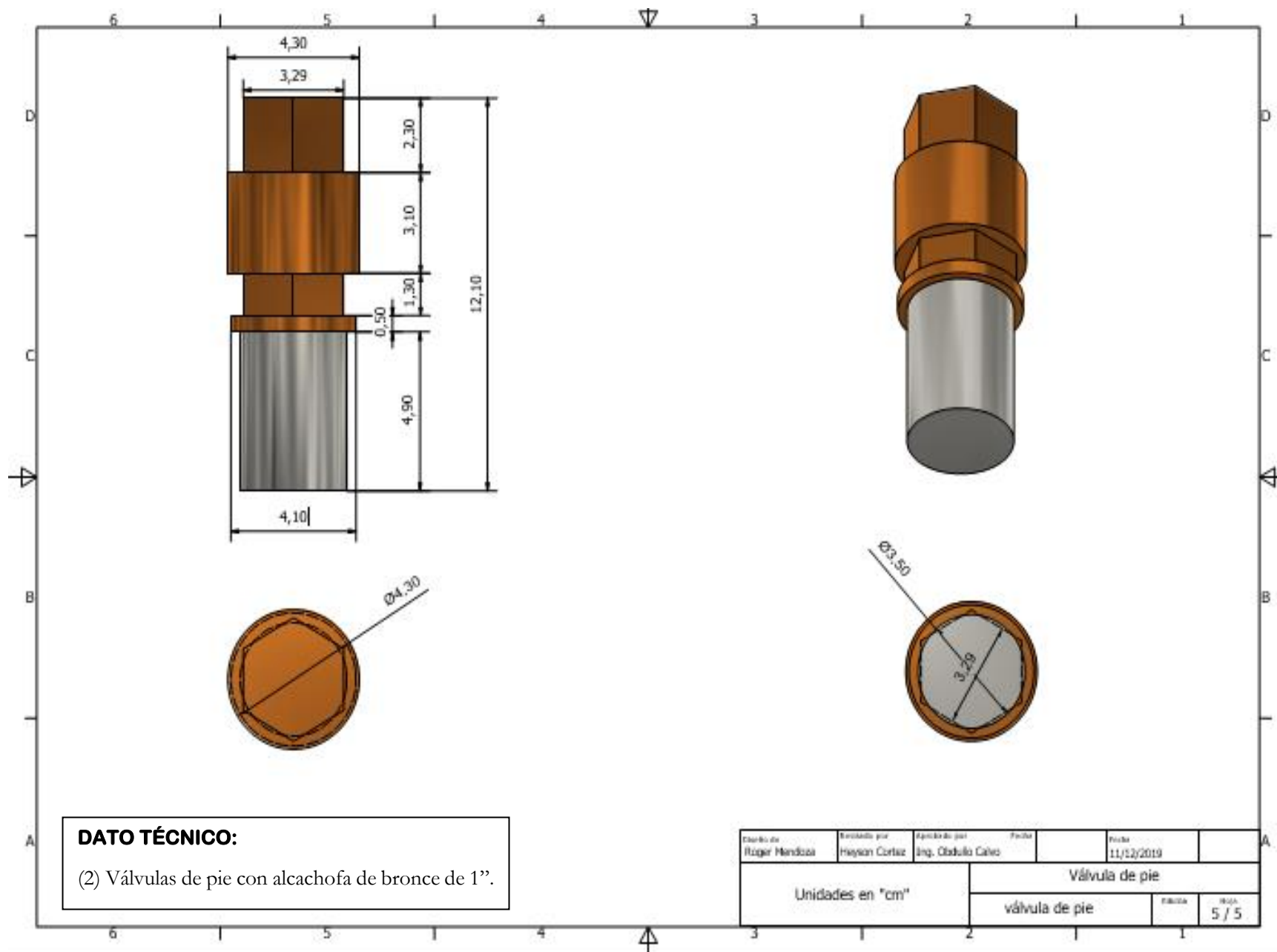


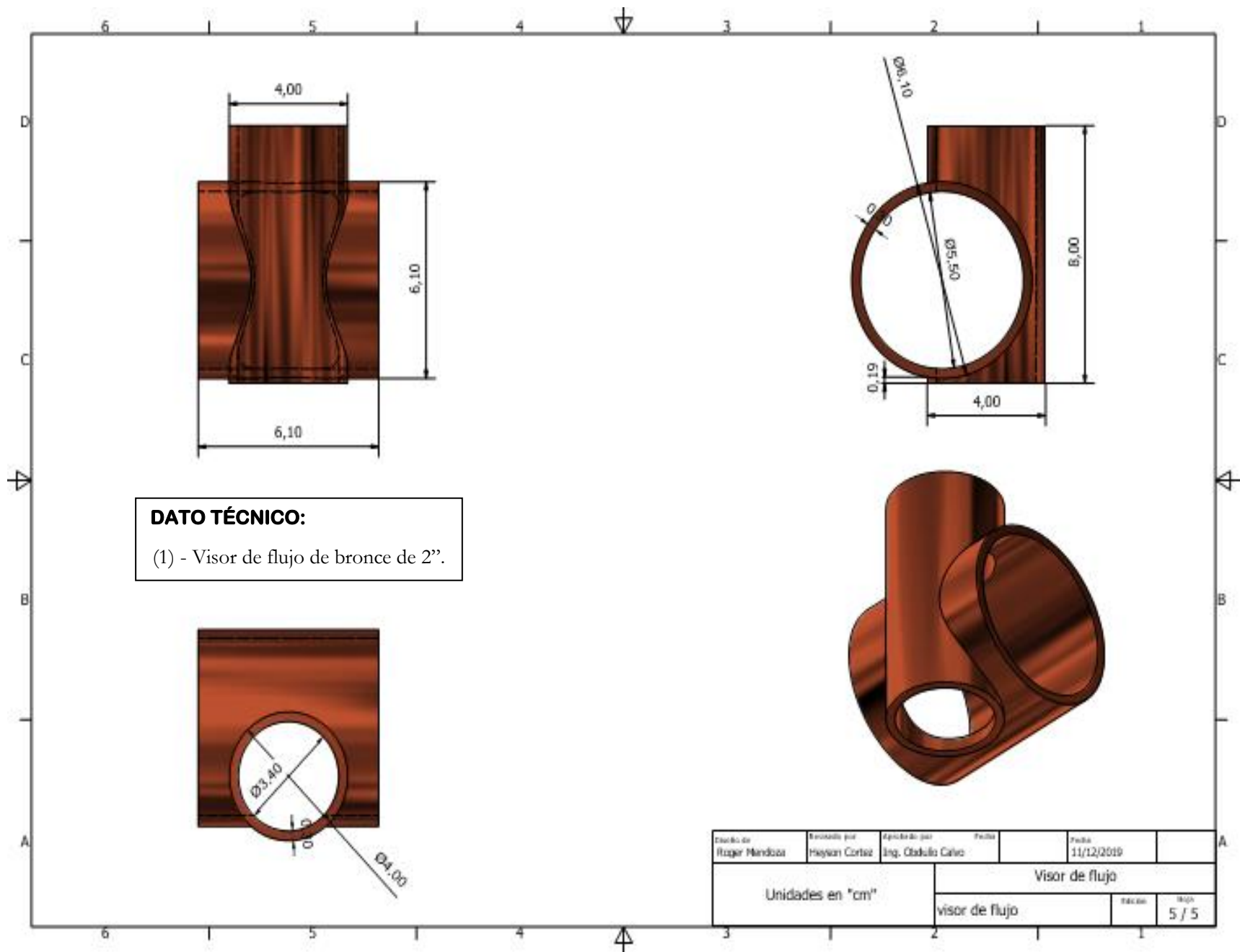


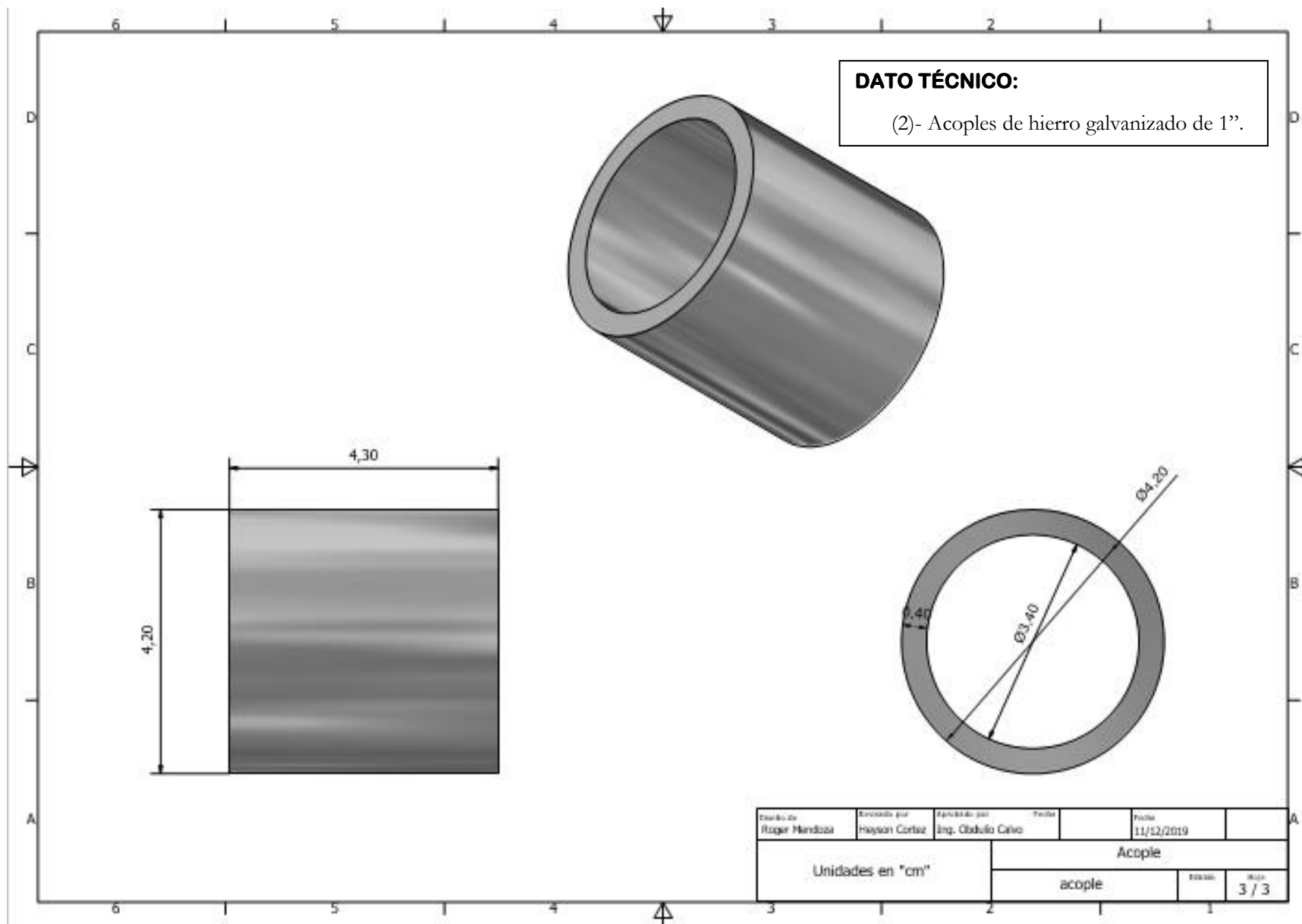


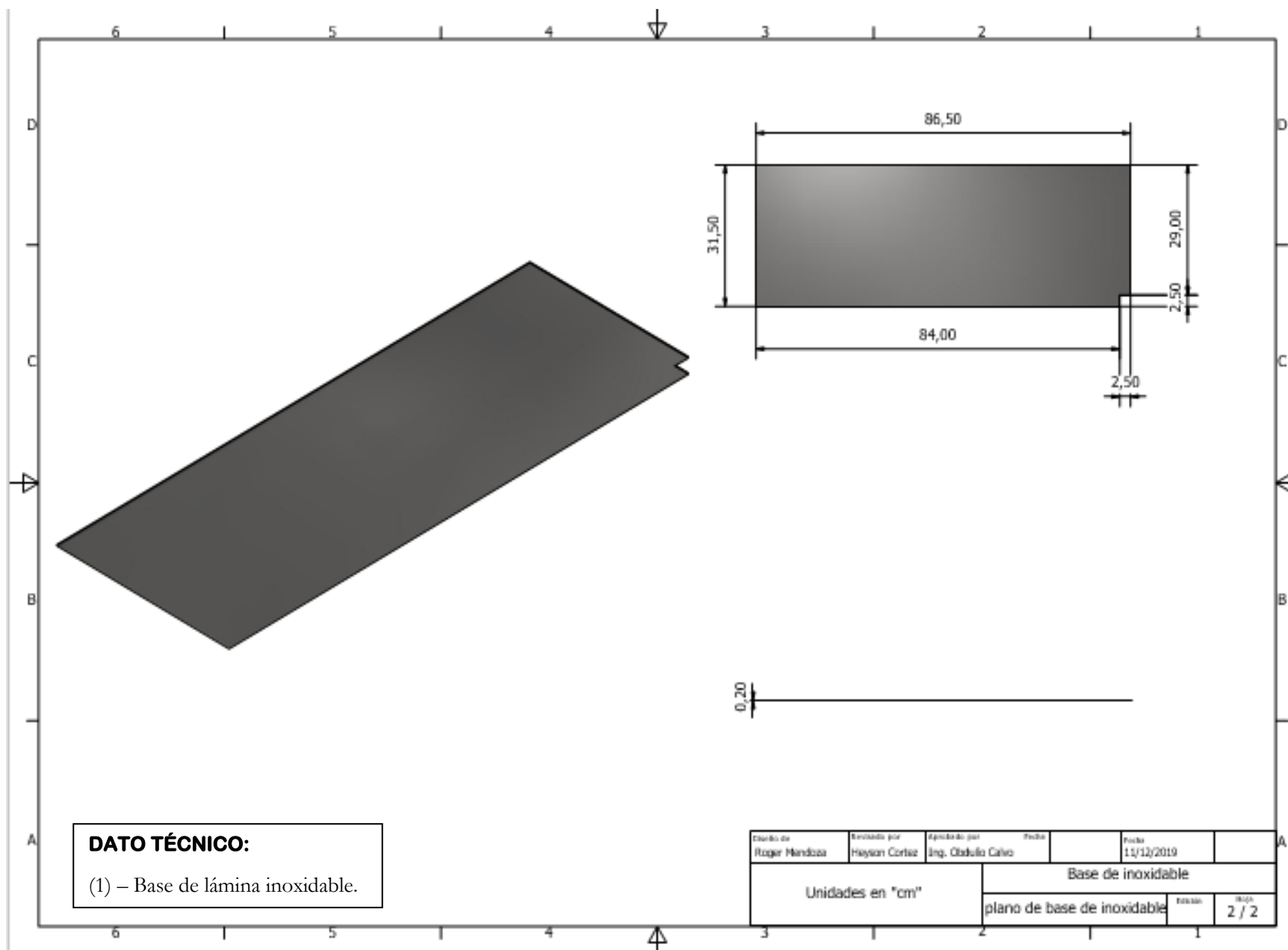


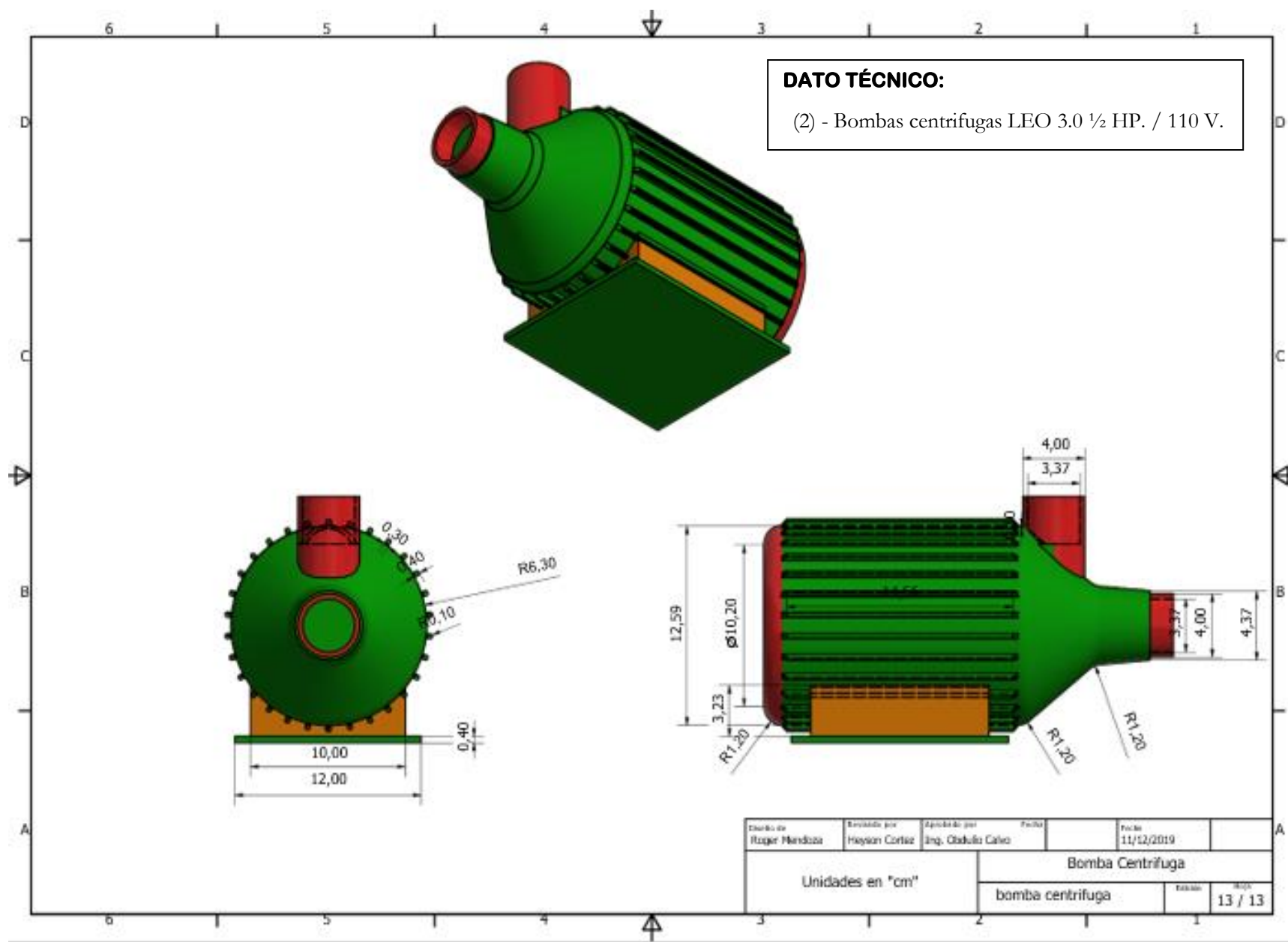


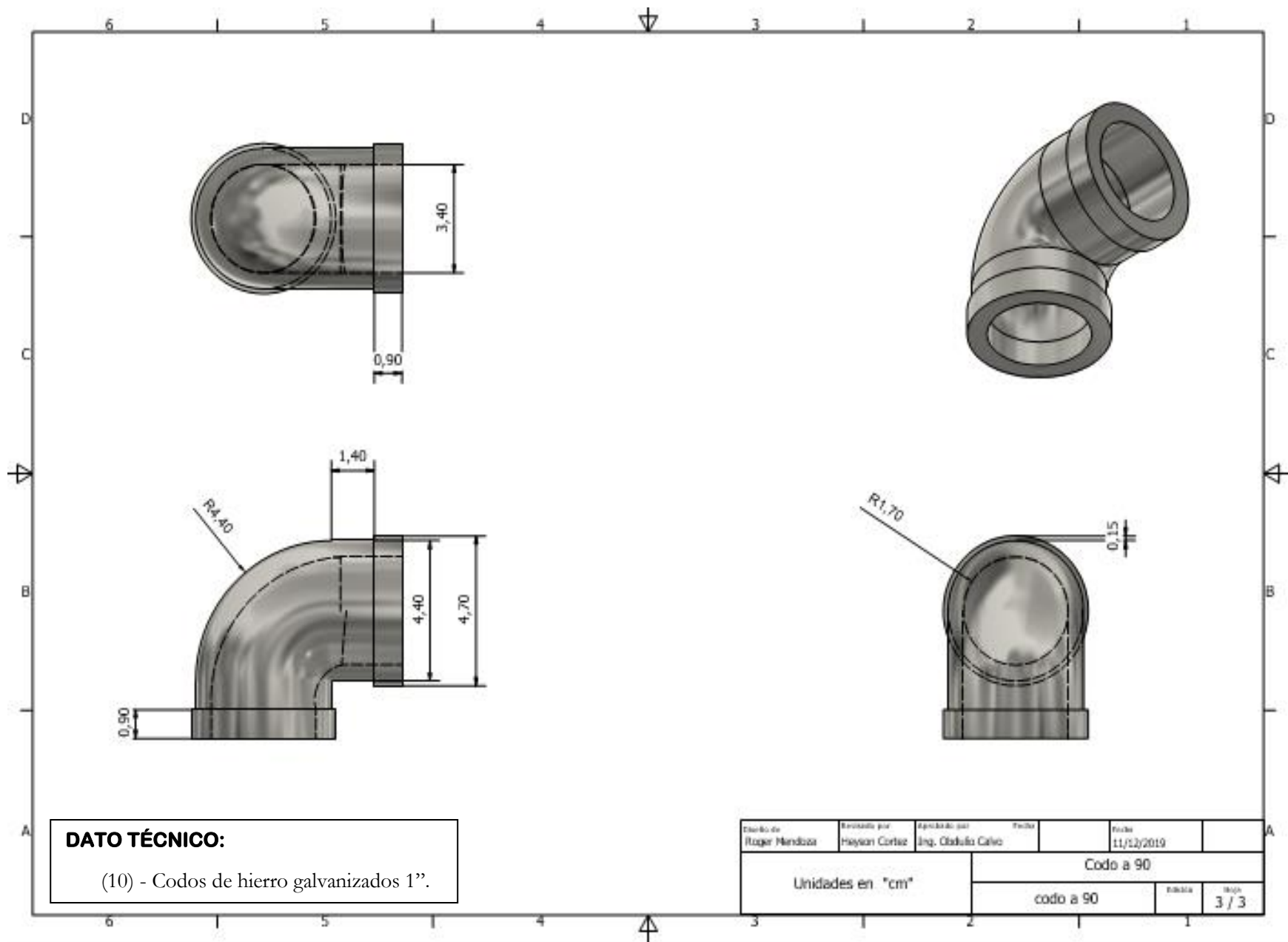


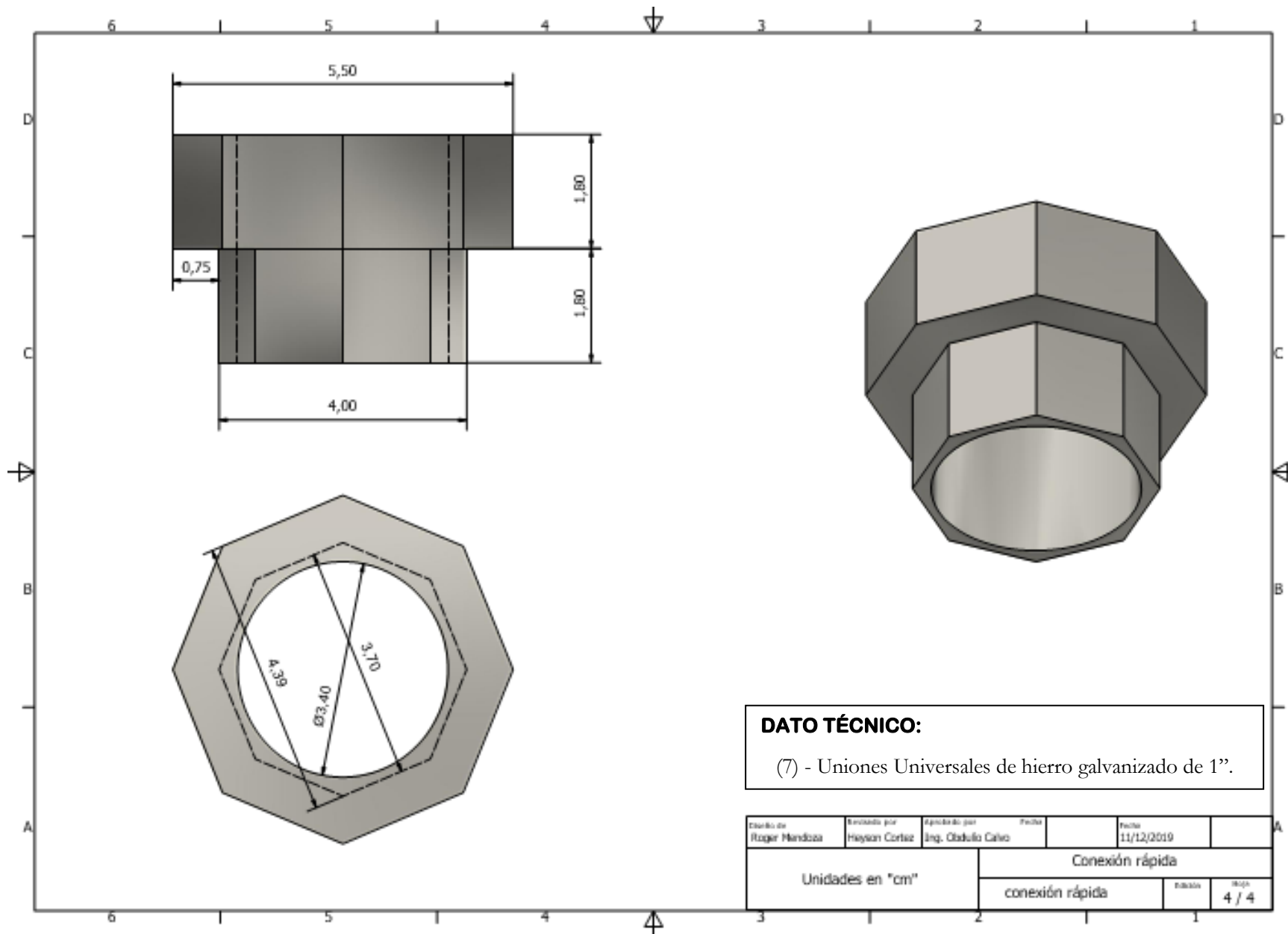


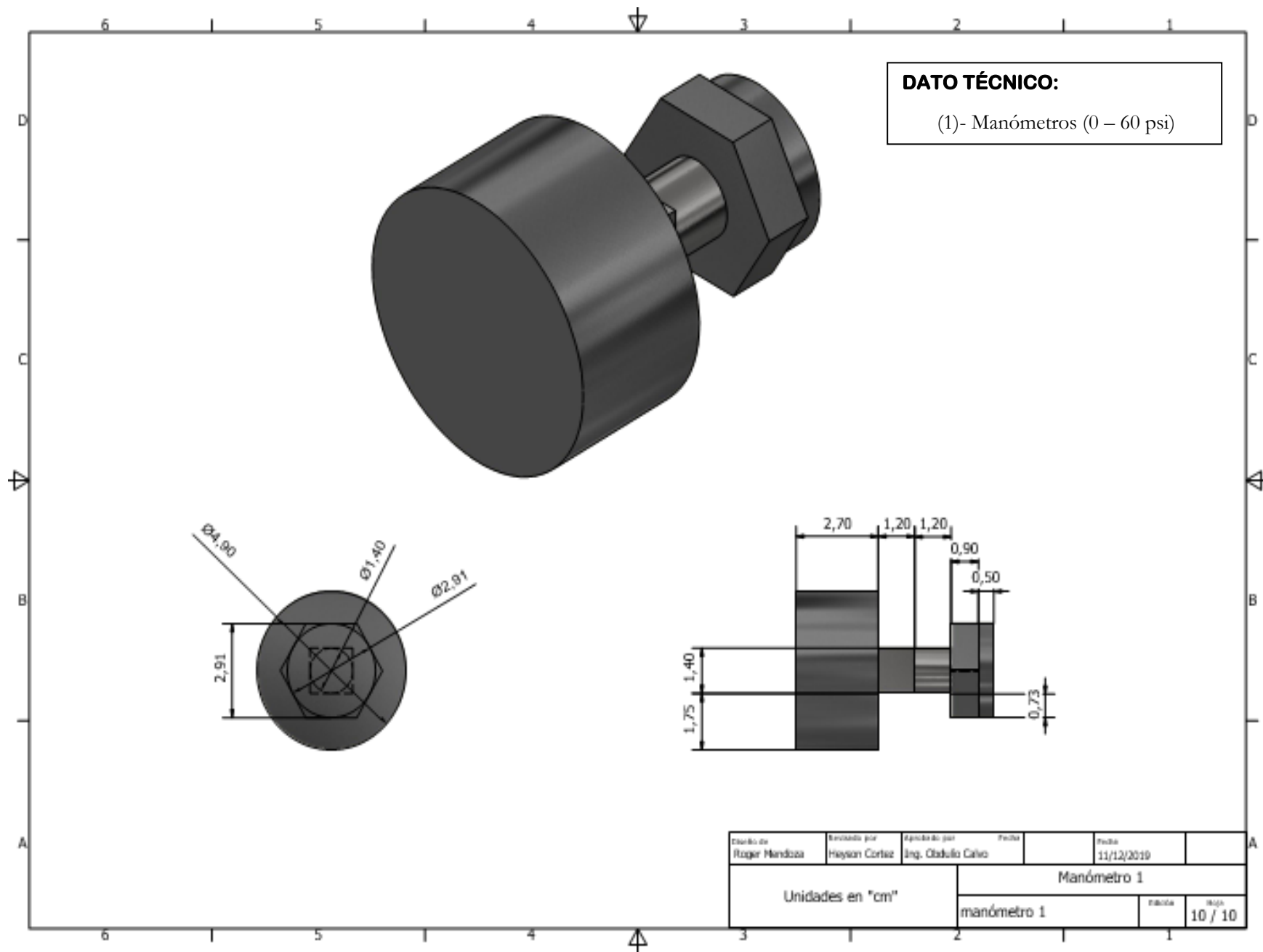


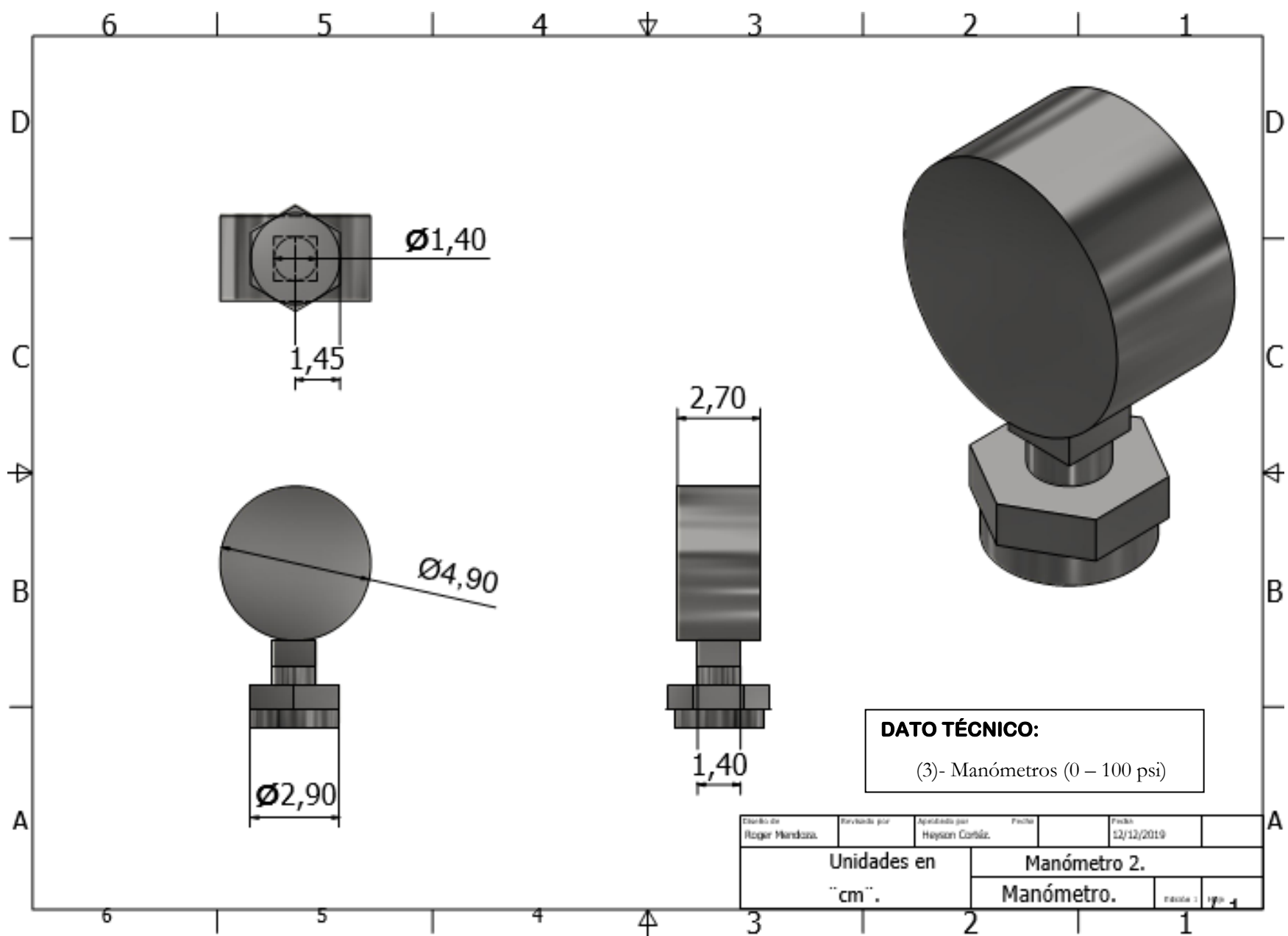


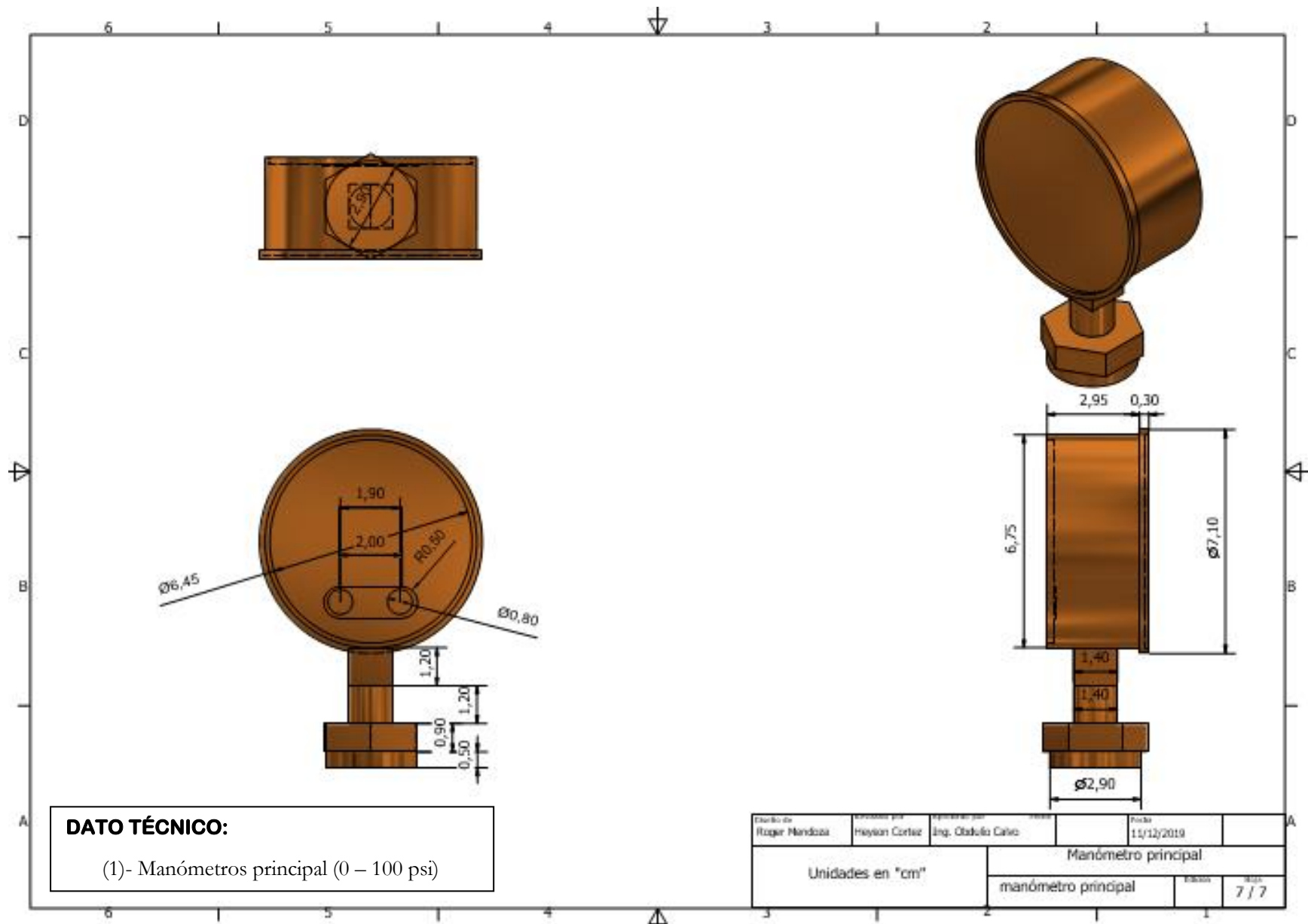


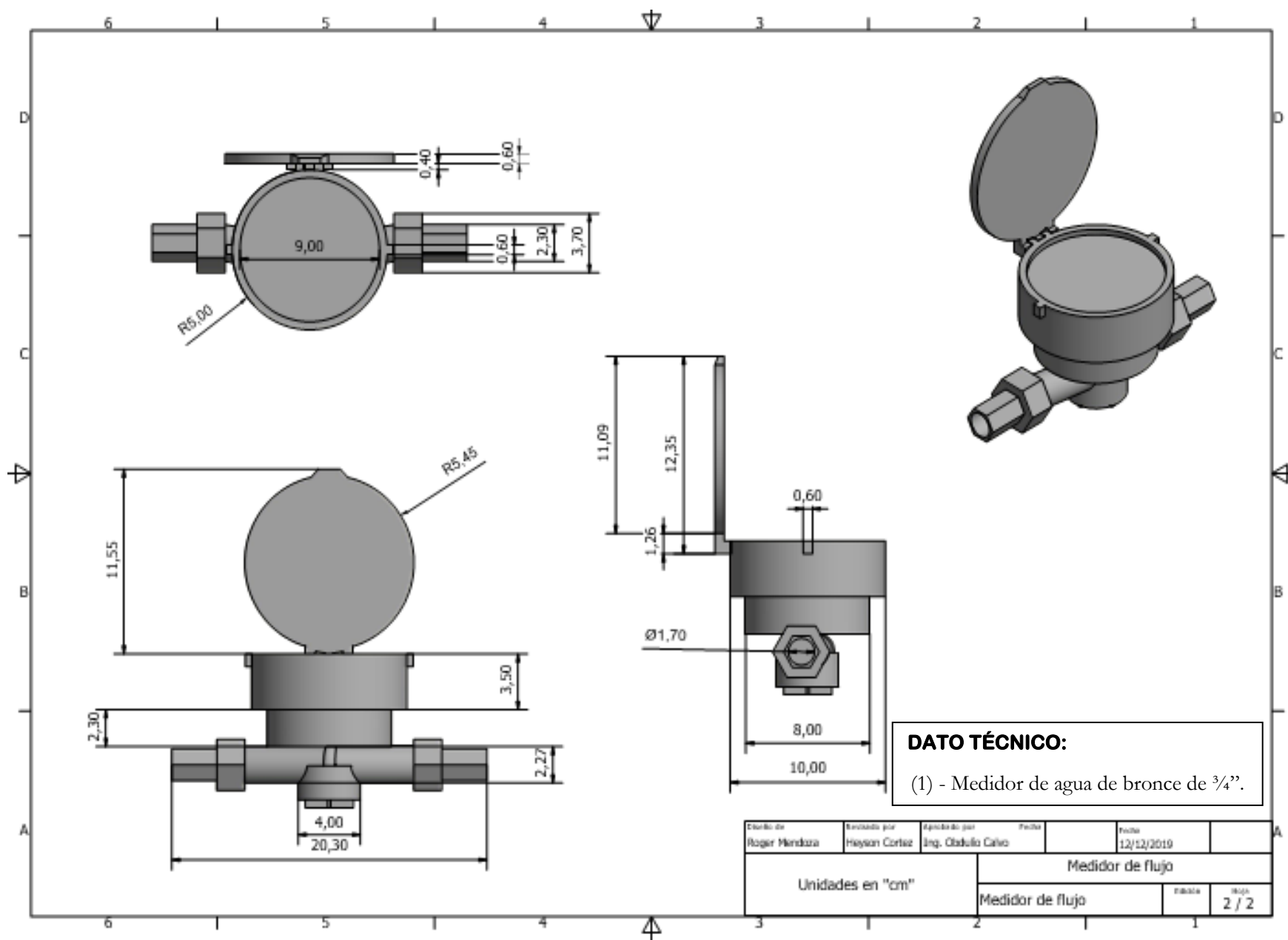


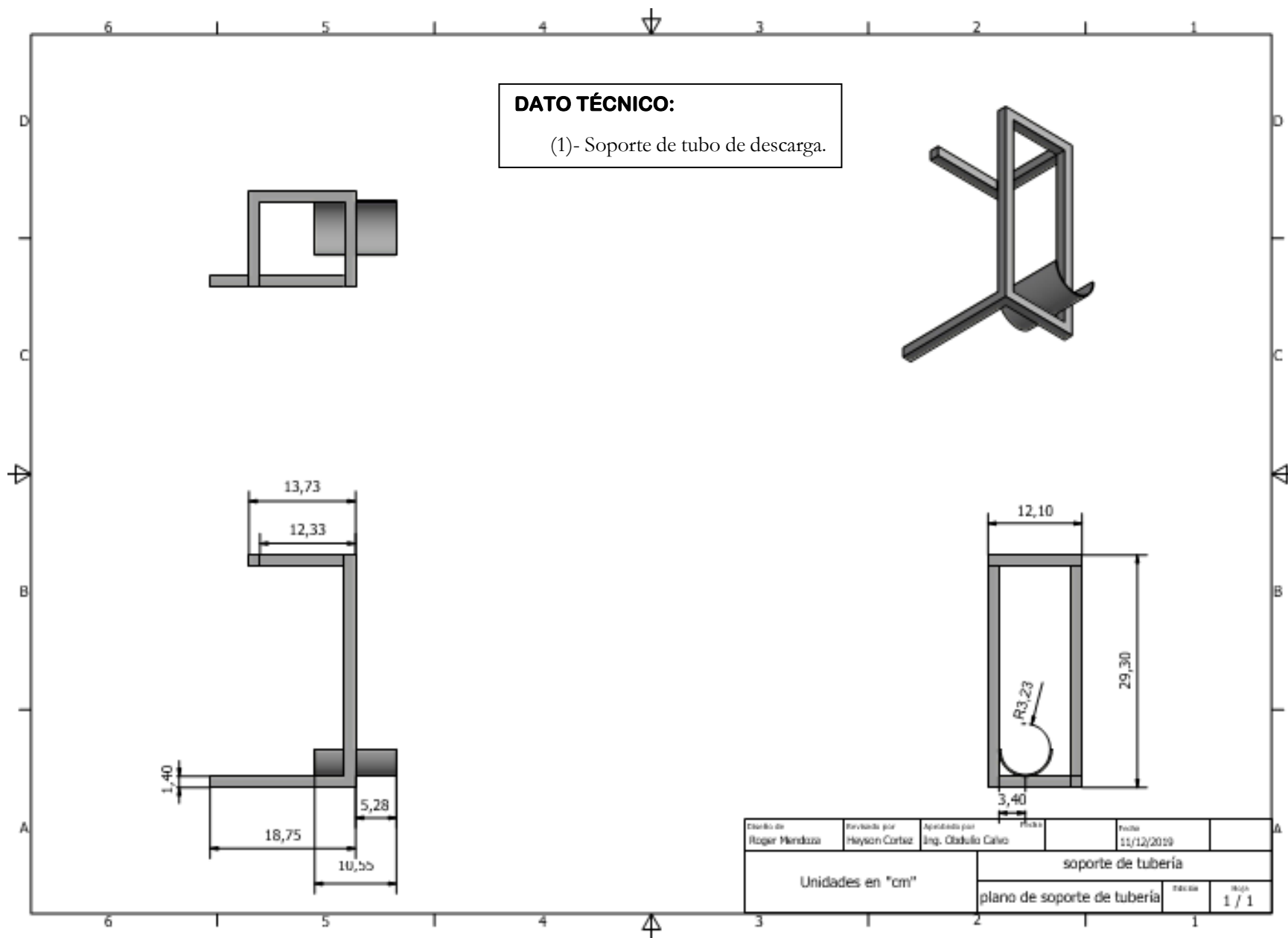


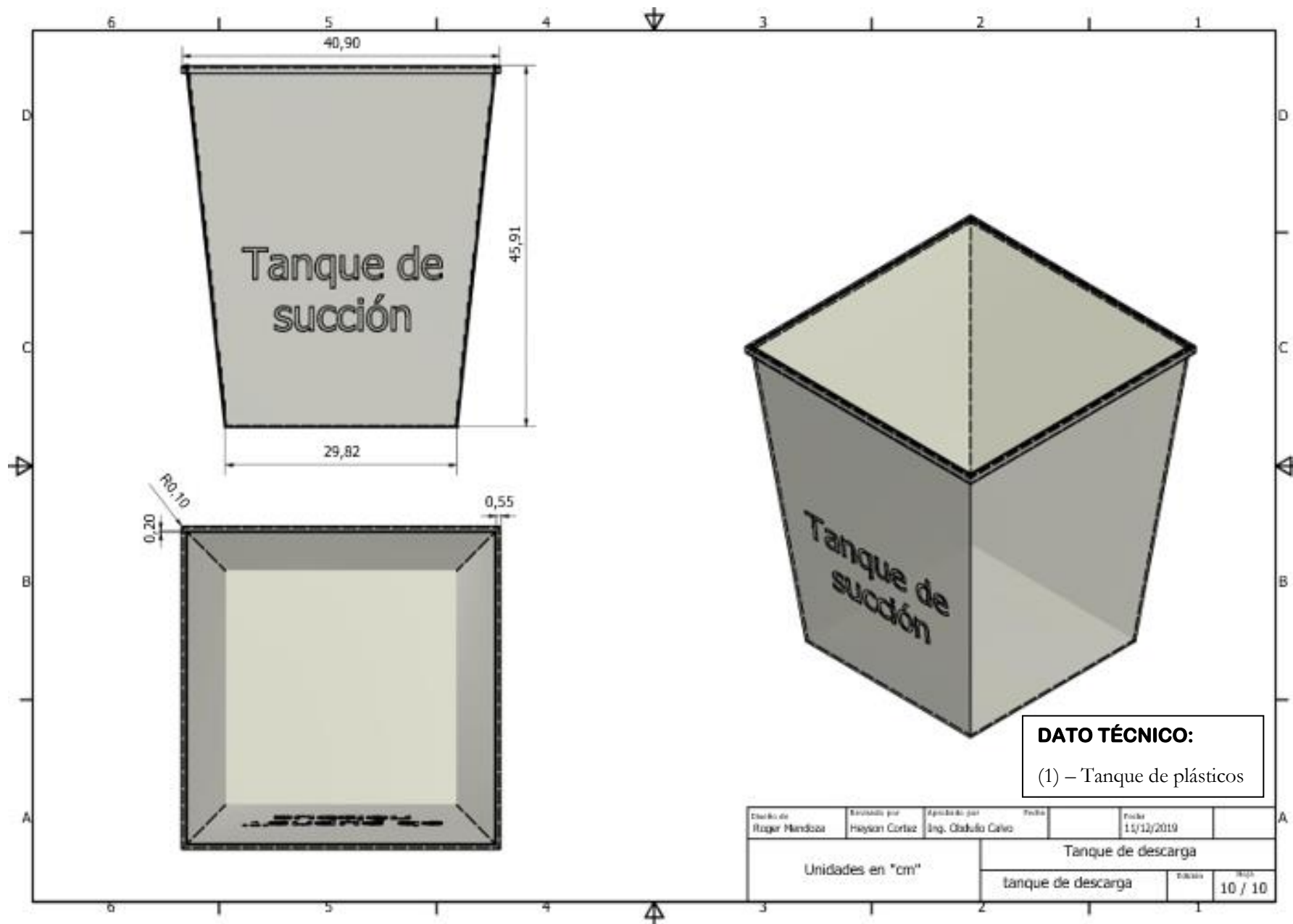


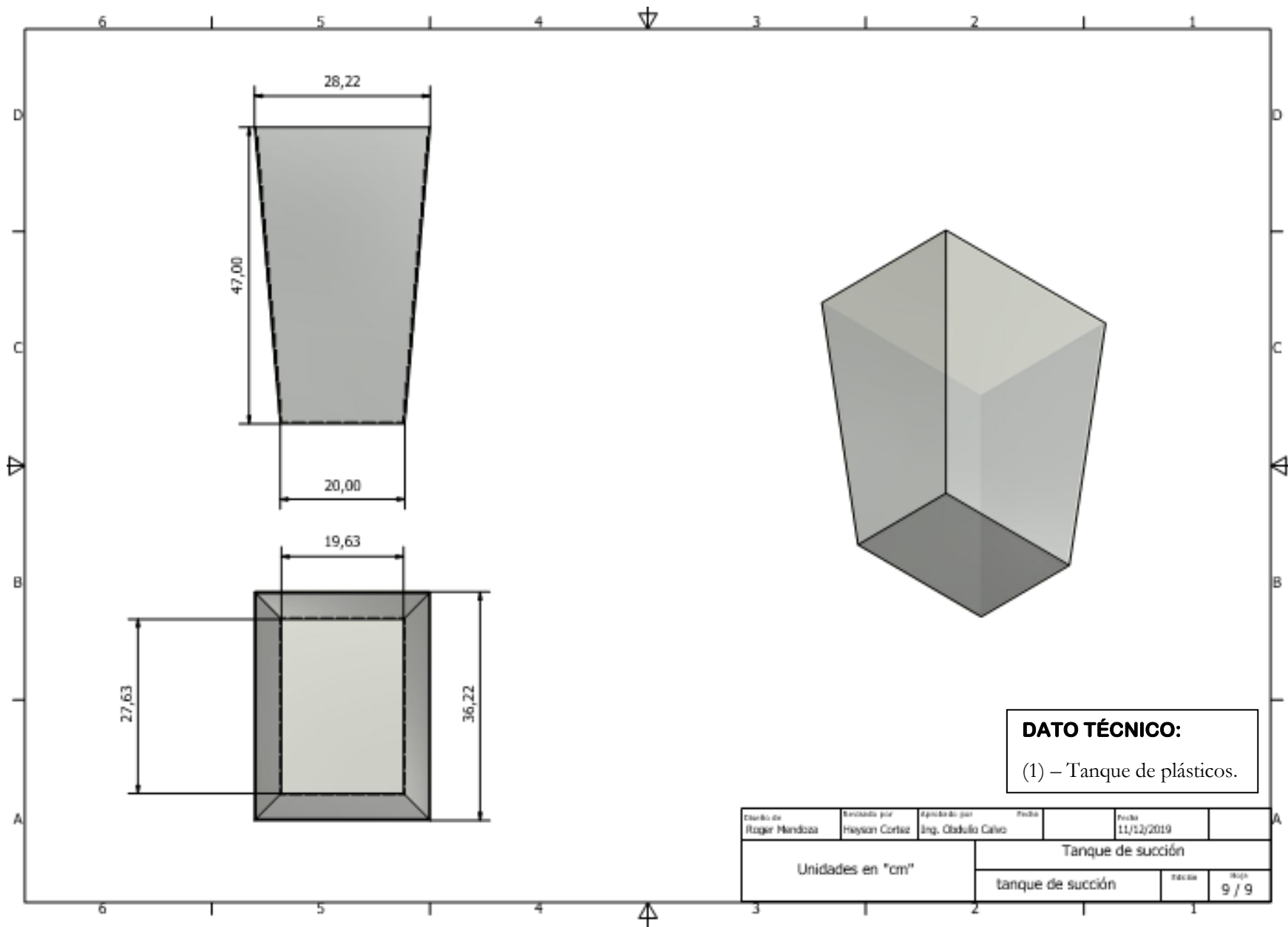


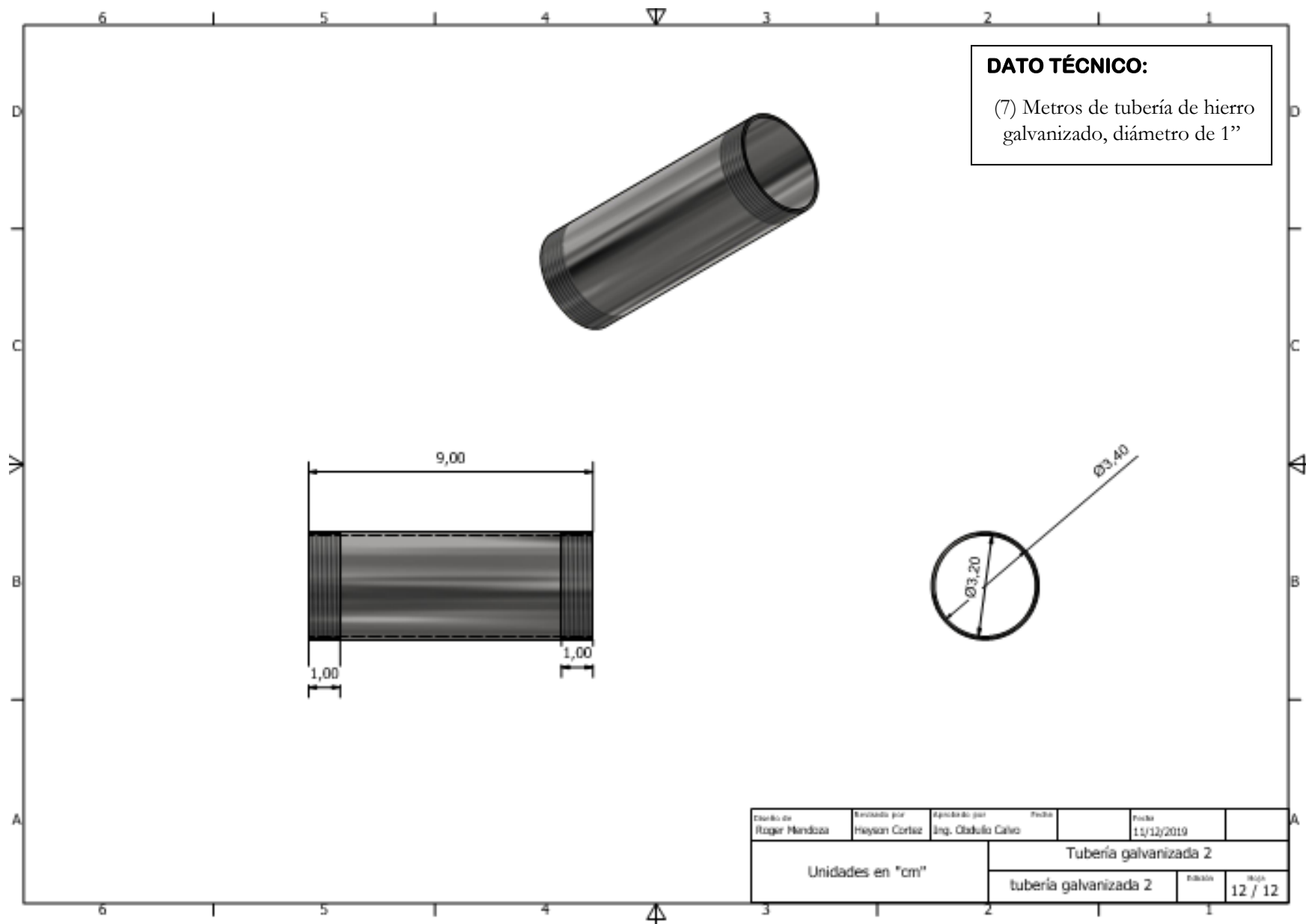


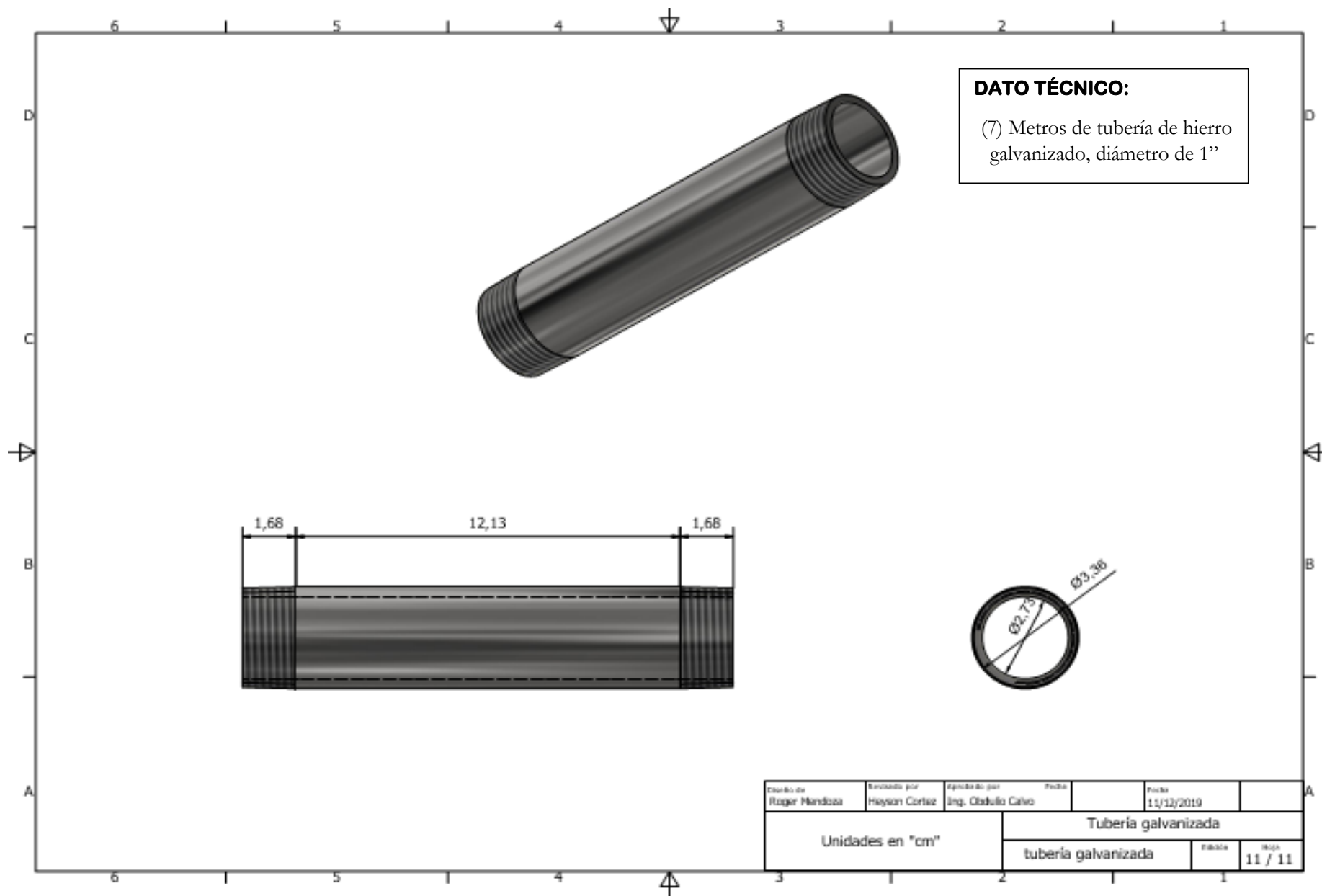


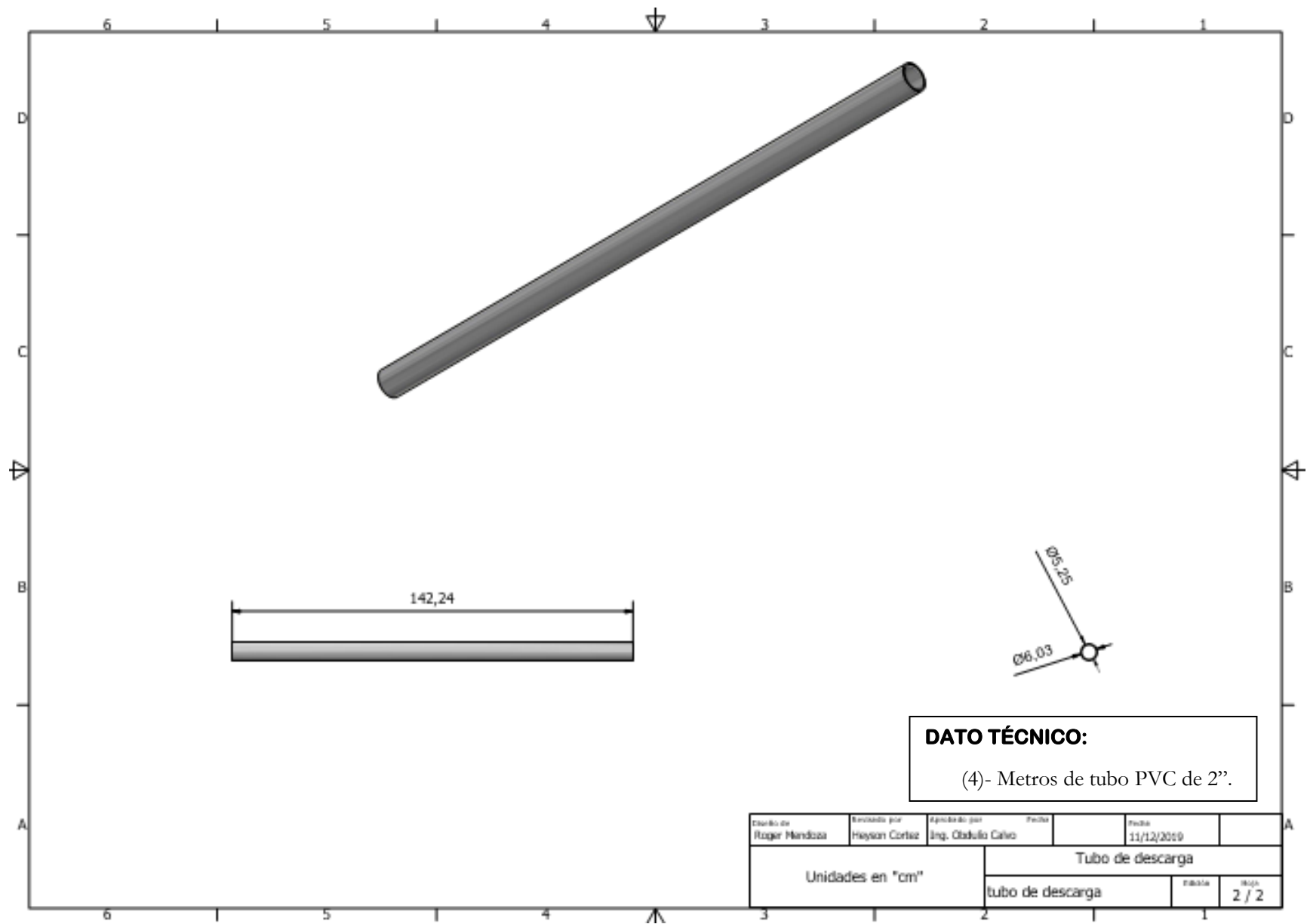


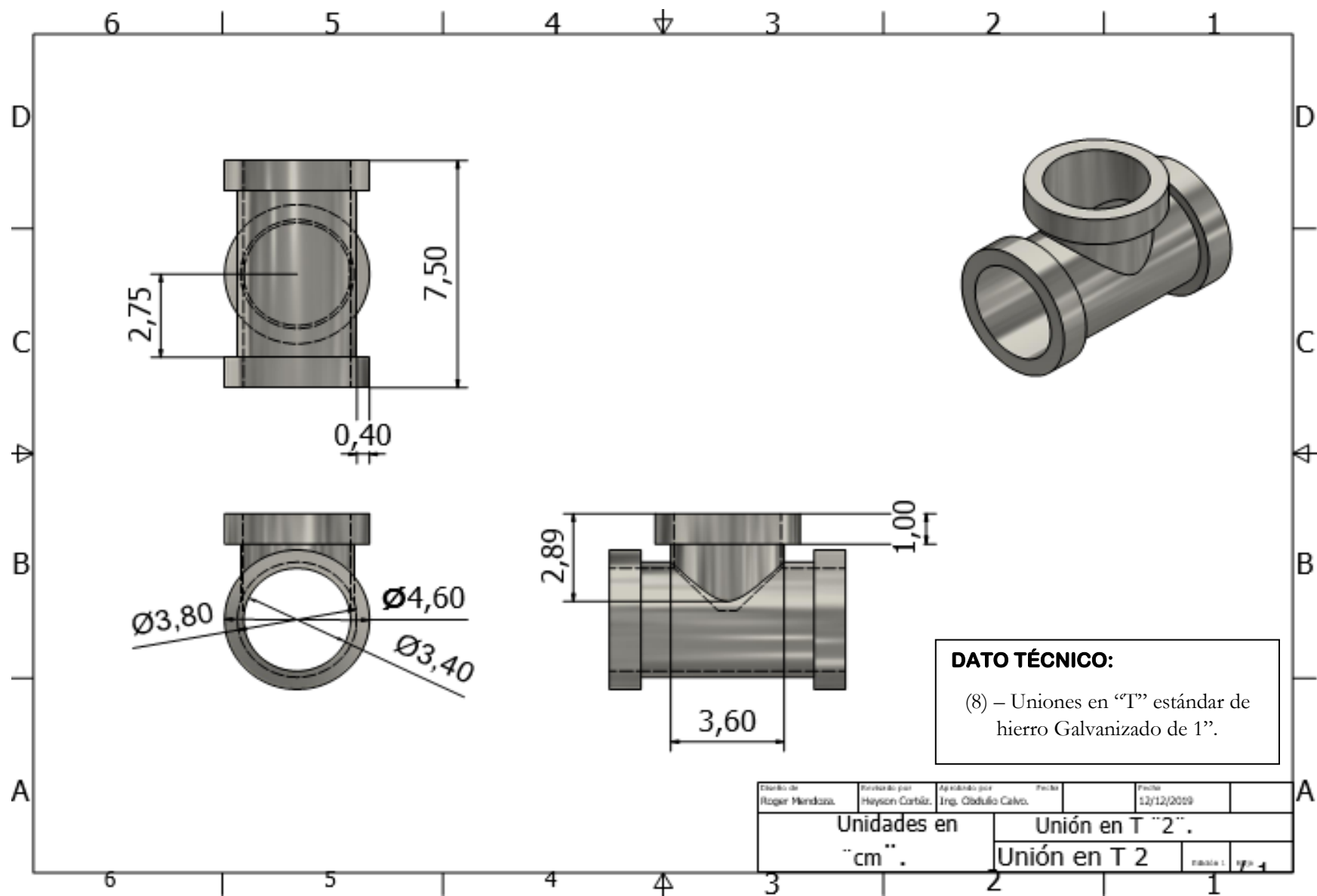








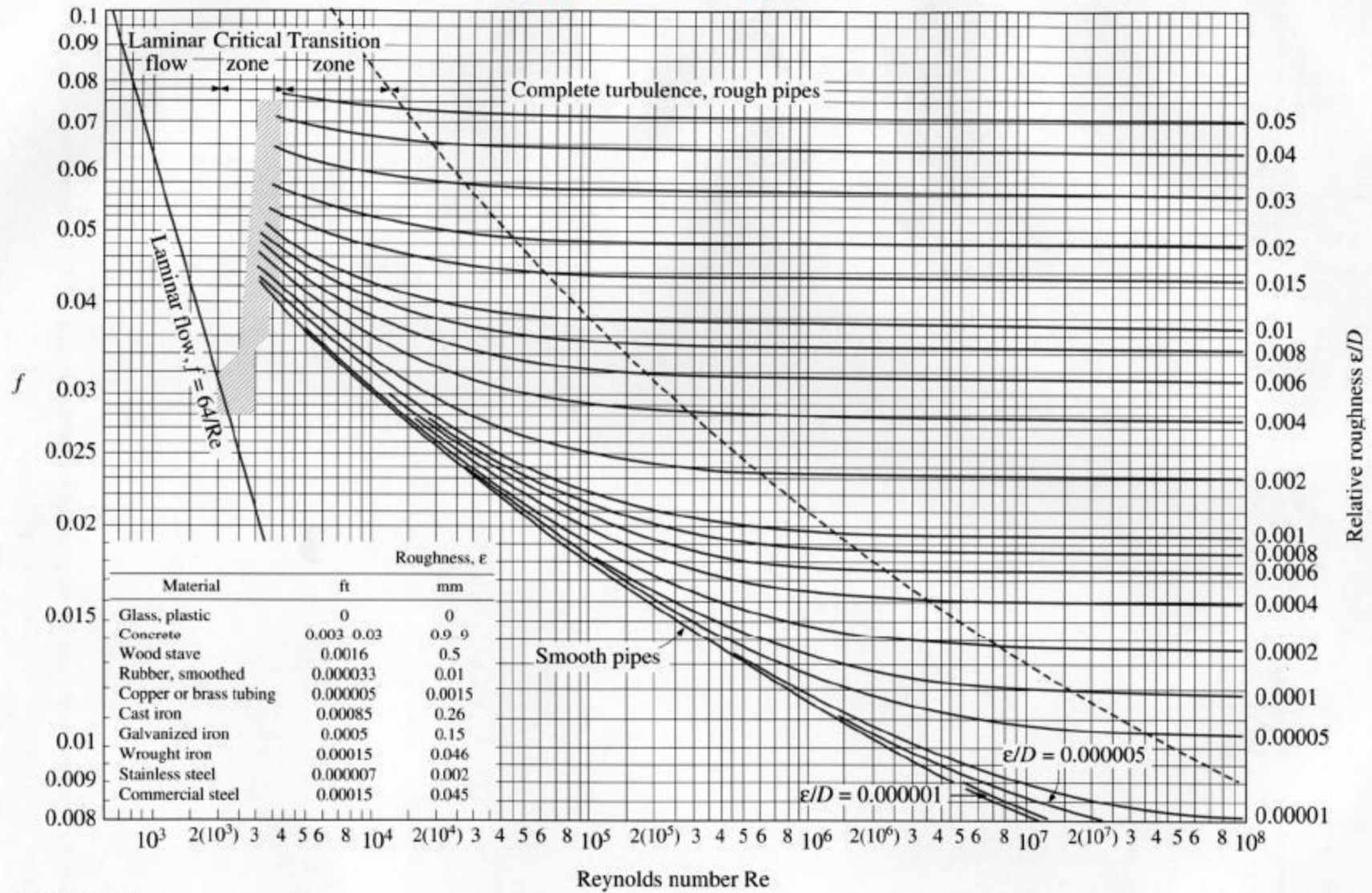




ANEXO 4

DIAGRAMA DE MOODY

Diagrama de Moody



ANEXO 5

COEFICIENTES DE PERDIDA (K) EN ACCESORIOS DE TUBERIA

Coefficiente de pérdida (K) para válvulas de pie abierta con rejilla.
(Sotelo A., G., 1982).

D (cm)	4	5	6.5	8	10	12.5	15	20	25	30	35	40	45	50
K	12.9	10.0	8.8	8.0	7.0	6.5	6.0	5.2	4.4	3.7	3.4	3.1	2.8	2.5

Coefficiente de pérdida (K) para aditamentos de tuberías.
(Munson .B. R. et al., 1990).

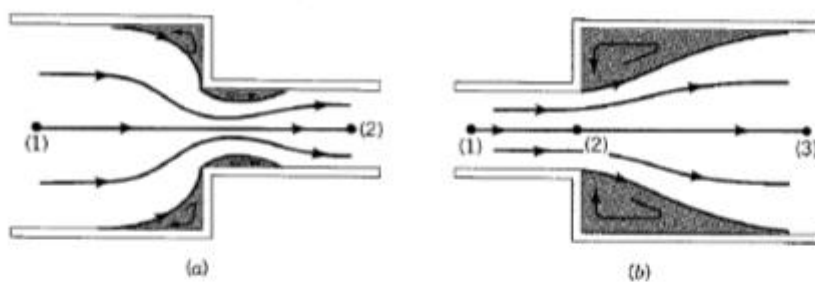
Componente	K	Diagrama
Codos		
Radio corto 90° con bridas o extremo liso	0.3	
Radio corto 90° extremos roscados.	1.5	
Radio largo 90° con bridas o extremo liso	0.2	
Radio largo 90° extremos roscados.	0.7	
Radio largo 45° con bridas.	0.2	
Radio corto 45° extremos roscados.	0.4	
Curvas a 180°		
Curvas a 180° con bridas	0.2	
Curvas a 180° con extremos roscados	1.5	
Tees		
Paso directo con bridas o extremos lisos	0.2	
Paso directo con extremos roscados	0.9	
Salida de lado con bridas o extremos lisos	1.0	
Salida de lado con extremos roscados	2.0	
Union con extremos roscados	0.08	
Válvulas		
Globo totalmente abiertas	10	
Angulo totalmente abiertas	2	
Compuerta totalmente abiertas	0.15	
Compuerta 1/4 cerrada	0.26	
Compuerta 1/2 cerrada	2.1	
Compuerta 3/4 cerrada	17	
Cheque en el sentido del flujo	2	
Bola totalmente abierta	0.05	
Bola 1/3 cerrada	5.5	
Bola 2/3 cerrada	210	

Figura					
K	0.5	1.0	1.5	3.0	0.05

Figura				
K	0.1	0.15	2.0	3.0

Coeficiente de pérdidas (K) por cambio de dirección. (Mataix C., 1982).

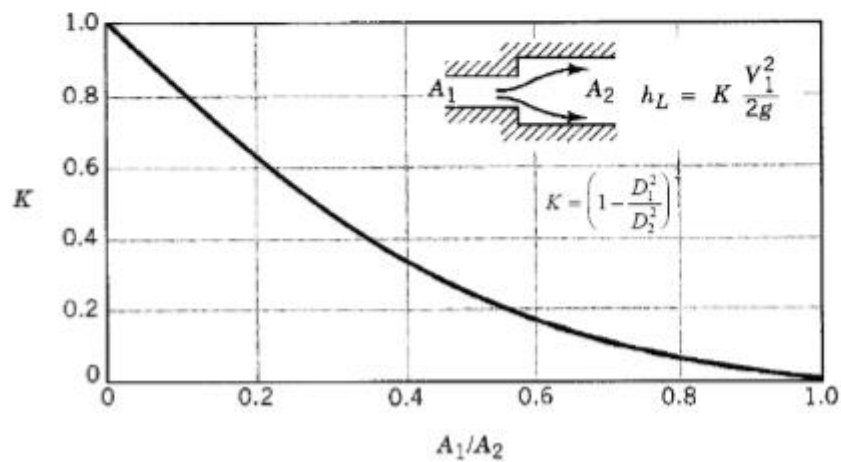
Coeficiente de pérdidas por cambio en la geometría del conducto

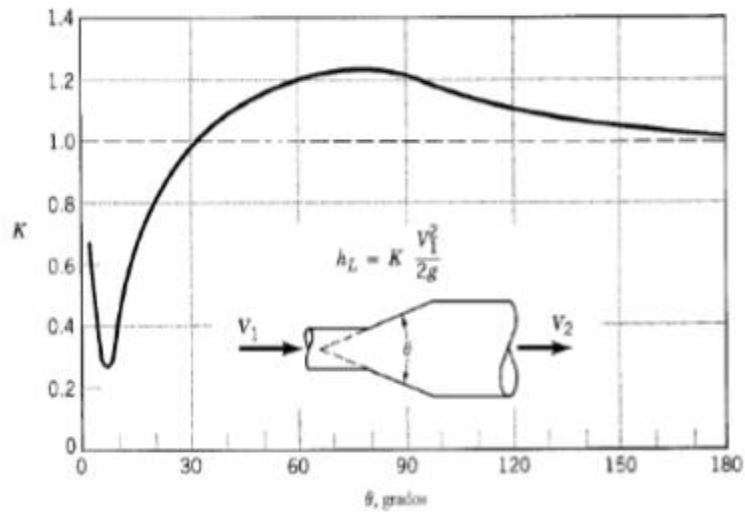


Condiciones de flujo en cambios bruscos de diámetro.

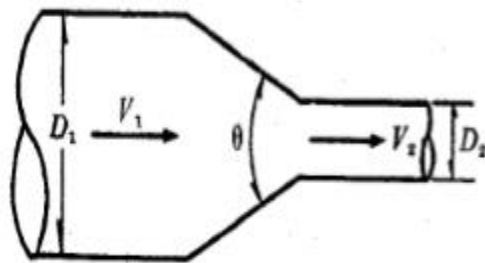
(a) Contracción, (b) Expansión.

(Munson B. R. et al., 1994)





Coefficiente de pérdida (K) para expansión suave.
(Munson B. R. et al., 1994)



Contracción gradual. (Sotelo A. G., 1982).

Coefficiente de pérdida (K) para contracción gradual en función de la velocidad de salida. Conductos redondos y rectangulares. (Sotelo A., G., 1982).

Longitudes equivalentes representativas (Le/D) para válvulas y accesorios.
(Fox, R. W. et al., 1992).

Accesorio	Le/D
Válvulas completamente abiertas	
- Válvula de compuerta	8
- Válvula de globo	340
- Válvula de ángulo	150
- Válvula de bola	3
- Válvula de cheque	
Globo	600
Angulo	55
- Válvula de pie con coladera	
Disco cabezal	420
Disco con bisagra	75
Codo de 90°	30
Codo de 45°	16
Retorno a 180°	50
Tee de paso directo	20
Tee de salida lateral	60

ANEXO 6

GLOSARIO

- **Anillos de desgaste:**
Son un elemento fácil y barato de remover en aquellas partes en donde debido a las cerradas holguras entre el impulsor y la carcasa, el desgaste es casi seguro, evitando así la necesidad de cambiar estos elementos y quitar solo los anillos.
- **Bases:**
Sirven de soporte a la bomba, sosteniendo el peso de toda ella
- **Carcasa:**
Es la parte exterior protectora de la bomba y cumple la función de convertir la energía de velocidad impartida al líquido por el impulsor en energía depresión. Esto se lleva a cabo mediante reducción de la velocidad por un aumento gradual del área.
- **Carga de succión:**
Es la carga estática de succión menos la carga de fricción total y las pérdidas de admisión, más cualquier presión que se encuentre en la línea de succión. Es una presión negativa (hay vacío) y se suma algebraicamente a la carga estática de succión del sistema.
- **Carga neta de succión positiva (NPSH):**
Es la presión disponible o requerida para forzar un gasto determinado, en litros por segundo, a través de la tubería de succión, al ojo del impulsor, cilindro o carcasa de una bomba. En el bombeo de líquidos la presión en cualquier punto en la línea de succión nunca deberá reducirse a la presión de vapor del líquido.
- **Carga Hidráulica:**
Es la energía impartida al líquido por la bomba, es decir, la diferencia entre la carga de descarga y la succión.
- **Cebado de las Bombas:**
Consiste en la extracción del aire de la tubería de succión de la bomba para permitir un correcto funcionamiento. Esta operación se realiza en todas las bombas centrífugas ya que no son autocebantes, generalmente cuando ésta se encuentra en una posición superior al tanque de aspiración.
- **Cojinetes:**
Sirven de soporte a la flecha de todo el rotor en un alineamiento correcto en relación con las partes estacionarias. Soportan las cargas radiales y axiales existentes en la bomba.
- **Condiciones de succión:**
En lo que respecta al líquido, se tomará en cuenta la influencia de su presión sobre la succión.
- **Densidad:**
La densidad (símbolo ρ) es una magnitud escalar referida a la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia. La densidad media es la razón entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa.
- **Densidad específica:**
Es una comparación de la densidad de una sustancia con la densidad de otra que se toma como referencia. Desplazamiento: El cambio de posición de una partícula en el espacio.
- **Elevación de succión:**
Es la suma de la elevación estática de succión, de la carga de fricción de succión total y de las pérdidas de admisión (la elevación de succión es una carga de succión negativa).
- **Eficiencia Hidráulica:**
Se define en términos de la relación entre el trabajo específico ideal de la máquina y el real del rodete, el trabajo específico ideal de la máquina se calcula basado en las condiciones totales o estáticas.

- **Eficiencia Mecánica:**
Es la eficiencia relacionada con las pérdidas de energía útil, debidas al rozamiento en el cojinete, prensaestopas y el rozamiento del fluido en los espacios entre la cubierta del rodete y la carcasa de la máquina, llamado rozamiento del disco y se define para una bomba centrífuga como:
- **Eficiencia Total:**
Redefine en términos de la relación entre la potencia eléctrica suministrada a la máquina y la potencia hidráulica entregada por ésta.
- **Estoperas, empaques y sellos:**
La función de estos elementos es evitar el flujo hacia fuera del líquido bombeado a través del orificio por donde pasa la flecha de la bomba y el flujo de aire hacia el interior de la bomba.
- **Flecha:**
Es el eje de todos los elementos que giran en la bomba centrífuga, transmitiendo además el movimiento que imparte la flecha del motor.
- **Fluido:**
Se define como una sustancia que se deforma continuamente bajo la acción de un esfuerzo de corte, por tanto, en ausencia de este, no habrá deformación. Los fluidos pueden clasificarse de manera general de acuerdo con la relación entre el esfuerzo de corte aplicado y la relación de deformación.
- **Impulsores:**
Es el corazón de la bomba centrífuga. Recibe el líquido y le imparte una velocidad de la cual depende la carga producida por la bomba.
- **NPSH disponible:**
Esta depende de la carga de succión o elevación, la carga de fricción, y la presión de vapor del líquido manejado a la temperatura de bombeo. Si se varía cualquiera de estos puntos, la NPSH puede alterarse.
- **NPSH requerida:**
Esta depende sólo del diseño de la bomba y se obtiene del fabricante para cada bomba en particular, según su tipo, modelo, capacidad y velocidad.
- **Potencia Absorbida (N):**
Representa la potencia requerida por la bomba para transferir líquidos de un punto a otro y la energía requerida para vencer sus pérdidas.
- **Potencia Hidráulica (Ph):**
Potencia cedida al líquido en el proceso de su transferencia de un punto a otro.
- **Presión:**
Se define como la cantidad de fuerza que se ejerce sobre una unidad de área de alguna sustancia.
Esto se enuncia por medio de la ecuación $P = \frac{F}{A}$
- **Presión de bombeo:**
Si se destina una bomba cualquiera para bombear un líquido. Al funcionar la bomba, tiende a formar un vacío en el seno del líquido. Éste succionar se conoce como presión de bombeo.
- **Presión de vapor:**
Si un líquido se encuentra a una temperatura arriba de su punto de ebullición, sufre evaporación en su superficie libre. En el seno del líquido se origina una presión que se llama presión de vapor y que está en función directa con la temperatura del líquido.
- **Punto de Shut-off:**
Representa la carga hidráulica que produce la bomba cuando el caudal a través de ella es nulo. (La válvula a la salida de la bomba está cerrada, con el fluido en contacto con el rodete).