

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL
SANTA FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

Diseño e implementación de un módulo interactivo de un sistema de
bombas centrífugas instaladas en serie y paralelo

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO MECÁNICO

AUTORES:

Bach. Aguirre Campos, Ken

Bach. Cotrina Chauca, Joseph Jordann

ASESOR:

Ing. Ms. Escalante Espinoza, Nelder Javier

Código ORCID: 0000-0001-8586-3021

NUEVO CHIMBOTE – PERÚ



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA

CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

La presente tesis para Título ha sido revisada y desarrollada en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando en cuadro dentro de las áreas y líneas de investigación conforme el reglamento general para obtener el Título profesional en la Universidad Nacional del Santa de acuerdo con la denominación siguiente:

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecánico

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO INTERACTIVO, DE UN SISTEMA DE BOMBAS CENTRIFUGAS INSTALADAS EN SERIE Y PARALELO”

Autores:

Bach. Aguirre Campos Ken

Bach. Cotrina Chauca Joseph Jordann

Msc. Nelver J. Escalante Espinoza
COD. ORCID. 0000-0001-8586-3021
DNI:32763819
Asesor

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA

CARTA DE CONFORMIDAD DEL JURADO

El presente trabajo tesis titulado “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO INTERACTIVO, DE UN SISTEMA DE BOMBAS CENTRIFUGAS INSTALADAS EN SERIE Y PARALELO**”, para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico, presentado por los bachilleres: **Aguirre Campos Ken**, con código de matrícula N° 0201516050 y **Cotrina Chauca Joseph Jordann**, con código de matrícula N° 0201416040, que tienen como asesor al Ing. Ms. Nelver J. Escalante Espinoza, según R.D. N°354-2021-UNS-FI. Ha sido revisado y aprobado el día 03 de enero del 2024 por el siguiente jurado evaluador, designado mediante la resolución N°868-2024-UNS-CFI. Revisado y evaluado por el siguiente jurado evaluador.



Msc. Rusber Alberto Risco Ojeda
COD. ORCID. 0000-0003-0194-169X
DNI:32903454
Presidente



Msc. Luis Calderón Rodríguez
COD. ORCID. 0000-0002-9447-2257
DNI:32977058
Secretario



Msc. Nelver J. Escalante Espinoza
COD. ORCID. 0000-0001-8586-3021
DNI:32763819
Integrante

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

A los tres días del mes de enero del año dos mil veinticinco, siendo las 12:00 pm., En el Laboratorio de Uso Múltiple de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica-FI-UNS, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante Resolución N° 868-2024-UNS-CFI, y de expedito según Resolución Decanal N° 892-2024-UNS-FI integrado por los docentes: **Msc. Rusber Alberto Risco Ojeda (presidente)**, **Msc. Luis Carlos Calderón Rodríguez (secretario)** y el **Msc. Nelver Javier Escalante Espinoza (Integrante)**, para dar inicio a la sustentación de la Tesis titulada: **"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO INTERACTIVO, DE UN SISTEMA DE BOMBAS CENTRIFUGAS INSTALADAS EN SERIE Y PARALELO"**, perteneciente al bachiller: : **AGUIRRE CAMPOS KEN** con código de matrícula N° 0201516050 y **COTRINA CHAUCA JOSEPH JORDANN** con código de matrícula N° 0201416040 quien fue asesorado por el Msc. Nelver Javier Escalante Espinoza, según Resolución Decanal N.º 354-2022-UNS-FI.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General de Grados y Títulos, vigente, declaran aprobar:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
AGUIRRE CAMPOS KEN	19	EXCELENTE

Siendo las 12:30 pm del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, enero 03 de 2025


Msc. Rusber Alberto Risco Ojeda
PRESIDENTE


Msc. Luis Carlos Calderón Rodríguez
SECRETARIO


Msc. Nelver Javier Escalante Espinoza
INTEGRANTE

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

A los tres días del mes de enero del año dos mil veinticinco, siendo las 12:00 pm., En el Laboratorio de Uso Múltiple de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica-FI-UNS, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante Resolución N° 868-2024-UNS-CFI, y de expedito según Resolución Decanal N° 892-2024-UNS-FI integrado por los docentes: **Msc. Rusber Alberto Risco Ojeda (presidente)**, **Msc. Luis Carlos Calderón Rodríguez (secretario)** y el **Msc. Nelver Javier Escalante Espinoza (Integrante)**, para dar inicio a la sustentación de la Tesis titulada: **"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO INTERACTIVO, DE UN SISTEMA DE BOMBAS CENTRIFUGAS INSTALADAS EN SERIE Y PARALELO"**, perteneciente al bachiller: : **AGUIRRE CAMPOS KEN** con código de matrícula N° 0201516050 y **COTRINA CHAUCA JOSEPH JORDANN** con código de matrícula N° 0201416040 quien fue asesorado por el Msc. Nelver Javier Escalante Espinoza, según Resolución Decanal N.º 354-2022-UNS-FI.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General de Grados y Títulos, vigente, declaran aprobar:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
COTRINA CHAUCA JOSEPH JORDANN	19	EXCELENTE

Siendo las 12:30 pm del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, enero 03 de 2025



Msc. Rusber Alberto Risco Ojeda
PRESIDENTE



Msc. Luis Carlos Calderón Rodríguez
SECRETARIO



Msc. Nelver Javier Escalante Espinoza
INTEGRANTE

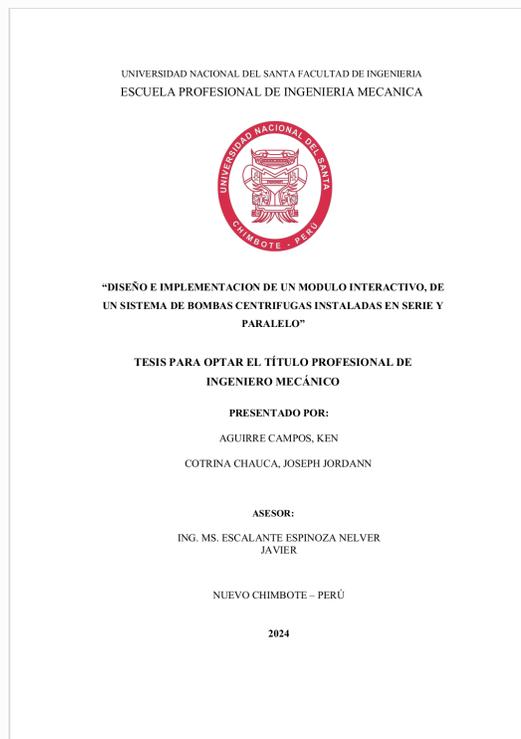


Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Ken Aguirre Campos
Título del ejercicio: Informe Final de Tesis
Título de la entrega: DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN MODULO INTERACTIVO, ...
Nombre del archivo: TESIS_MODULO_INTERACTIVO_FINAL_2025.pdf
Tamaño del archivo: 23.52M
Total páginas: 139
Total de palabras: 26,997
Total de caracteres: 143,599
Fecha de entrega: 23-feb.-2025 12:28p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2596078960



DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN MODULO INTERACTIVO, DE UN SISTEMA DE BOMBAS CENTRIFUGAS INSTALADOS EN SERIE Y PARALELO

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	5%
2	repositorio.utc.edu.ec Fuente de Internet	3%
3	pdfcoffee.com Fuente de Internet	2%
4	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	2%
5	es.slideshare.net Fuente de Internet	1%
6	pt.slideshare.net Fuente de Internet	1%
7	www.pedrollo.com Fuente de Internet	1%
8	www.scribd.com Fuente de Internet	1%
9	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	1%
10	pdfcookie.com Fuente de Internet	1%
11	www.slideshare.net Fuente de Internet	1%
12	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	<1%
13	repository.unab.edu.co Fuente de Internet	<1%
14	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%

INDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Antecedentes.	1
1.2.	Formulación del problema	2
1.3.	Objetivos	2
1.3.1.	Objetivo General.....	2
1.3.2.	Objetivos Específicos.....	2
1.4.	Formulación de la Hipótesis.....	2
1.5.	Justificación.....	3
1.6.	Limitaciones del trabajo	3
II.	MARCO TEÓRICO	4
2.2.	Base Teórica	4
2.2.1.	Máquinas hidráulicas	5
2.2.2.	Turbo máquinas	5
2.2.3.	Turbo máquinas de Flujo Radial.....	5
2.2.4.	Bomba Centrífuga.....	6
2.2.5.	Punto funcionamiento de la bomba	7
2.2.6.	Determinación de la curva de Perdidas del Sistema	9
2.2.7.	Longitud Equivalente (Le)	15
2.2.8.	Tuberías en Serie y Paralelo	16
2.2.9.	Selección de Equipos de Bombeo.....	17
2.2.10.	Selección de una Bomba hidráulica.....	17
2.2.11.	Condiciones de Operación	18
2.2.12.	Curva característica.....	21
2.2.13.	Curva del Sistema	21
2.2.14.	Punto de Operación del sistema.....	23
2.2.15.	NPSH	25
2.2.16.	Accesorios del sistema hidráulico.....	26
2.2.17.	Operación y Mantenimiento de las Bombas Hidráulicas.....	27
2.2.18.	Pruebas Hidráulicas.	28
III.	MATERIALES Y METODOS	29
3.1.	Materiales	29
3.2.	Metodología	29

3.2.1.	Metodología de investigación	29
3.2.2.	Procedimiento de investigación	30
3.2.3.	Identificación de las variables.....	30
3.2.3.1.	Variable independiente.....	30
3.2.3.1.1.	Instalación de bombas centrifugas en serie y paralelo.	30
3.2.3.2.	Variable dependiente.....	30
3.2.3.2.1.	Modulo interactivo	30
3.2.4.	Operacionalización de las variables.....	30
3.2.5.	Diseño de Investigación.....	33
3.2.6.	Población, muestra y muestreo	34
3.2.7.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	34
3.2.8.	Validación y confiabilidad del instrumento	34
3.2.9.	Métodos de análisis de datos.....	35
3.2.10.	Consideraciones éticas	35
IV.	CÁLCULOS	35
4.1.	Diseño del módulo interactivo de un de bombas centrifugas instaladas en serie paralelo	35
4.2.	Cálculo de la altura efectiva de la bomba (Hm).....	35
4.3	Calculo iterativo de pérdidas del sistema conectado bombas centrifugas en serie	36
4.3.1	Cálculo iterativo de perdida por fricción en succión conectado en Bomba N°02	36
4.3.2	Cálculo de perdida por fricción en impulsor de Bomba N°02 a succión N°01 ..	37
4.3.3	Cálculo de perdida por fricción en descarga Fe 1”.....	37
4.3.4	Cálculo de perdida por fricción en descarga Fe 1/2”.....	38
4.3.5	Cálculo de perdida por fricción en descarga inoxidable 1”.....	39
4.3.6	Cálculo de perdida por fricción en descarga inoxidable 1/2”.....	39
4.3.7	Cálculo de perdida por fricción en descarga ramal doble inoxidable 1/2”.....	40
4.3.8	Cálculo de perdida por fricción a descarga final	40
4.3.9	Características de la Bomba centrifuga para conexión en serie	41
4.4.	Cálculo de pérdidas del sistema conectado bombas centrifugas en serie por cambio variable Q	41
4.4.1.	Cálculo de perdida por fricción en succión conectado en Bomba N°02 por cambio variable Q.....	41
4.4.2	Cálculo de perdida por fricción en impulsor de Bomba N°02 a succión N°01 por cambio variable Q.....	42
4.4.3	Cálculo de perdida por fricción en descarga Fe 1” por cambio variable Q.....	42

4.4.4	Cálculo de pérdida por fricción en descarga Fe 1/2" por cambio variable Q.....	43
4.4.5	Cálculo de pérdida por fricción en descarga inoxidable 1" por cambio variable Q.....	43
4.4.6	Cálculo de pérdida por fricción en descarga inoxidable 1/2" por cambio variable Q.....	44
4.4.7	Cálculo de pérdida por fricción en descarga ramal doble inoxidable 1/2" por cambio variable Q.....	44
4.4.8	Cálculo de pérdida por fricción a descarga final	45
4.4.9	Determinación de la curva de funcionamiento del sistema en función del caudal	45
4.5	Calculo iterativo de pérdidas del sistema conectado bombas centrifugas en paralelo	46
4.5.1	Cálculo iterativo de pérdida por fricción en succión conectado en Bomba N°02	46
4.5.2	Cálculo de pérdida por fricción en succión bomba N°01	47
4.5.3	Cálculo de pérdida por fricción en descarga Fe 1".....	47
4.5.4	Cálculo de pérdida por fricción en descarga Fe 1/2".....	48
4.5.5	Cálculo de pérdida por fricción en descarga inoxidable 1".....	49
4.5.6	Cálculo de pérdida por fricción en descarga inoxidable 1/2".....	49
4.5.7	Cálculo de pérdida por fricción en descarga ramal doble inoxidable 1/2".....	50
4.5.8	Cálculo de pérdida por fricción a descarga final	50
4.5.9	Características de la Bomba centrifuga para conexión en serie	51
4.6	Calculo de pérdidas del sistema conectado bombas centrifugas en paralelo con cambio de variable Q.....	51
4.6.1	Cálculo iterativo de pérdida por fricción en succión conectado en Bomba N°02	51
4.6.2	Cálculo de pérdida por fricción en succión bomba N°01	52
4.6.3	Cálculo de pérdida por fricción en descarga Fe 1".....	52
4.6.4	Cálculo de pérdida por fricción en descarga Fe 1/2".....	53
4.6.5	Cálculo de pérdida por fricción en descarga inoxidable 1".....	53
4.6.6	Cálculo de pérdida por fricción en descarga inoxidable 1/2".....	54
4.6.7	Cálculo de pérdida por fricción en descarga ramal doble inoxidable 1/2".....	54
4.6.8	Cálculo de pérdida por fricción a descarga final	55
4.6.9	Determinación de la curva de funcionamiento del sistema en función del caudal	55
V.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	57
5.1.	Resultados	57
5.2.	Discusión.....	82

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	85
6.1. Conclusiones	85
6.2.Recomendaciones.....	88
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89
VIII. ANEXOS.....	90

INDICE

RESUMEN.....	2
I. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1. Antecedentes.....	8
1.2. Formulación del problema.....	9
1.3. Objetivos.....	9
1.3.1. Objetivo General.....	9
1.3.2. Objetivos Específicos.....	9
1.4. Formulación de la Hipótesis.....	9
1.5. Justificación.....	10
1.6. Limitaciones del trabajo.....	10
II. MARCO TEÓRICO.....	11
2.2. Base Teórica.....	11
2.2.1. Máquinas hidráulicas.....	11
2.2.2. Turbo máquinas.....	12
2.2.3. Turbo máquinas de Flujo Radial.....	12
2.2.4. Bomba Centrífuga.....	13
2.2.5. Determinación. de la Curva. de Perdidas del Sistema.....	14
2.2.6. Determinación. de la curva. de Perdidas del Sistema.....	16
2.2.7. Longitud Equivalente (Le).....	22
2.2.8. Tuberías en Serie y Paralelo.....	23
2.2.9. Selección de Equipos de Bombeo.....	24
2.2.10. Selección de una Bomba hidráulica.....	24
2.2.11. Condiciones de Operación.....	25
2.2.12. Curva característica.....	28
2.2.13. Curva del Sistema.....	28
2.2.14. Punto de Operación del sistema.....	30
2.2.15. NPSH.....	32
2.2.16. Accesorios del sistema hidráulico.....	33
2.2.17. Operación y Mantenimiento de las Bombas Hidráulicas.....	34
2.2.18. Pruebas Hidráulicas.....	35
III. MATERIALES Y METODOS.....	36
3.1. Materiales.....	36
3.2. Metodología.....	36

3.2.1.	Metodología de investigación	36
3.2.2.	Procedimiento de investigación	37
3.2.3.	Identificación de las variables.....	37
3.2.3.1.	Variable independiente.....	37
3.2.3.1.1.	Instalación de bombas centrifugas en serie y paralelo.	37
3.2.3.2.	Variable dependiente.....	37
3.2.3.2.1.	Modulo interactivo	37
3.2.4.	Operacionalización de las variables.....	37
3.2.5.	Diseño de Investigación.....	40
3.2.6.	Población, muestra y muestreo	41
3.2.7.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	41
3.2.8.	Validación y confiabilidad del instrumento.....	41
3.2.9.	Métodos de análisis de datos.....	42
3.2.10.	Consideraciones éticas	42
IV.	CÁLCULOS	42
4.1.	Diseño del módulo interactivo de un de bombas centrifugas instaladas en serie paralelo.....	42
4.2.	Cálculo de la altura efectiva de la bomba (Hm).....	42
4.3	Calculo iterativo de pérdidas del sistema conectado bombas centrifugas en serie	43
4.3.1	Cálculo iterativo de perdida por fricción en succión conectado en Bomba N°02	43
4.3.2	Cálculo de perdida por fricción en impulsor de Bomba N°02 a succión N°01 ..	44
4.3.3	Cálculo de perdida por fricción en descarga Fe 1”.....	44
4.3.4	Cálculo de perdida por fricción en descarga Fe 1/2”.....	45
4.3.5	Cálculo de perdida por fricción en descarga inoxidable 1”	46
4.3.6	Cálculo de perdida por fricción en descarga inoxidable 1/2”.....	46
4.3.7	Cálculo de perdida por fricción en descarga ramal doble inoxidable 1/2”.....	47
4.3.8	Cálculo de perdida por fricción a descarga final	47
4.3.9	Características de la Bomba centrifuga para conexión en serie	48
4.4.	Cálculo de pérdidas del sistema conectado bombas centrifugas en serie por cambio variable Q	48
4.4.1.	Cálculo de perdida por fricción en succión conectado en Bomba N°02 por cambio variable Q.....	48
4.4.2	Cálculo de perdida por fricción en impulsor de Bomba N°02 a succión N°01 por cambio variable Q.....	49
4.4.3	Cálculo de perdida por fricción en descarga Fe 1” por cambio variable Q.....	49

4.4.4	Cálculo de pérdida por fricción en descarga Fe 1/2" por cambio variable Q.....	50
4.4.5	Cálculo de pérdida por fricción en descarga inoxidable 1" por cambio variable Q.....	50
4.4.6	Cálculo de pérdida por fricción en descarga inoxidable 1/2" por cambio variable Q.....	51
4.4.7	Cálculo de pérdida por fricción en descarga ramal doble inoxidable 1/2" por cambio variable Q.....	51
4.4.8	Cálculo de pérdida por fricción a descarga final	52
4.4.9	Determinación de la curva de funcionamiento del sistema en función del caudal	52
4.5	Calculo iterativo de pérdidas del sistema conectado bombas centrifugas en paralelo	53
4.5.1	Cálculo iterativo de pérdida por fricción en succión conectado en Bomba N°02	53
4.5.2	Cálculo de pérdida por fricción en succión bomba N°01	54
4.5.3	Cálculo de pérdida por fricción en descarga Fe 1".....	54
4.5.4	Cálculo de pérdida por fricción en descarga Fe 1/2".....	55
4.5.5	Cálculo de pérdida por fricción en descarga inoxidable 1".....	56
4.5.6	Cálculo de pérdida por fricción en descarga inoxidable 1/2".....	56
4.5.7	Cálculo de pérdida por fricción en descarga ramal doble inoxidable 1/2".....	57
4.5.8	Cálculo de pérdida por fricción a descarga final	57
4.5.9	Características de la Bomba centrifuga para conexión en serie	58
4.6	Calculo de pérdidas del sistema conectado bombas centrifugas en paralelo con cambio de variable Q.....	58
4.6.1	Cálculo iterativo de pérdida por fricción en succión conectado en Bomba N°02	58
4.6.2	Cálculo de pérdida por fricción en succión bomba N°01	59
4.6.3	Cálculo de pérdida por fricción en descarga Fe 1".....	59
4.6.4	Cálculo de pérdida por fricción en descarga Fe 1/2".....	60
4.6.5	Cálculo de pérdida por fricción en descarga inoxidable 1".....	60
4.6.6	Cálculo de pérdida por fricción en descarga inoxidable 1/2".....	61
4.6.7	Cálculo de pérdida por fricción en descarga ramal doble inoxidable 1/2".....	61
4.6.8	Cálculo de pérdida por fricción a descarga final	62
4.6.9	Determinación de la curva de funcionamiento del sistema en función del caudal	62
V.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	71
5.1.	Resultados	71
5.2.	Discusión.....	82

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	85
6.1. Conclusiones	85
6.2.Recomendaciones.....	88
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102

Índice de tablas

Tabla 1	<i>Rugosidad absoluta (ϵ) en tubos comerciales.....</i>	14
Tabla 2	<i>Operacionalización de variable independiente.....</i>	31
Tabla 3	<i>Operacionalización de variable dependiente.....</i>	32
Tabla 4	<i>Características técnicas del módulo interactivo.....</i>	35
Tabla 5	<i>Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería inox succión 1” conectado en serie.....</i>	36
Tabla 6	<i>Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios conectado en serie.....</i>	36
Tabla 7	<i>Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería inox 1” conectado en serie.....</i>	37
Tabla 8	<i>Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios conectado en serie.....</i>	37
Tabla 9	<i>Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería Fe 1” conectado en serie.....</i>	38
Tabla 10	<i>Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios conectado en serie.....</i>	38
Tabla 11	<i>Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería Fe 1/2” conectado en serie.....</i>	38
Tabla 12	<i>Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios conectado en serie.....</i>	38
Tabla 13	<i>Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería inox 1” conectado en serie.....</i>	39
Tabla 14	<i>Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios conectado en serie.....</i>	39
Tabla 15	<i>Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería inox 1/2” conectado en serie.....</i>	39
Tabla 16	<i>Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios conectado en serie.....</i>	39
Tabla 17	<i>Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería inox 1/2” conectado en serie.....</i>	40
Tabla 18	<i>Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios conectado en serie.....</i>	40

Tabla 19	<i>Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería inox 1" conectado en serie.....</i>	40
Tabla 20	<i>Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios conectado en serie.....</i>	40
Tabla 21	<i>Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería inox succión 1" conectado en serie.....</i>	41
Tabla 22	<i>Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios en serie con variable Q.....</i>	41
Tabla 23	<i>Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería inox 1" en serie con variable Q.....</i>	42
Tabla 24	<i>Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios en serie con variable Q.....</i>	42
Tabla 25	<i>Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería Fe 1" en serie con variable Q.....</i>	42
Tabla 26	<i>Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios en serie con variable Q.....</i>	43
Tabla 27	<i>Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería Fe 1/2" en serie con variable Q.....</i>	43
Tabla 28	<i>Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios en serie con variable Q.....</i>	43
Tabla 29	<i>Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería inox 1" en serie con variable Q.....</i>	43
Tabla 30	<i>Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios en serie con variable Q.....</i>	44
Tabla 31	<i>Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería inox 1/2" en serie con variable Q.....</i>	44
Tabla 32	<i>Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios en serie con variable Q.....</i>	44
Tabla 33	<i>Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería inox 1/2" en serie con variable Q.....</i>	44
Tabla 34	<i>Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios en serie con variable Q.....</i>	45
Tabla 35	<i>Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería inox 1" en serie con variable Q.....</i>	45

Tabla 36	<i>Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios en serie con variable Q.....</i>	45
Tabla 37	<i>Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería succión 1” conectado en paralelo.....</i>	47
Tabla 38	<i>Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios conectado en paralelo.....</i>	47
Tabla 39	<i>Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería succión 1” conectado paralelo.....</i>	47
Tabla 40	<i>Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios conectado en paralelo.....</i>	47
Tabla 41	<i>Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería Fe 1” conectado en paralelo.....</i>	48
Tabla 42	<i>Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios conectado en paralelo.....</i>	48
Tabla 43	<i>Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería Fe 1/2” conectado en paralelo.....</i>	48
Tabla 44	<i>Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios conectado en paralelo.....</i>	48
Tabla 45	<i>Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería inox 1” conectado en paralelo.....</i>	49
Tabla 46	<i>Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios conectado en paralelo.....</i>	49
Tabla 47	<i>Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería inox 1/2” conectado en paralelo.....</i>	49
Tabla 48	<i>Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios conectado en paralelo.....</i>	49
Tabla 49	<i>Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería inox 1/2” conectado en paralelo.....</i>	50
Tabla 50	<i>Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios conectado en paralelo</i>	50
Tabla 51	<i>Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería inox 1” conectado en paralelo.....</i>	50
Tabla 52	<i>Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios conectado en paralelo.....</i>	50

Tabla 53	<i>Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería succión 1” conectado en paralelo con variable Q.....</i>	51
Tabla 54	<i>Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios conectado en paralelo con variable Q.....</i>	51
Tabla 55	<i>Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería succión 1” conectado en paralelo con variable Q.....</i>	52
Tabla 56	<i>Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios conectado en paralelo con variable Q.....</i>	52
Tabla 57	<i>Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería Fe 1” conectado en paralelo con variable Q.....</i>	52
Tabla 58	<i>Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios conectado en paralelo con variable Q.....</i>	52
Tabla 59	<i>Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería Fe 1/2” conectado en paralelo con variable Q.....</i>	53
Tabla 60	<i>Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios conectado en paralelo con variable Q.....</i>	53
Tabla 61	<i>Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería inox 1” conectado en paralelo con variable Q.....</i>	53
Tabla 62	<i>Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios conectado en paralelo con variable Q.....</i>	53
Tabla 63	<i>Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería inox 1/2” conectado en paralelo con variable Q.....</i>	54
Tabla 64	<i>Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios conectado en paralelo con variable Q.....</i>	54
Tabla 65	<i>Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería inox 1/2” conectado en paralelo con variable Q.....</i>	54
Tabla 66	<i>Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios conectado en paralelo con variable Q.....</i>	54
Tabla 67	<i>Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería inox 1” conectado en paralelo con variable Q.....</i>	55
Tabla 68	<i>Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios conectado en paralelo con variable Q.....</i>	55
Tabla 69	<i>Cuadro de Resultados del sistema de red de tuberías, bombas conectadas en serie.....</i>	57

Tabla 70	<i>Cuadro de Resultados del sistema de red de tuberías, bombas conectadas en paralelo.....</i>	59
Tabla 71	<i>Cuadro de Resultados del Diseño de la estructura – depósito del módulo interactivo.....</i>	62
Tabla 72	<i>Datos generados por bombas centrifugas conectadas en serie.....</i>	65
Tabla 73	<i>Datos generados por bombas centrifugas conectadas en paralelo.....</i>	68
Tabla 74	<i>Datos generados por bombas centrifugas conectadas en serie para determinar curva del sistema.....</i>	71
Tabla 75	<i>Datos generados por bombas centrifugas conectadas en paralelo para determinar curva del sistema.....</i>	73

Índice de figuras

Figura 1	<i>Clasificación de las Máquinas Hidráulicas.....</i>	5
Figura 2	<i>Electrobomba centrifuga cpm158.....</i>	6
Figura 3	<i>Bomba centrifuga.....</i>	6
Figura 4	<i>Principio de Funcionamiento de una Bomba Centrífuga.....</i>	7
Figura 5	<i>Punto de Funcionamiento de Bomba Centrífuga.....</i>	8
Figura 6	<i>Representación de Diferencias de Alturas Geodésicas en un Cambio de Sección.....</i>	9
Figura 7	<i>Representación Gráfica de Ecuación de Bernoulli para Fluido Viscosos Incomprensibles.....</i>	9
Figura 8	<i>Representación Gráfica de Ecuación de Bernoulli para Fluido Viscosos Incomprensibles.....</i>	13
Figura 9	<i>Diagrama de Moody.....</i>	14
Figura 10	<i>Representación de Conexión de Tuberías en Serie.....</i>	16
Figura 11	<i>Representación de Conexión de Tuberías en Paralelo.....</i>	16
Figura 12	<i>Altura Manométrica de Eje Horizontal Total en Diversos Sistemas de Agua.....</i>	20
Figura 13	<i>Curva Características de una Bomba.....</i>	21
Figura 14	<i>Curva del Sistema y Puntos de Operación de la Bomba.....</i>	22
Figura 15	<i>Curvas del Sistema de Acuerdo a la Antigüedad de las Tuberías.....</i>	22

Figura 16	<i>Curva del Sistema y Punto de Operación de la Bomba para un Sistema de Tuberías en Serie.....</i>	23
Figura 17	<i>Curvas del Sistema y Puntos de Operación de la Bomba para un Sistema de Tuberías en Paralelo con Descargas a Distinto Nivel.....</i>	24
Figura 18	<i>Puntos de Operación y Curvas de Sistemas de la Bomba para un Sistema de Tuberías en Paralelo con Descargas a Distinto Nivel.....</i>	24
Figura 19	<i>Vacuómetro de Glicerina 0 – 1 Bar.....</i>	27
Figura 20	<i>Procedimiento de la investigación.....</i>	30
Figura 21	<i>Punto de funcionamiento de las bombas conectadas en serie.....</i>	46
Figura 22	<i>Punto de funcionamiento de las bombas conectadas en paralelo.....</i>	56
Figura 23	<i>Vista isométrica estructura metálica de ASTM A500 del módulo interactivo.....</i>	62
Figura 24	<i>Vista isométrica depósito material inoxidable del módulo interactivo.....</i>	62
Figura 25	<i>Modulo interactivo conectado con sistema de tuberías y bombas centrifuga.....</i>	63
Figura 26	<i>Bombas centrifugas conectadas en serie.....</i>	64
Figura 27	<i>Ajuste de la curva del sistema de bombas centrifugas conectadas en serie.....</i>	66
Figura 28	<i>Bombas centrifugas conectadas en paralelo.....</i>	67
Figura 29	<i>Ajuste de la curva del sistema de bombas centrifugas conectadas en paralelo...</i>	69
Figura 30	<i>Sistema de tuberías y accesorios hidráulicos instaladas en Bombas centrifugas conectadas en serie</i>	70
Figura 31	<i>Ajuste de la curva del sistema de Bombas centrifugas conectadas en serie.....</i>	71
Figura 32	<i>Sistema de tuberías y accesorios hidráulicos instaladas en Bombas centrifugas conectadas en paralelo.....</i>	73
Figura 33	<i>Ajuste de la curva del sistema de Bombas centrifugas conectadas en paralelo.....</i>	74
Figura 34	<i>Punto óptimo de funcionamiento de bombas centrifugas conectadas en serie.....</i>	75
Figura 35	<i>Sistema de tuberías y accesorios hidráulicos instaladas en Bombas centrifugas conectadas en serie.....</i>	76
Figura 36	<i>Punto de funcionamiento de las bombas conectadas en serie.....</i>	77
Figura 37	<i>Punto óptimo de funcionamiento de bombas centrifugas conectadas en paralelo</i>	79
Figura 38	<i>Sistema de tuberías y accesorios hidráulicos instaladas en Bombas centrifugas conectadas en paralelo.....</i>	80
Figura 39	<i>Punto de operación de Bombas centrifugas conectadas en paralelo...</i>	81

Lista de símbolos y/o nomenclatura

- D_H : Diámetro hidráulico (m)
- A : Área de la sección transversal de la tubería (m²)
- v : Velocidad del fluido, m/s
- g : Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)
- L : Longitud de la tubería (m)
- z : altura geodésica (m)
- p : presión estática del fluido (N/m²).
- γ : peso Específico del líquido a cierta temperatura (N/m³)
- H_p : altura de pérdidas del sistema de tuberías para la longitud de tubería
- h_L : Perdida primaria por fricción
- h_S : Perdida secundaria por fricción
- Q : Caudal (m³/h)

Resumen

En la presente investigación se logró diseñar e implementar un módulo interactivo de un sistema de 2 bombas centrifugas de 1Hp instaladas en serie y paralelo en un sistema de red de tuberías, para el laboratorio de máquinas hidráulicas de la escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional del Santa.

Se determinó las condiciones de operación del sistema de bombeo instalados en dos bombas en serie, donde se obtuvo del ensayo experimental, caudal de ingreso al sistema 5.6 m³/h, velocidad de ingreso 2.791 m/s, en tubería Ø1" material acero inoxidable 304L – SCH 40 en una longitud de 7.4 m, tubería Ø 1/2" inoxidable 304L SCH 40 de longitud 6.21m, tubería Ø 1" ASTM A53 de longitud 3.45m, y finalmente tubería Ø 1/2" ASTM A53 de longitud 2.11m, altura de bomba conectada en serie 46.265 m, con una potencia requerida de 0.938Kw, con los cálculos de cambio de variable dependiente del caudal el punto de funcionamiento se calculó con una altura de 46.27m.

Se determinó las condiciones de operación del sistema de tuberías instaladas en dos bombas en paralelo, donde se obtuvo del ensayo experimental, caudal de ingreso al sistema 4.5 m³/h, velocidad de ingreso 2.245 m/s, tubería Ø 1" inoxidable 304L–SCH 40 de longitud 6.85m, tubería Ø 1/2" inoxidable 304L SCH 40 de longitud 10.98 m, una tubería Ø 1" ASTM A53 de longitud 1.15m, y finalmente tubería Ø 1/2" ASTM A53 de longitud 2.11m, altura de bomba conectada en serie 46.265 m, con una potencia requerida de 0.938Kw, con los cálculos de cambio de variable dependiente del caudal el punto de funcionamiento se calculó con una altura de 46.27m.

Se diseñó mediante el programa SolidWorks, la estructura metálica del módulo de tubo cuadrado ASTM A500 de espesor 2 mm con dimensiones de 780 mm x 2040 mm x 1450 mm.

Palabras clave: modulo interactivo, bombas centrífugas, caída de presión, curvas de rendimiento, conexión tuberías, caudal.

Abstract

In the present research, it was possible to design and implement an interactive module of a system of 2 centrifugal pumps of 1Hp installed in series and parallel in a piping network system for the hydraulic machines laboratory of the school Engineering Mechanics of the National University of Santa.

The operating conditions of the piping system installed in two pumps in series were determined, values of the experimental test as inlet flow to the system 5.6 m³/h, Speed 2.791 m/s, 1" stainless pipe 304L – SCH 40 length 7.4m, 1/2" stainless pipe 304L SCH 40 length 6.21m Pipe 1" ASTM A53 length 3.45m, 1/2" ASTM A53 pipe length 2.11m, pump height connected in series 46.265 m, with one and a required power of 0.938Kw, with the calculations of the change of variable dependent on the flow rate the operating point was calculated to be H=46.27m.

It was determined the operating conditions of the piping system installed in two pumps in parallel, values of the experimental test as inlet flow to the system 4.5 m³/h, Velocity 2.245 m/s, Pipe 1" stainless steel 304L-SCH 40 length 6.85m, Pipe 1/2" stainless steel 304L SCH 40 length 10.98 m Pipe 1" ASTM A53 length 1.15m, Pipe 1/2" ASTM A53 length 2.11m, pump head connected in series 46.265 m, with a and a required power of 0.938Kw, with the calculations of change of variable dependent on the flow rate the operating point was calculated that height is H=46.27m.

It was designed using the SolidWorks program, the metallic structure of square tube ASTM A500 of thickness 2mm with dimensions of width:780mm, length:2040mm, height:1450 mm,

Keywords: interactive module, centrifugal pumps, pressure drop, performance curves, pipe connection, flow rate.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

A continuación, se mencionan casos que abordan temas referentes a diseño e implementación de bombas centrífugas instalaciones en serie y paralelo.

Según (Aguilar, R., & Ventura, H, 2017) .En su tesis para obtener el grado de Ingeniero Mecánico Electricista. de la Universidad. Nacional de Altiplano, sintetiza lo próximo: La fabricación de un módulo interactivo dejará el desarrollo del análisis empírico de bombas centrífugas, donde se va a poder graficar la curva característica $H - Q$, curva del sistema y establecer la directriz óptima del manejo de las bombas instaladas en serie y paralelo.

Según (Peña , F., & Poveda , O, 2015) . En su tesis. para obtener el grado. de Ingeniero Mecánico de la Universidad “Distrital Francisco José de Caldas” sintetiza lo siguiente: El diseño e implementación de un sistema de control de caudal monitoreado por el software Scada, permitirá programar y monitorear el comportamiento del caudal desde una Pc en tiempo real; este software evaluará las pérdidas de presión por fricción en tuberías y accesorios de forma eficiente.

Para (Chura , R., & Neira , O, 2013) .En su tesis para obtener. el grado de Ingeniero Mecánico. de la Universidad Nacional de Altiplano, sintetiza lo siguiente: El diseño e implementación de un sistema de elevación de presión hidráulica permitirá calcular la eficiencia de las bombas centrífugas donde se podrá validar las variables físicas de funcionamiento y ejecutar el análisis de conclusiones teóricas frente a los experimentales.

Según (Ortega , R, 2013). En su tesis "La calidad de los agregados de tres canteras de la ciudad de Ambato y su influencia en la resistencia del hormigón empleado en la construcción de obras civiles.". La fabricación de un banco hidráulico instalado con un venturímetro permitirá la medición de caudales en puntos diferentes, determinando las pérdidas de energía en una red de tuberías instaladas en serie y paralelo.

Según (Villarreal, W, 2008). “Diseño de un banco para ensayo de bombas en serie y paralelo”. El comportamiento operativo de alta energía de dos bombas centrífugas que funcionan como un sistema integrado en serie y en paralelo solucionará los problemas de caudal o carga en el transporte de líquidos.

1.2. Formulación del problema

¿De qué forma la implementación de un módulo interactivo, de un sistema de bombas centrífugas instalados en serie y paralelo, permitirá a los estudiantes desarrollar un mejor entendimiento tanto teórico como experimental en el laboratorio de máquinas hidráulicas, facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional. del Santa?

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Implementación de. un módulo interactivo para el estudio experimental del comportamiento de bombas centrífugas instalados en serie y paralelo en una red de tuberías instaladas.

1.3.2. Objetivos Específicos

- a) Calcular e implementar los sistemas de red de tuberías, en la instalación de dos bombas en serie.
- b) Calcular e implementar los sistemas de red de tuberías, en la instalación de dos bombas en paralelo.
- c) Diseñar y fabricar la estructura – depósito del módulo interactivo.
- d) Esbozar e implementar guía práctica de laboratorio.

1.4. Formulación de la Hipótesis

¿Mediante la implementación de un módulo interactivo, de un sistema de bombas centrífugas instalados en paralelo y serie, permitirá a los estudiantes desarrollar un mejor entendimiento tanto teórico como experimental en el laboratorio de máquinas hidráulicas, facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional del Santa.?

1.5. Justificación

1.5.1. Justificación académica

El desarrollo del plan de tesis dejará reforzar la formación académica empírica del alumno, esto dará paso al inicio en la indagación del desarrollo de bombas centrífugas instaladas en serie y paralelo.

Asimismo, se va a poder establecer puntos involucrados con los límites de manejo de las bombas centrífugas, tales como visualizar y medir la elevación geodésica, supuesto que el diseño del módulo es semejante a los esbozos académicos literarios como son los libros, apuntes, estudios sobre bombas. (Ascón , A, 2019).

1.5.2. Justificación económica

El diseño y utilización del módulo interactivo llevado a cabo por investigadores dejará minimizar los costó de compra de dicho equipo, por lo tanto en el mercado nacional la organización alemana GUNT HAMBURG exporta al Perú semejantes módulos de laboratorios, el costo de un módulo principal para la ejecución de ensayos de máquinas hidráulicas; los accesorios de la serie de equipo HM 150 cuesta alrededor de 20000 dólares. (Ascón , A, 2019).

1.5.3. Justificación social

Tomando en cuenta que la utilización de este módulo interactivo en el laboratorio de máquinas hidráulicas de la escuela profesional de ingeniería mecánica va a ser de contribución a los problemas de abastecimiento de nuestra escuela, tal cual el plan dejará que nuestros propios compañeros tengan capacidad de indagación empírico y más grande criterio en la solución. (Ascón , A, 2019).

1.6. Limitaciones del trabajo

Limitación de recursos económicos para la fabricación y equipamiento del prototipo experimental con accesorios hidráulicos e instrumentos digitales más complejos para mayores puntos de recolección y exactitud de datos.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Marco Conceptual

Modulo interactivo

Un conjunto de elementos mecánicos, instrumentos y máquinas para desarrollar de manera experimental un fenómeno físico.

Diseño mecánico

Evaluación de un sistema mecánico utilizando los conocimientos teóricos, mediante el uso de software en el cual se puede diseñar de manera efectiva un proyecto.

Caída de presión

La variación de energía cinética y/o potencial que sufre un fluido al momento de transportarse de un punto inicial a un final.

2.2.Base Teórica

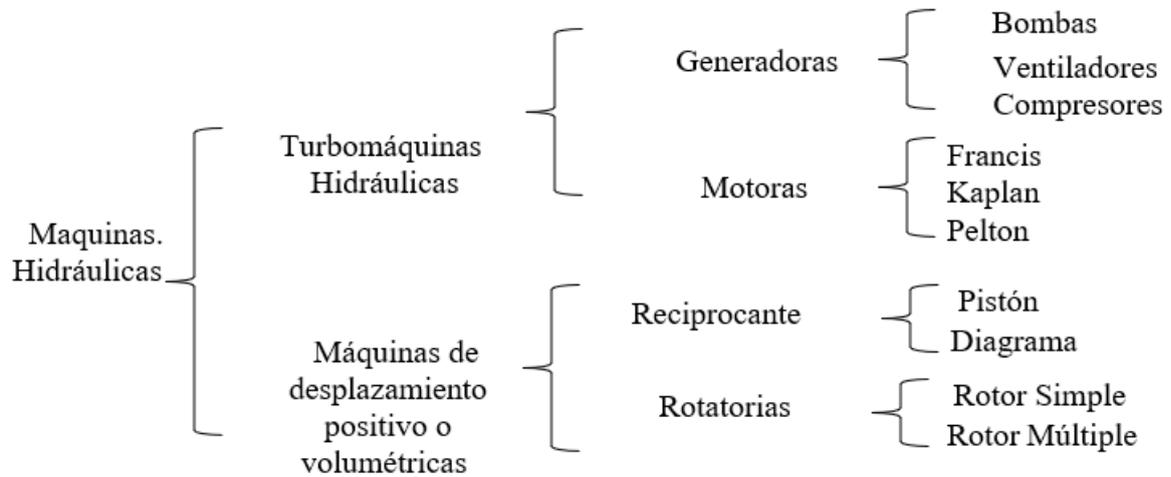
2.2.1. Máquinas hidráulicas

Antes que nada, una máquina en su forma más fácil se puede definir como un dispositivo transformador de energía, mejor dicho, la máquina recibe una forma de energía y la restituye en otra forma de energía , o sea, la máquina obtiene una forma de energía y la restituye en otra forma de energía. Una ejemplificación lo constituye el generador eléctrico en el que la energía mecánica que se le otorga es transformada en energía eléctrica.

La definición más precisa de máquina hidráulica es: aquella en la cual el fluido de trabajo que intercambia su energía no cambia sensiblemente de densidad en su paso mediante la máquina, para lo cual, en el diseño y estudio de la misma, se trabaja bajo la conjetura de que la densidad se mantiene constante. (Zamora , B & Viema, A, 2016).

Figura 1

Clasificación de las Máquinas Hidráulicas.



Nota: Extraído del informe: bombas hidráulicas – Selección, Operación y Mantenimiento (s.f), p.12

2.2.2. Turbo máquinas

Son máquinas que necesitan adquirir energía de un fluido para desarrollar energía mecánica en el eje, tales como una turbina hidráulica de vapor o por en cambio están las maquinas que absorben energía mecánica en el eje y desarrolla energía a un fluido aumentando su presión de ingreso tales como un ventilador bomba. (Rodríguez, P & Lecuna , A, 2016).

El principal elemento mecánico es el rotor por medio del cual pasa un fluido de manera continua cambiando por acción de la máquina, siendo esto aprovechado al fluido (turbomáquinas generadoras) o como otra opción una entrega del fluido a la máquina (turbomáquinas motoras) (Rodríguez, P & Lecuna , A, 2016).

2.2.3. Turbo máquinas de Flujo Radial.

Las máquinas de flujo radial fluyen normal al eje de rotación son apropiadas para altas presiones y bajos caudales, además señaladas como máquinas centrifugas en las que el fluido entra en la máquina en dirección axial y sale en dirección radial. (Rodríguez, P & Lecuna , A, 2016).

Figura 2

Electrobomba Centrifuga CPM158.



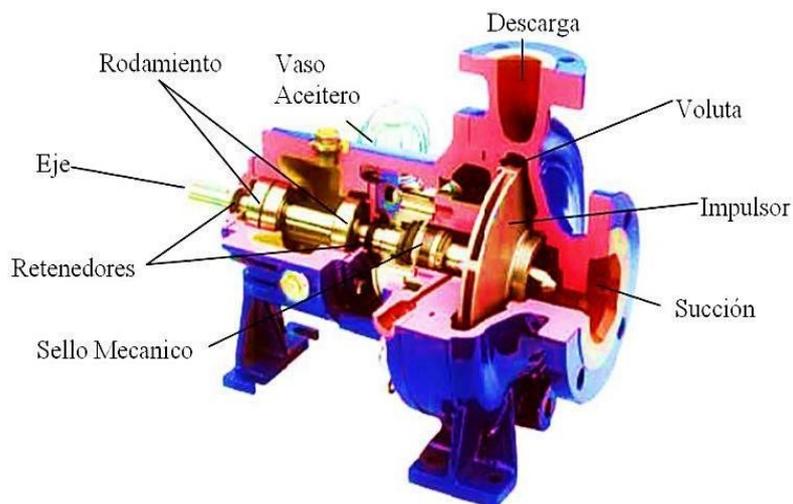
Nota: Electrobombas centrifugas Pedrollo, extraido del Catálogo de Perú bombas.

2.2.4. Bomba Centrífuga

Se define de la siguiente manera, es un conjunto de elementos estáticos y rotatorios que están dentro de una coraza, como elemento principal rotatorio tenemos al impulsor y flecha, como elementos estacionarios la carcasa, estoperas y chumaceras. La función de esta máquina rotatoria es de aumentar la presión de ingreso del fluido mediante la acción centrífuga mediante paletas que contribuye energía al fluido por la fuerza de esta misma acción.

Figura 3

Bomba Centrífuga.

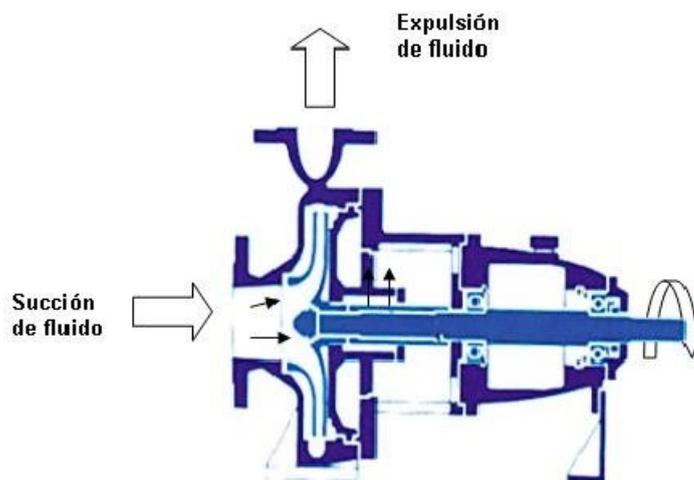


Nota: Extraído de Bejarano, R. (1997).

El fluido ingresa por el lado de succión donde las paletas del rodete transportan al fluido hacia fuera en dirección radial ganando energía de presión y cinética, esto llega a generarse gracias a la forma geométrica del caracol de la voluta para producir un crecimiento gradual en el sector de flujo. (Bejarano , R, 1997).

Figura 4

Principio de Funcionamiento de una Bomba Centrífuga.



Nota: Extraído de Pérez, C.

Partes. principales de una Bomba. Centrífuga.

- **Impulsores:** Es la parte más importante de la bomba centrífuga. Recibe el líquido y le imparte una velocidad de la cual depende la carga producida por la bomba.
- **Carcasa:** Es la parte exterior protectora de la bomba y cumple la función de convertir la energía de velocidad impartida al líquido por el impulsor en energía de presión. Esto se lleva a cabo mediante reducción de la velocidad por un aumento gradual del área.
- **Flecha:** Elemento que imparte el movimiento de la flecha del motor, es el eje de todos los elementos que giran en la bomba centrífuga.

2.2.5. Determinación de la Curva de Perdidas del Sistema

Punto de Funcionamiento de la Bomba. La bomba tendrá que proporcionar en todo caso toda la potencia primordial para llevar el líquido del nivel agua debajo al nivel agua arriba. Por consiguiente, la elevación manométrica total de la bomba comprenderá además de la diferencia de niveles, las diversas pérdidas en las tuberías, en los codos, válvulas, etc. (Saldarriaga,J, 1988).

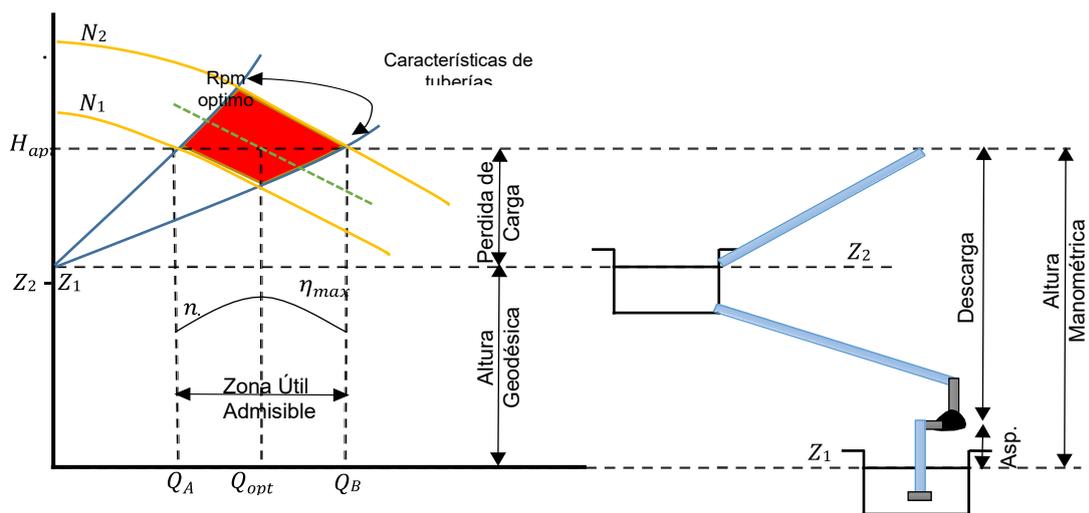
En el plan de una instalación ,tendrá que indagar cuál es el enfoque de manejo de la bomba debido a lo cual las propiedades del sistema y de la bomba se intercepten en el lugar de alta eficiencia de esta última o bien tenga que modificarse la selección de esta , modificando todo el plan de una instalación de bombeo.

De las curvas características , la eficiencia de la bomba se toma de la eficiencia máxima , el caudal que podría ser el óptimo caudal correspondiente a una rapidez (RPM) óptima, siendo este punto con en relación a la curva de pérdidas del sistema un punto intermedio del sistema más grande RPM(C) como al igual a menor RPM (A), los dos tomando en cuenta la misma altura Geodésica.

Con ayuda de la ficha técnica de la bomba establecidas por el diseñador, se proyectan las curvas de velocidad como las presentadas en el diagrama N1 y N2.

Figura 5

Punto de Funcionamiento de Bomba Centrífuga.



Nota: Extraído del informe: Bombas hidráulicas – Selección, Operación y Mantenimiento (s.f), p. 72.

Se ha representado en el diagrama el punto de funcionamiento óptimo de la bomba. (N-Q) óptimo y se indica su significado en el esquema de la instalación de la bomba.

El gráfico muestra una valiosa zona permisible, donde el marco puede trabajar sin casi ninguna desgracia, a pesar de las variedades no excepcionalmente grandes que podrían experimentar el consumo o la velocidad de la bomba, asimismo esta región es la actividad más conservadora e ideal de la bomba, por estar en el ámbito de mayor competencia.

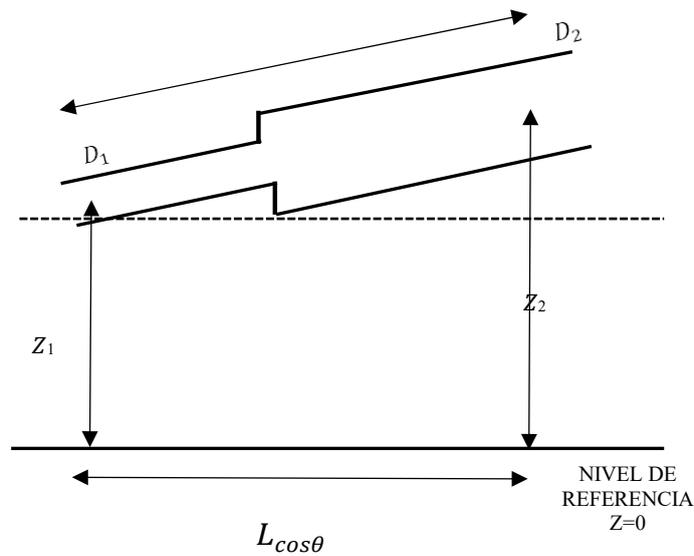
El punto de operación provee un Q óptimo que llegaría a ser un caudal promedio entre un ínfimo y supremo que se podría bombear, al alternar las RPM de la bomba, lo cual haría también alternar la altura de bombeo, o altura total manométrica, donde la altura totalmanométrica óptima se encuentra en esta clase.

2.2.6. Determinación. de la curva. de Pérdidas del Sistema

A. Ecuación De Bernoulli Corregida

Figura 6

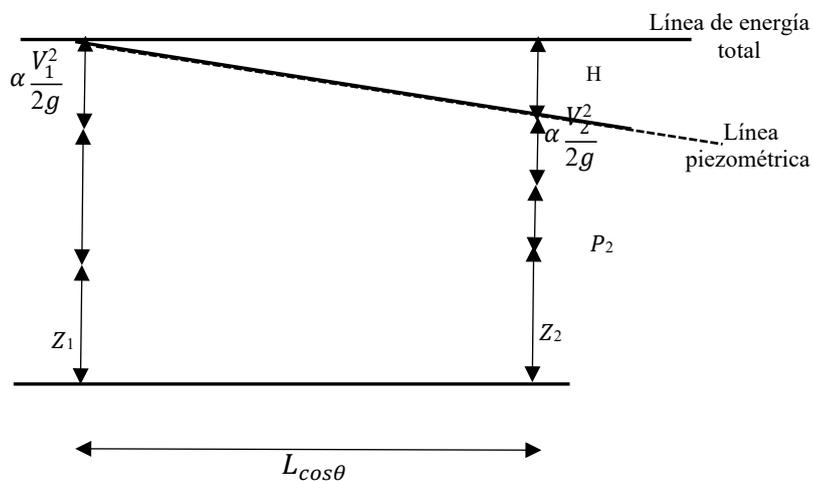
Representación de Diferencias de Alturas Geodésicas en un Cambio de Sección.



Nota: Bombas hidráulicas – Selección, Operación y Mantenimiento (s.f), p.73.

Figura 7

Representación Gráfica de Ecuación de Bernoulli para Fluido Viscosos Incomprensibles.



Nota: Bombas hidráulicas – Selección, Operación y Mantenimiento (s.f), p.74.

$\frac{p}{\gamma}$ = altura de presión, determinado para cada sección.
(metros de columna de fluido)

z = altura geodésica (m)

L = longitud de la tubería (m)

\bar{V} = Velocidad promedio de la línea de corriente en (m/s)

OC = Coeficiente de CORIOLISIS, que se toma debido a la distribución no uniforme de la velocidad a través de la sección con una energía definida en el flujo.

$$\frac{ocV^2}{2g} = \text{altura de velocidad (metros de columna de fluido)}. \quad (1)$$

En flujo Turbulento OC = 1.062 y en forma práctica para flujo turbulento en cálculos menos precisos OC se toma igual a 1.

g = gravedad del lugar (m/s^2).

p = presión estática del fluido (N/m^2).

γ = peso Específico del líquido a cierta temperatura (N/m^3).

z = altura geodésica de la línea de centro de la tubería a un nivel horizontal dereferencia (m).

H_p = altura de pérdidas del sistema de tuberías para la longitud de tubería. L (m). Es la energía irreversible transformada en calor de la tubería.

Θ = ángulo de inclinación de la tubería con respecto a un nivel horizontal. (Grados)

Ecuación de continuidad para flujos incompresibles. El volumen de un líquido que pasa por medio de una parte transversal de la tubería a lo largo de un cierto tiempo debería ser igual al volumen que pasa por medio de otra parte transversal en el mismo tiempo. (Vischer,D, 1985).

$$Q_1 = Q_2 \quad (2)$$

$$VA_1 = VA_2 \quad (3)$$

Altura de Pérdidas del Sistema de Tuberías

Pérdidas Principales o por Longitud de Tubería (HF).

Calcular el costo de esta caída de presión se necesidad, para una correcta selección de bombas, empero además para revisar que el diámetro. Seleccionado para la red de tuberías es el idóneo, en este caso se optan por cantidades de baja presión en un sistema de tuberías lo consecuente: (para caudal de 0 hasta 60 m³/h):

- Área de impulsión de bombas: 0.6 a 0.8 kg/cm² (0.59 a 0.78 bar)

- Área de aspiración de bombas: 0.40 kg/cm² (0.39 bar)

Asimismo, en algunas ocasiones, no será aceptable levantar dicha cantidad ya que se cuenta restringido por el diámetro de las conexiones de los equipos (del cual tiene que especificar el fabricante, en su ficha técnica). Si esto pasara tendrá que incrementar el diámetro de la red de tuberías sobre la velocidad que recomienda , para que la pérdida de carga baje. (Cengel,Y., & Cimbala,J, 2006).

De esta forma, al realizar el cálculo de las pérdidas de carga, se procurará que, en la medida de lo posible, no superen los valores anteriores.

Para determinar las pérdidas se emplea la ecuación de Fanning, que se representa en términos de altura:

$$H = f \frac{L.V^2}{D_h 2g} \quad (4)$$

donde:

H = Pérdida de carga en metros de columna de líquido (m.c.l.)

f = Coeficiente de fricción en las paredes, (adimensional)

L = Longitud de la tubería (m)

D_H = Diámetro hidráulico (m)

$$D_H = \frac{4\gamma}{\rho m} \quad (5)$$

A = Área de la sección transversal de la tubería (m²)

P_m = Perímetro húmedo por el líquido en la sección transversal de la tubería

(m)

v = Velocidad del fluido, m/s

g = Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

El coeficiente de rozamiento o Fricción "f" es función del tipo de flujo y se calcula del modo siguiente:

- Si el flujo es laminar ($Re \leq 2000$):

$$f = \frac{16}{Re} \quad (6)$$

Si el fluido es turbulento ($Re \geq 4000$) o corresponde al área transitoria ($2000 < Re < 4000$) se solicitan tablas como el de diagrama de Moody mencionando vinculación en medio de "f", el número de Reynolds (Re) y una variable, como rugosidad relativa de la tubería, que se expresa como ϵ/d (d es el diámetro interno de la tubería) y se obtiene tabulado para diferentes materiales. En asfalto y para tubería de acero, la cantidad de diseño de ϵ es de 0.006 cm.

Entonces, para evaluar y medir el gasto de carga tiene que ser explícito localizar el tipo de fluido en la tubería, del cual sea necesario saber el número de Reynolds, que se mide en la representación:

$$Re = \frac{d \cdot v \cdot \rho}{\mu} \quad (7)$$

Del cual:

v y d son magnitudes adimensionales

ρ es la densidad del fluido sobre un vol. (kg/m³)

μ es la viscosidad (Pa·s)

Para lo antes expuesto es para líquidos, la cual su viscosidad es continua en todos los puntos, en caso el flujo no tiene esta característica será importante, evaluar el factor de rozamiento de Fanning, revisar un diagrama de Moody adecuado en el que se usa el número de Reynolds comúnmente se obtiene de la expresión siguiente:

$$Re \frac{d^n \cdot v^{(n-1)} \rho^\mu}{\mu} \quad (8)$$

Donde n es el exponente de la ley de la potencia para el fluido en cuestión.

Diagrama de Moody. Es un diagrama donde se pudo representar la siguiente gráfica, el coeficiente de fricción f en tuberías de rugosidad comercial que transportan cualquier tipo de fluido. (Moody,L, 1994)

El esquema detalla el componente de fricción contra el número de Reynolds (Re) con una serie de curvas para métricas relacionadas con la rugosidad relativa (ε/D). Detalles del esquema:

- En una corriente e l número de Reynolds dado, conforme incrementa la rugosidad relativa ε/D , el factor de fricción incrementa.
- Para una rugosidad relativa ε/D , el factor de rozamiento merma con el incremento del número de Reynolds, hasta que alcanza la zona de turbulencia completa.

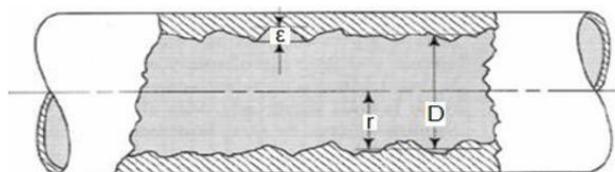
La rugosidad relativa es la relación entre rugosidad absoluta(ε) y el diámetro interno (D) de la tubería, debido a que la rugosidad es algo irregular,se tomara valores promedios.

Se deberá tomar en consideración lo siguiente:

- Calidad del material.de la tubería o conducto.
- Proceso de fabricación de la tubería.
- Naturaleza del líquido a ser conducido.
- Tiempo de servicio de la tubería.

Figura 8

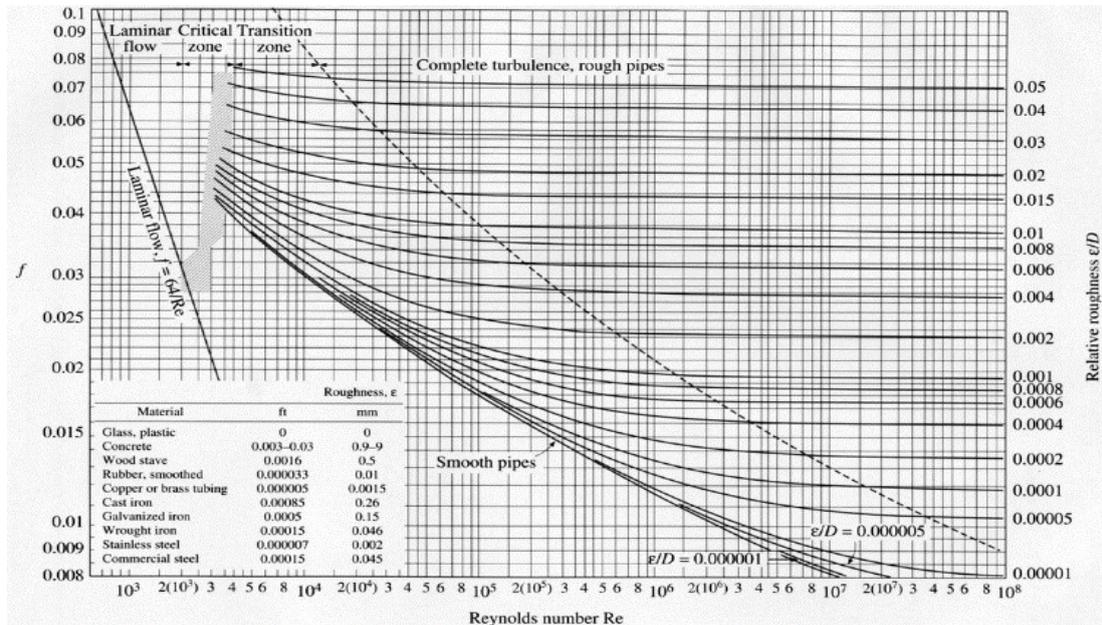
Representación Gráfica de Ecuación de Bernoulli para Fluido Viscosos Incomprensibles



Nota: Mecánica de fluidos, Mott Robert, pag.235.

Figura 9

Diagrama de Moody.



Nota: Mecánica de fluidos, Mott Robert, pag.235.

Como se aprecia en la tabla se ha determinado el valor de la rugosidad absoluta (ϵ) para tubos existentes comercialmente. Estos son los valores promedios para tuberías nuevas y limpias.

Tabla 1

Rugosidad absoluta (ϵ) en tubos comerciales

Material de conducto	Rugosidad absoluta (ϵ)(mm)
Acero comercial	0.0460
Hierro galvanizado	0.1500

Nota: Elaboración propia.

b.1. Pérdidas Secundarias (Hs). Se da comúnmente por:

- Adecuación de sector transversal: en tuberías (estrangulando el fluido, efectos de entrada y salida en la tubería, originando vórtices).
- Modificación de direcciones del fluido: por la aparición de codos, tees, similares, etc.
- Válvulas o componentes de control: en las tuberías como válvulas de compuerta, globo, check, mariposa, etc.
- Moderador de flujo: actual en la tubería como caudalímetro, venturís, orificio, etc.

donde:

$\sum_{i=1}^n k_i$ = Coeficiente local de resistencia para cada accesorio, donde estas pueden

ser desde 1 hasta n accesorios

Nota: Similar modo de calcular las pérdidas secundarias es también el concepto de “longitud equivalente”.

Longitud Equivalente (Le)

Se define como la longitud de una tubería irreal que genera gastos iguales a como los cambios de dirección, sección o una válvula, la cual fluye un mismo caudal.

.Le = k DH = este valor de (Le) se inicia en tablas

Las pérdidas totales se calculan con :

$$H_p = f \frac{L + \sum_{i=1}^n Le}{2g} V^2 \quad (9)$$

Donde:

L = longitud total de la tubería (m)

$\sum_{i=1}^n Le$ = longitud equivalente de cada accesorio o componente, (m), que varían desde 1 hasta n accesorios.

Los demás parámetros tienen las características indicadas anteriormente, en tuberías de agua cortas, la altura de gastos secundarias son mayores a los del gasto principal.

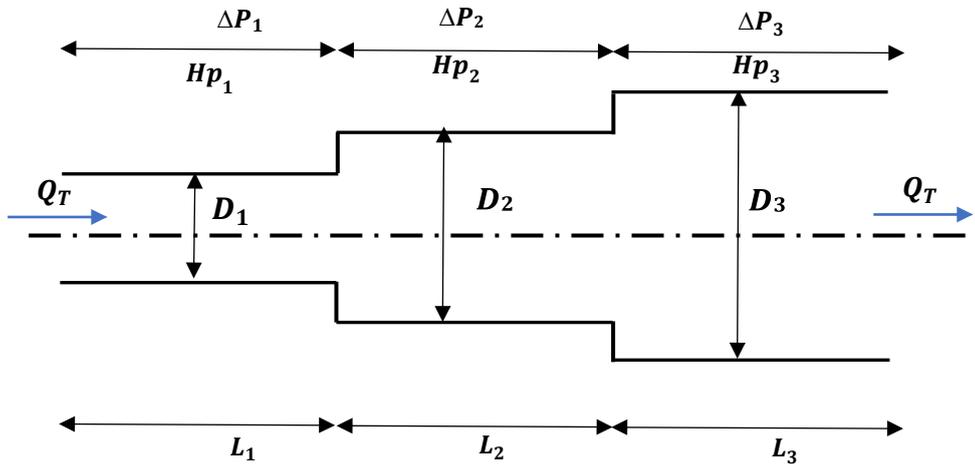
Ejem: tubería de succión de bombas centrifugas, tubos, sifón, etc.

2.2.7. Tuberías en Serie y Paralelo

A. Tuberías en Serie

Figura 10

Representación de Conexión de Tuberías en Serie.



Nota: Bombas hidráulicas – Selección, Operación y Mantenimiento (s.f), p.79.

Caudal

$$W_T = Q_1 = Q_2 = Q_3 = \text{etc} \quad (10)$$

$$H_T = H_{p_1} + h_{p_2} + h_{p_3} \quad (11)$$

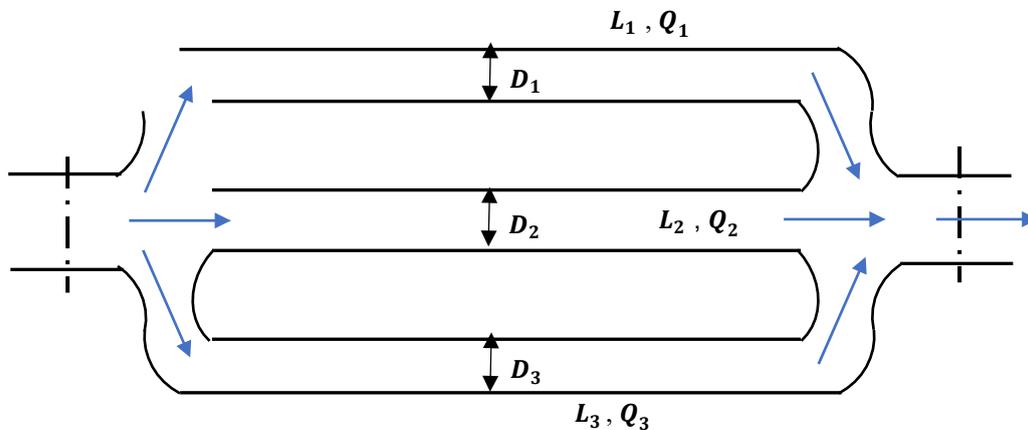
Donde:

$$h_{p_1} = h_{f_1} = h_{s_1} / h_{p_2} = h_{f_2} = h_{s_2} / h_{p_3} = h_{f_3} + h_{s_3} \quad (12)$$

Tuberías en Paralelo

Figura 11

Representación de Conexión de Tuberías en Paralelo.



Nota: Bombas hidráulicas – Selección, Operación y Mantenimiento (s.f), p.80.

Caudal

$$Q_A = Q_B = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (13)$$

$$H_{p_{AB}} = h_{p1} = h_{p2} = h_{p3} \quad (14)$$

2.2.8. Selección de Equipos de Bombeo

A fin de elegir un grupo de máquinas de elevación de presión hidráulica se tendrá una comprensión completa de la red, del cual laborará la bomba y motor, ocasión opuesta se realizará una elección equivocada dando mal desempeño a la bomba, desarrollando la capacidad y eficacia de la red. (Gómez,P.,et al, 2017).

Para la selección de las bombas se toma recomendaciones como:

- El diseñador efectuará un cálculo y diseño de la red de bombeo siguiendo la selección más adecuada en su ficha técnica y diagramas de las curvas características de estas.
- El cliente provee detalles completos a uno o más proveedores, de las condiciones de bombeo y pide una recomendación y oferta de las unidades que parezcan más apropiadas para la aplicación.

Una combinación de los anteriores métodos para llegar a la selección final.

No es un ejercicio recomendable, dejar la elección de la bomba sólo por parte del fabricante, debido a que su criterio será de acuerdo a lo experimentado por él , y no al trabajo parcial del sistema en que será sometida la bomba. Una perfecta selección es unificar las ideas del fabricante y diseñador.

Opuestamente, para realizar una buena práctica mostrar un esquema total de la red que operará el equipo al fabricante , y dar las características necesarias donde se empleara dicha bomba , como es el caso de temperatura, altura geodésica, etc

2.2.9. Selección de una Bomba hidráulica

Los procesos principales para la selección diferentes tipo de bomba son:

- Realizar un esquema del sistema hidraulico.
- Hallar la cantidad de fluido que pasara en el sistema de bombeo.
- Estimar y evaluar altura manométrica.
- Analizar las características y propiedades del fluido

- Seleccionar la bomba adecuada para el funcionamiento.

2.2.10. Condiciones de Operación

2.2.10.1. Caudal. Para elegir conjuntos de aumento de presión hidráulica, se tienen que decidir el caudal con que trabajarán dichos grupos a lo largo de su historia eficaz. En planificaciones de limpieza los caudales que corresponden eficazmente a los grupos son los caudales del plan. (Kenneth,J, 1992)

En planificaciones de distribución de agua domestica, el caudal que se empleara para la elección de bombas, la pequeña parte del caudal supremo o diario en función del número de horas de aumento de presión hidráulica, se ve representada de la siguiente manera

$$Q_b = Q_{\max.d} \frac{24}{N} \quad (15)$$

Donde:

Q_b = Caudal de bombeo, l/s

$Q_{\max.d}$ = Caudal máximo diario, l/s

N = Número de horas de bombeo

La cantidad de fluido intermedios de inicio y de planificación tiene importancia ya que define grupos operando lo mejor posible para los caudales medios.

La cantidad de fluido ínfimos sirve para calcular y designar la tubería de elevación de presión con una velocidad media impidiendo la suspensión de partículas.

Para la elección de bombas en planificaciones, se deben darse cuenta los subsecuentes caudales de la red de alcantarillado: caudal supremo del proyecto, caudal medio inicial, caudal medio de la planificación y caudal ínfimo a la entrada. Las bombas tendrán el abasto de expulsar el caudal supremo de lo planificado.

2.2.10.2. Altura manométrica total. La bomba trabajará para satisfacer la altura manométrica total H_t a lo largo de su desempeño, comprendiendo las próximas variables: alturas fijas de impulsión y succión, las reducciones por fricción, la elevación de rapidez, pérdidas primarias y secundarias y la variación de presión que existe sobre el fluido en el lado de la absorción y la propulsión (Kenneth,J, 1992)

$$H_t = h_i \pm h_s + h_{f_x} + h_{f_i} + \sum h_{L_i} + \sum h_{L_s} + \frac{v_i^2}{2g} \quad (16)$$

Donde,

H_t = Altura manométrica total (m).

h_s = Altura estática de succión (m).

h_i = Altura estática de impulsión (m).

h_{f_s} = Pérdida de carga por fricción en la succión (m).

h_{f_i} = Pérdida de carga por fricción en la impulsión. (m).

$\sum h_{L_s}$ = Pérdida de carga local en la succión (m).

$\sum h_{L_i}$ = Pérdida de carga local en la impulsión (m).

V_i = Velocidad en el conducto de impulsión (m/s).

H_g = Altura estática total ($h_i \pm h_s$).

Entonces la presión de absorción estática (h_s) es la separación vertical desde la altura del fluido en el tanque de absorción hasta la entrada de succión de la bomba; la cual la dirección del fluido será (+) o (-), dependiendo de si el líquido está sobre o por debajo de la línea al eje de la bomba (Figura 11).

La elevación de descarga estática (h_i) es la separación vertical desde la línea al eje de la bomba hasta el punto de descarga, o hasta el distancia de agua más alto en el depósito de repulsión cuando se provee a través del fondo del tanque (Figura 12).

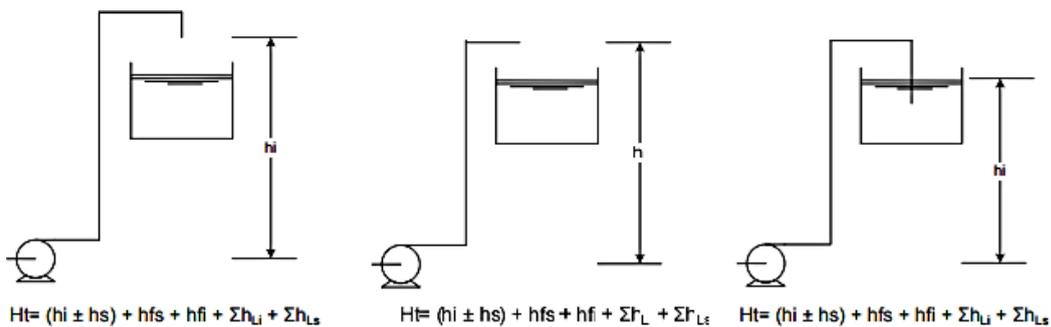
Se considera que la energía de velocidad $v^2/2g$ se deja en la propulsión de la tubería de descarga; en el ejercicio, se reduce la energía considerando semejante a la merma de salida y se agrega en la reducción de energía local. Las elevaciones estáticas superiores a 50 metros son insignificantes en operaciones de baja exigencia.

En la Figura 11 se observa gráficamente la disposición de la elevación piezométrica general en varios casos, donde el eje horizontal es la absorción y expulsión de la bomba centrífuga, y en la Figura 12 el eje vertical es la disposición de la altura piezométrica de la bomba centrífuga en el profundidad del tanque.

Por ultimo para diseñar y calcular la elevación manométrica, se debe examinar el cambio de nivel del agua entre los pasos de control de punto de partida y punto de salida de la bomba y el área del agua en el punto de impulsión (Fig. 12).

Figura 12

Altura Manométrica de Eje Horizontal Total en Diversos Sistemas de Agua.



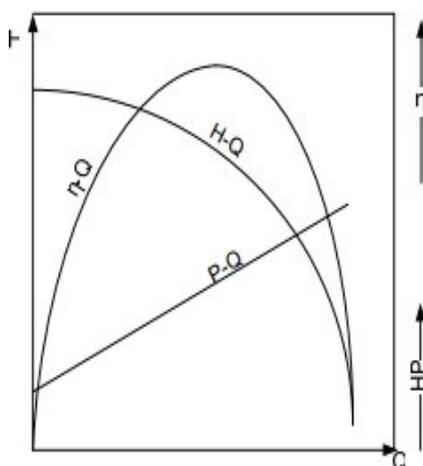
Nota: Diseño de estructura para la conducción de agua y saneamiento para centros poblados rurales Pronasar Lima 2004.

2.2.11. Curva característica

La característización de operacionalización se muestra en líneas de curvas en un esquema de coordenadas Q-H; Q-P y Q- η . A diferente valor Q_x otorga un lugar en las ordenadas H_x , P_x y η_x , proporcionando las constantes dependientes de altura, potencia y rendimiento.

Figura 13

Curva Características de una Bomba.



Nota: Bombas hidráulicas – Selección, Operación y Mantenimiento (s.f), p.34.

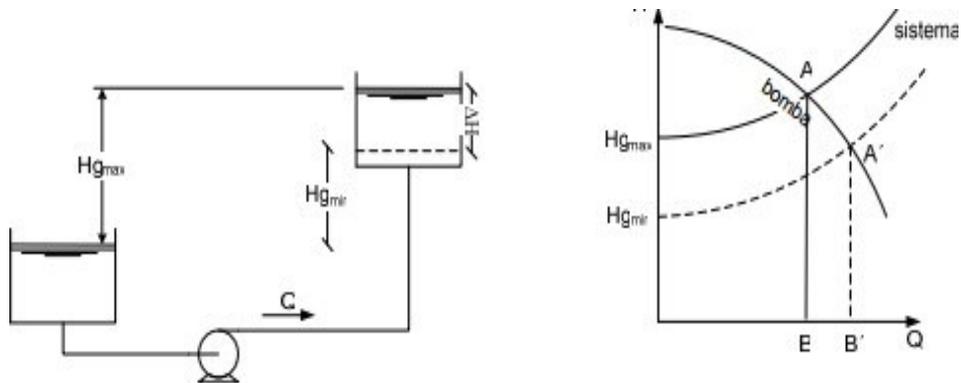
Tenemos la posibilidad de comprobar que la bomba centrífuga tiende a aprovisionar un caudal que se aloja de cero hacia un valor más elevado, que es dependiente de las características de la bomba y de las circunstancias de absorción. La rentabilidad se incrementa con el caudal, hacia un lugar más elevado, y luego mengua hasta llegar a cero, en la ordenada cero. Cada curva otorga a una específica velocidad de movimiento rotacional de la bomba y a un diámetro del impulsor.

2.2.12. Curva del Sistema

Las curvas características de una red de bombeo se puede dar en esquemas de caudal (Q) versus altura (H), iniciando en la coordenada semejante a H_g (altura estática) para $Q=0$ y proyectando la curva de gasto de carga por rozamiento (h_f) en función del caudal.

Figura 14

Curva del Sistema y Puntos de Operación de la Bomba.



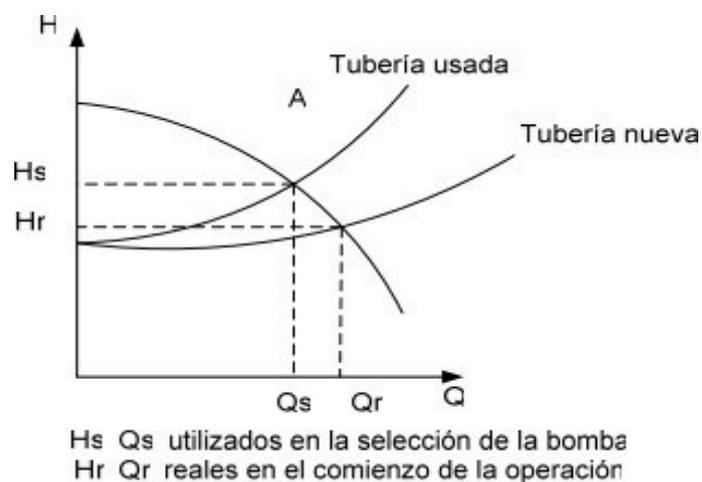
Nota: Bombas hidráulicas – Selección, Operación y Mantenimiento (s.f), p.104.

Todo caudal (Q) se le otorga una específica altura (H). Las modificaciones de la elevación estática producen diferentes curvas del sistema. El cruce entre la curva característica de la bomba y cada curva del sistema delimita características de operación (A y A').

De modo que la erosión y las incrustaciones en las tuberías aumentan con el tiempo, frecuentemente la mengua de carga por rozamiento y por ello la curva del sistema se diseña teniendo en cuenta una antigüedad de la tuberías entre 10 a 15 años.

Figura 15

Curvas del Sistema de Acuerdo a la Antigüedad de las Tuberías.



Nota: Bombas hidráulicas – Selección, Operación y Mantenimiento (s.f), p.104.

La pérdida de carga se aproxima ser elevado al valor verídico de la pérdida cuando la tubería será de primer uso, ya que aun no tiene mucha rugosidad . Como consecuencia, en el principio del trabajo, la bomba operará con una elevación ínfima a la estipulada y con un caudal preeminente del cual ha sido elegido.

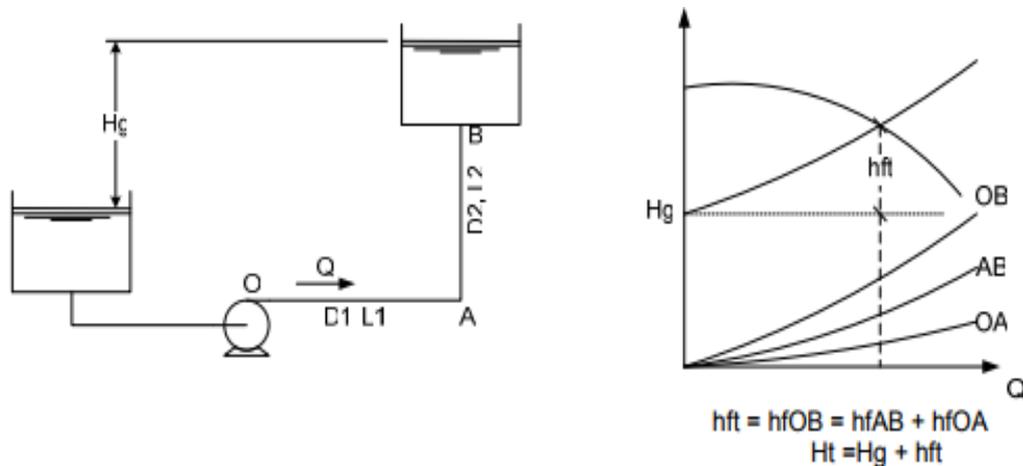
2.2.13. Punto de Operación del sistema

De la misma forma que ha sido anticipado en el lugar precedente, el punto de trabajo de la bomba se define por el cruce entre la curva del sistema y característica de la bomba elegida. Luego se informa el punto de trabajo de la bomba para diferentes casos:

En tuberías en serie. Se establece un sistema de dos tuberías de diámetros D1 y D2. El rozamiento de cada área transversal de tubería está representada por su propia curva. La curva final es la adición de las ordenadas de las dos curvas.

Figura 16

Curva del Sistema y Punto de Operación de la Bomba para un Sistema de Tuberías en Serie.

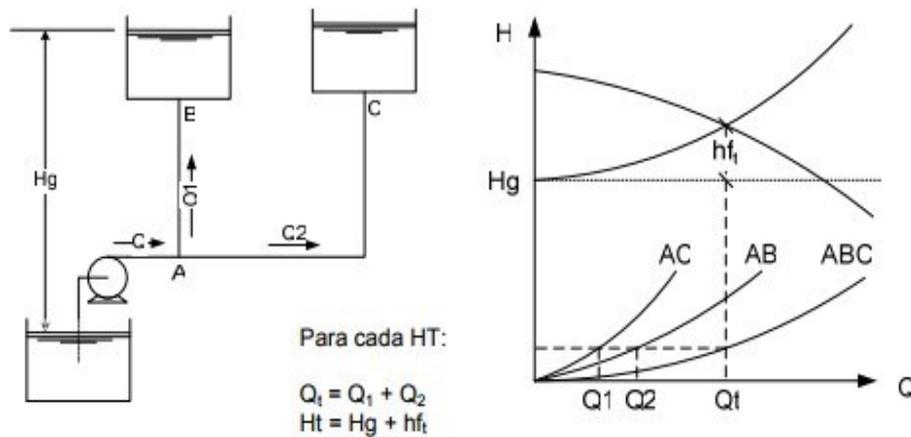


Nota: Bombas hidráulicas – Selección, Operación y Mantenimiento (s.f), p.106.

En tuberías en paralelo. Será empleado para una mayor necesidad de gasto masico, donde podemos ver en la imagen, la curva resultante del sistema es la suma de las coordenadas.

Figura 17

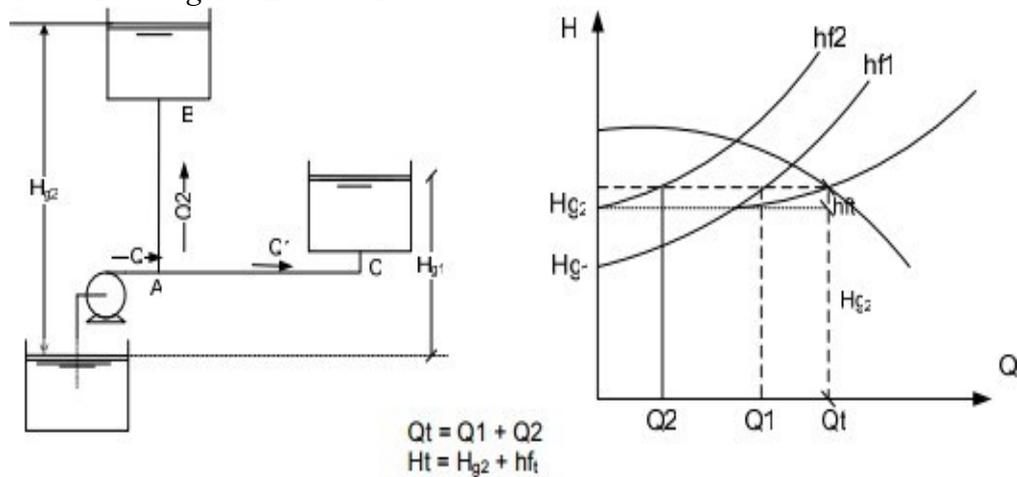
Curvas del Sistema y Puntos de Operación de la Bomba para un Sistema de Tuberías en Paralelo con Descargas a Distinto Nivel.



Fuente: Bombas hidráulicas – Selección, Operación y Mantenimiento (s.f), p.106.

Figura 18

Puntos de Operación y Curvas de Sistemas de la Bomba para un Sistema de Tuberías en Paralelo con Descargas a Distinto Nivel.



Nota: Bombas hidráulicas – Selección, Operación y Mantenimiento (s.f), p.106.

2.2.14. NPSH

El NPSH se expone de la siguiente manera, como la fuerza perpendicular al área que debería estar en contacto un fluido, del cual inunde los alabes en agujero del inicio del expulsor de una bomba y fluir a través de las tuberías de succión.

La fuerza aplicada en una sección de área hidráulica, En otro lugar de la red de bombeo debería ser elevada a la presión de vapor del líquido bombeado, para eludir la cavitación en la tubería de absorción en los alabes del impulsor de la bomba. El lugar más crítico es al inicio del impulsor, donde se produce la presión mínima. Entonces, si mantuviéramos la fuerza aplicada en una sección de área hidráulica en el inicio del impulsor por encima a la fuerza aplicada en una sección de área de vapor, no tendríamos vaporización Al inicio de la bomba y no lograríamos así, el fenómeno de cavitación .

La conclusión práctica, entonces, del NPSH será prevalecer alcances a las características de absorción, del cual debe tener la presión en el inicio del impulsor de la bomba hasta fuerza aplicada en una sección transversal de vapor del líquido bombeado.

NPSH disponible. Es la fuerza aplicada en una sección de área hidráulica proporcionada por la red hidráulica superficial a la bomba y se requiere explícitamente Las especificaciones hidráulicas del sistema de absorción instalada a la bomba. Para que la conexión trabaje adecuadamente, sin errores hidráulicas ni mecánicas, el NPHS disponible en la red tendrá que ser elevada , mínimamente en 500 mm (0.5m) al NPSH requerido por la bomba.

NPSH Requerido. El proveedor proporciona los alcances de absorción de una bomba a través de su curva característica del NPSH requerido por esta, para diferentes cantidades de caudal. El NPSH requerido es por parte del diseño y calculo particular de cada bomba y distinta con el caudal y la velocidad de la bomba. Difiere asimismo entre bombas de un solo proveedor y con mejor juicio entre las de distintos proveedores.

Hoy en día, cada curva característica de una bomba tiene su curva de NPSH requerido en función de la capacidad al caudal. Esta curva explica la magnitud vectorial de la fuerza aplicada en una sección de área hidráulica total, que debe existir como mínimo en la entrada de la bomba para anular la cavitación. En otras palabras, permite obtener las alturas máximas de succión de la bomba para cada valor de caudal.

Para la selección de bombas en general, depende de los siguientes factores :

- Peso específico del fluido
- Altura del lugar de instalación de la bomba .
- Calor obtenido de las moléculas del fluido (°C).

Estos parámetros anteriormente revisados como; la altitud estática de absorción y las características de absorción (accesorios, diámetro, etc.), interactúan en la especificación del NPSH (“net positive suction head”), del cual tiene su alcance en las circunstancias en la curva de absorción del cual se abordará en lo siguiente.

2.2.15. Accesorios del sistema hidráulico

Vacuómetro.

Son manómetros en los que la escala está graduada desde una fuerza aplicada en una sección de área hidráulica negativa hasta una fuerza aplicada en una sección de área hidráulica de cero. Se necesita del proveedor que tienda a cubrir la escala de presiones negativas o de vacío desde 10^{-3} a 100 mbar o desde 10^{-6} hasta 10^{-9} mbar.

Sus componentes mecánicos pueden medir presiones por debajo de la presión atmosférica como por ejemplo en la tubería de aspiración de las bombas. (McLeod, H, 1874).

Figura 19

Vacuómetro de Glicerina 0 – 1 Bar.



Nota: Catálogo Sommer Tachbik V8.0 Vacuum & Fluid Technology.

2.2.16. Operación y Mantenimiento de las Bombas Hidráulicas

Recomendaciones Esenciales para el Proyecto, operación y mantenimiento de una instalación de bombeo

- a. Colocar la bomba lo más cerca del tanque de aspiración para evitar aumento de altura de aspiración. Evitar en la tubería de descarga el mayor número de codos y accesorios para disminuir las pérdidas por fricción (prevenir cavitación).
- b. Cuidar la bomba ante inundaciones y el motor que este en un espacio reseco (esencialmente el motor eléctrico).
- c. La construcción debería estar solido para reforzar una excelente configuración del grupo motor bomba y prevalezca con el tiempo de trabajo proyectado.
- d. Configura y limitar el grupo, previo a la unión de las tuberías de absorción e impulsión. Al conectar no debería obligar la bomba, de modo que el aprieto de los tornillos sirva solopara estanqueidad en los empaques.
- e. Prever una válvula de pie en la tubería de descarga que sirve para arrancar y parar la bomba.
- f. Instalar una válvula de pie entre la bomba y la válvula anterior para la protección de la bomba en caso de paro brusco del motor (golpe de ariete).
- g. La tubería de aspiración no tiene ingreso de aire ni deben tener bolsas de aire. Esta tubería es preferible que este inclinada hacia abajo con respecto a la horizontal.
- h. Impedir los codos y las variaciones de sección transversal en la aspiración.
- i. La sección de la válvula de aspiración de pie en la aspiración debe de equivaler a la sección de la tubería (igualdad de diámetro).

- j. La coladera de la aspiración debe tener igualmente una sección útil igual a la de la tubería considerando la velocidad del agua en la coladera no mayor de 0.6 m/seg.
- k. Antes de la puesta en marcha se debe asegurar, que la lubricación sea hecha y que la bomba esta cebada. Un arranque sin cebar es nocivo sobre todo cuando la bomba lleva algunas partes lubricadas por agua.
- l. La potencia necesaria para el arranque de una bomba de flujo radial bajo una carga elevada o media disminuye cuando se cierra la válvula de descarga. Hay que aprovechar esto para el arranque. Este efecto es menor en las bombas hélice-centrifuga y la potencia con la válvula cerrada puede ser a veces mayor.
- m. En las bombas hélice debe arrancarse con la válvula de descarga abierta.
- n. No debe apretarse mucho el esto, pero en condiciones normales este deja salir continuamente una gota de agua.
- o. Se debe acatar las recomendaciones del fabricante plasmadas en su ficha técnica.

2.2.17. Pruebas Hidráulicas.

Estas pruebas tienen por objetivo conocer las características de funcionamiento de las bombas. Para ello se requiere medir las siguientes magnitudes básicas

- a) Caudal
- b) Altura efectiva
- c) Revoluciones por minuto
- d) Potencia absorbida

Los métodos usados en la medición de estas magnitudes se resumen en la siguiente tabla. Para realizar un ensayo debe recurrirse a las normas de ensayo apropiadas. Se debe tener cuidado en la medición para evitar los errores de medición. (Warring,R, 1997)

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Materiales

El proyecto cuenta con los siguientes recursos:

- Dos bombas centrifugas de 01 Hp.
- Tres planchas de acero inoxidable A304L.
- Una Laptop con capacidad y software para diseñar y modelar el módulo interactivo.
- Una Laptop con capacidad y software para procesar datos de cálculo teórico y experimental.
- Referencias bibliográficas e informes de tesis similar.
- Uso de la red de internet para búsqueda de información complementaria.

3.2. Metodología

3.2.1. Metodología de investigación

El proyecto de investigación será de tipo cuantitativo de diseño experimental, de corte longitudinal.

Cuantitativa: Porque permitirá recopilar datos mediante herramientas matemáticas y formular conclusiones generalizadas que puedan ser proyectadas en el tiempo.

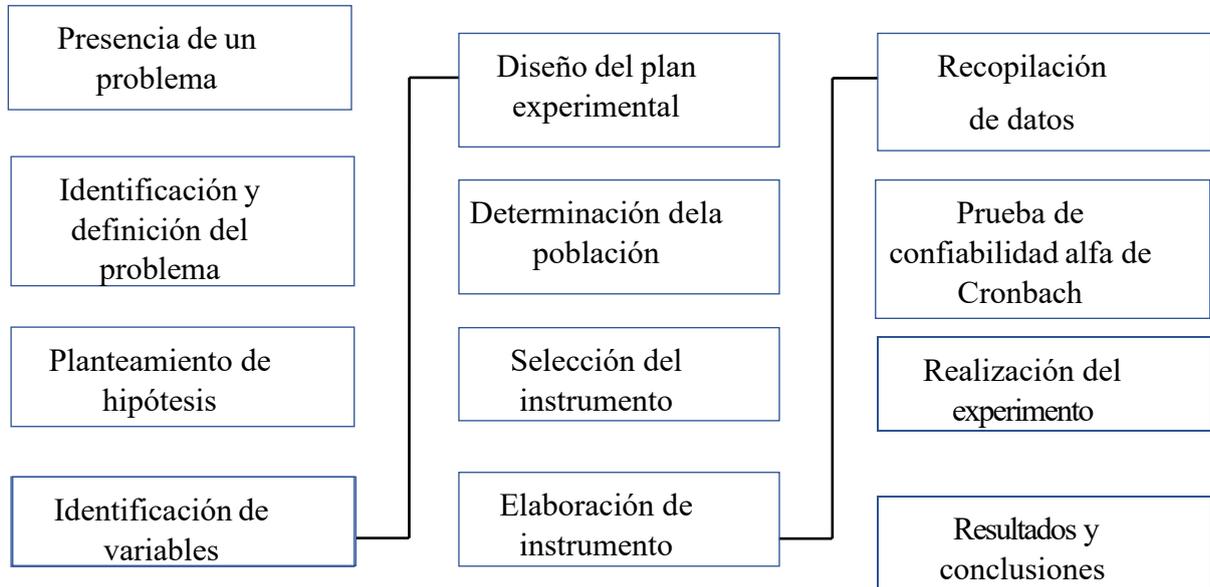
Experimental: Porque permitirá diseñar un fenómeno cuyas variables son manipuladas en condiciones controladas.

De corte longitudinal: Porque permitirá dar seguimiento a los cambios de las variables un periodo definido. (Ñaupas, H, et al, 2014).

3.2.2. Procedimiento de investigación

Figura 20

Procedimiento de la investigación.



Nota: Elaboración propia.

3.2.3. Identificación de las variables

3.2.3.1. Variable independiente.

3.2.3.1.1. Instalación de bombas centrífugas en serie y paralelo.

3.2.3.2. Variable dependiente.

3.2.3.2.1. Modulo interactivo

3.2.4. Operacionalización de las variables

Con el fin de unificar el significado de la hipótesis, en la tabla 2.2 y tabla 2.3, se desarrolla la definición conceptual y operacional de las variables que se están utilizando en la investigación.

Tabla 2

Operacionalización de variable independiente

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA	INSTRUMENTOS
Instalación de bombas centrifugas en serie y paralelo.	Es un sistema de turbo máquinas que incrementan la energía del líquido, mientras está fluyendo a través del rotor en forma radial, debido a la fuerza centrífuga generada por el movimiento de los alabes.	1.1. NPSH requerido: Medida tomada en el punto de aspiración de cada bomba centrifuga, proporcionada por el fabricanteensus curvas de operación.	1.1. Presión: Pa magnitud física que mide la proyección de la fuerza en dirección perpendicular por unidad de superficie, y sirve para caracterizar cómo se aplica una determinada resultante fuerza	Razón continua	Manómetro
		1.2. NPSH disponible: Característica dela instalación del líquido a bombear para saber cuan cerca está el fluido de la cavitación.	1.2. Temperatura Es una magnitud escalar que sistematiza la noción vulgar de frío y caliente haciéndola medible mediante un termómetro.		Flexómetro Manómetro
		1.3. Altura manométrica: Es la cantidad de litros de agua que la bomba debe trasladar en el sistema.			

Nota: Elaboración propia.

Tabla 3

Operacionalización de variable dependiente

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA	INSTRUMENTOS
Modulo interactivo.	Sistema físico de instalación que permite tener una relación directamente proporcional entre caudal – altura.	1.1. Caída de presión: Efecto ocurrido por la fricción del fluido con tuberías y accesorios.	1.1. Perdida de presión: Medida de presión en metros.	Razón continua	Manómetro con glicerina Hoja de registro de datos.
		1.2. Caudal Generado: Característica de instalación de bombas tanto en serie y paralelo.	1.2. Caudal: Medición del volumen del fluido en un tiempo determinado.	Razón continua	Hoja de registro de datos.
		1.3. Diseño del módulo interactivo: Aplicación de ingeniería rama mecánica de Fluidos para Determinar las pérdidas hidráulicas.	a. Conexiones de bombas: Tipo, capacidad y forma de distribución.	Razón continua	Ficha técnica del fabricante. Ficha técnica del material
			b. Conexiones de tuberías: Tamaño y forma de distribución.	Razón continua	Hoja de registro de datos. Flexómetro Ficha técnica del material
		1.4. Diseño de estructura metálica: Espacio donde estará Asentado los componentes.	1.4. Perfil de estructura: dimensiones en pulgadas o milímetros.	Razón continua	Hoja de registro de datos. Flexómetro Ficha técnica del material Hoja de registro de datos.

1.5. Dimensión de depósito: Espacio donde estará almacenado el fluido.	1.5. Alto profundidad y ancho: dimensiones en pulgadas o milímetros.	Razón continua	Flexómetro Ficha técnica del material Hoja de registro de datos. Ficha técnica del fabricante.
1.6. Conexiones de accesorios hidráulicas	1.6. Codos, válvulas: tipo y cantidad	Razón continua	Ficha técnica del material Hoja de registro de datos.

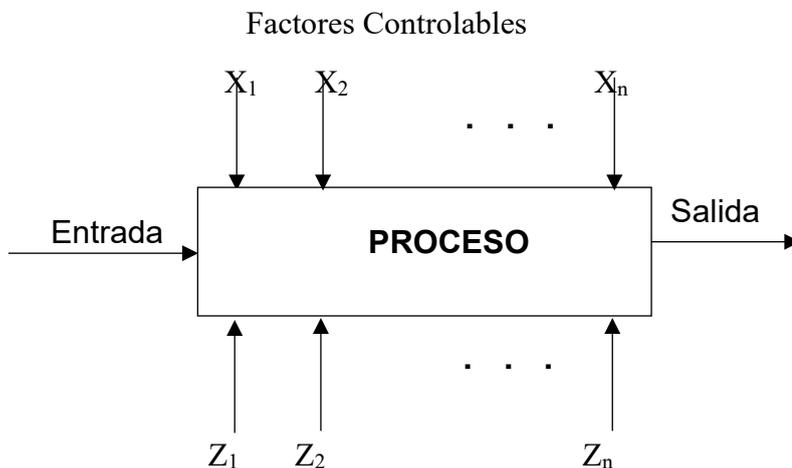
Nota: Elaboración propia.

3.2.5. Diseño de Investigación

La investigación se enfocará principalmente en obtener datos de caída de presión, producida por la fricción del fluido (agua) en el sistema de tuberías y accesorios hidráulicos, desarrollado experimentalmente en el banco interactivo, para luego compararlos con los cálculos algebraicos según la teoría de mecánica de fluidos.

Luego se tomará los datos producidos de la relación directamente proporcional caudal - altura en cada instalación de bomba centrífuga tanto en serie y paralelo, desarrollado experimentalmente en el banco interactivo, para luego compararlos con los cálculos algebraicos según la teoría de mecánica de fluidos. (Ñaupas, H, et al, 2014).

El diseño de la investigación:



Factores no Controlables

Donde:

X1: Presión del sistema generado por bomba centrífuga.

X2: Caudal generado por el tipo de instalación de bomba centrífuga.

Z1: Caída de presión por efecto de accesorios hidráulicos.

Z2: Elevación de temperatura en el sistema.

3.2.6. Población, muestra y muestreo

En este proyecto de tesis, la muestra será el sistema de instalación en serie y paralelo de bomba centrífuga en un módulo interactivo para el laboratorio de máquinas hidráulicas de la escuela profesional de Ingeniería mecánica. (Ñaupas, H. et al, 2014).

3.2.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se realizará pruebas experimentales en el módulo interactivo el cual para la recolección de datos se empleará los siguientes instrumentos:

- Formatos para recopilar los datos en general.
- Uso de manuales, tesis o libros relacionados con el proyecto de investigación.
- Instalación de vacuómetros, manómetros, flujómetro.
- Ficha técnica de las bombas centrífugas y accesorios hidráulicos.
- Plano de ubicación de la zona de montaje.

3.2.8. Validación y confiabilidad del instrumento

Validación

La recolección de datos es un instrumento válido “cuando mide de alguna manera demostrable aquello que trata de medir, libre de distorsiones sistemáticas” (Ibidem).

Confiabilidad

La determinación de la confiabilidad consiste, pues, en establecer si las diferencias de resultados se deben a inconsistencias en la medida” (Ibidem).

3.2.9. Métodos de análisis de datos

Para el procesamiento de los datos obtenidos se utilizó los siguientes programas:

- Word 2016: Procesamiento de datos
- Excel 2016: Procesamiento de datos numéricos y de diseño
- SolidWorks 2019: Diseño de planos, tanto planimetría como altimetría.

3.2.10. Consideraciones éticas

El presente proyecto de tesis considera los principios éticos establecidos en el Código de Ética de Investigación de la Universidad Nacional Del Santa (UNS, 2017).

IV. CÁLCULOS

4.1. Diseño del módulo interactivo de un de bombas centrifugas instaladas en serie paralelo

El módulo tiene las siguientes características técnicas:

Tabla 4

Características técnicas del módulo interactivo

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS			
Ítem	Descripción	Cantidad	Dimensión / capacidad
01	Estructura metálica tubo cuad.Fe	01	2.04x0.78x1.45 metros
02	Bomba centrifuga	02	1 hp
03	Deposito metálico inox.	01	256.5 litros
04	Tubería Fe 1"	3.09	metros
05	Tubería Fe 1/2"	2.11	metros
06	Tubería inoxidable 1"	7	metros
07	Tubería inoxidable 1/2"	6.21	metros
08	Codo Fe de 1" a 90°	16	und
09	Válvula de pie 1"	2	und
10	Válvula de bola 1"	4	und
11	Te – flujo directo 1"	6	und
12	Reducción 1" – 1/2"	2	und
13	Ampliación 1/2" - 1"	2	und
14	Manómetro con glicerina	5	0 - 100 Psi

Nota. Elaboración propia.

4.2. Cálculo de la altura efectiva de la bomba (Hm)

Para calcular la altura efectiva de la bomba estudiaremos la instalación hidráulica del módulo que consta de líneas de tubería Fe e inoxidable y accesorios hidráulicos, lo cual representa las pérdidas primarias en los tramos rectos y en los accesorios pérdidas secundarias.

En el desarrollo de los cálculos, se empleó la ecuación general de Bernoulli.

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_A - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad (17)$$

Reduciendo la expresión por las características del módulo, el depósito de aspiración y retorno serán al mismo nivel, entonces: $\frac{P_1}{\gamma} + \frac{P_2}{\gamma} = 0$.

También como los diámetros de las tuberías de aspiración e impulsión son iguales, entonces: $\frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} = 0$.

$$H_m = (Z_2 - Z_1) + (h_L - h_A) \quad (18)$$

Donde:

H_m = altura efectiva de la bomba.

$(Z_2 - Z_1)$ = altura geodésica de la instalación hidráulica.

h_L = pérdidas primarias.

h_A = pérdidas secundarias.

4.3 Cálculo iterativo de pérdidas del sistema conectado bombas centrífugas en serie

$$HB \text{ serie} = 0.75 + \text{pérdidas primarias} + \text{pérdidas secundarias} \quad (19)$$

HB serie = pérdidas por fricción (Succión bomba N°02 + Impulsor bomba N°02 a succión Bomba N°01 + Sistema red de tubería en Descarga Fe 1" + Sistema red de tubería en Descarga Fe 1/2" + Sistema red de tubería en Descarga Inox 1" + Sistema red de tubería en Descarga Inox 1/2" + Sistema red de tubería en Descarga ramal Inox 1/2" + Sistema red de tubería en Descarga Fe 1" a tina)

4.3.1 Cálculo iterativo de pérdida por fricción en succión conectado en Bomba N°02

$$\text{Succión Bomba N°02} = h_L (\text{pérdidas primarias}) + h_A (\text{pérdidas secundarias}) \quad (20)$$

Tabla 5

Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería inox succión 1"

Accesorios	Diámetro	Longitud(m)	λ	h_L
Tubería inox	1"	1.7	1.21	0.480
Total (Σh_L)				0.480m

Nota. Elaboración propia.

Tabla 6*Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios*

Accesorios	Cantidad	LeD	K (m)	h_A
Válvula de pie	1	420	9.66	3.834
Codo a 90°	1	30	0.69	0.274
Total (Σh_A)				4.108 m

Nota. Elaboración propia.

$$\text{Succión Bomba N}^\circ\text{02} = h_L + h_A = 0.480\text{m} + 4.108 \text{ m}$$

$$\text{Succión Bomba N}^\circ\text{02} = 4.589 \text{ m}$$

4.3.2 Cálculo de pérdida por fricción en impulsor de Bomba N°02 a succión N°01

$$\text{Impulsor de Bomba N}^\circ\text{02 a succión N}^\circ\text{01} = h_L \text{ (perdidas primarias)} + h_A \quad (21)$$

(perdidas secundarias)

Tabla 7*Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería inox1''*

Accesorios	Diámetro	Longitud(m)	λ	h_L
Tubería inox	1''	1.15	1.076	0.427
Total (Σh_L)				0.427 m

Nota. Elaboración propia.

Tabla 8*Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios*

Accesorios	Cantidad	LeD	K (m)	h_A
Válvula tipo bola	1	150	3.45	1.369
Válvula tipo check	1	75	1.725	0.684
Te. flujo directo	2	20	0.92	0.365
Codo a 90°	2	30	1.38	0.547
Total (Σh_A)				2.967 m

Nota. Elaboración propia.

$$\text{Impulsor de Bomba N}^\circ\text{02 a succión N}^\circ\text{01} = h_L + h_A = 0.427 \text{ m} + 2.967 \text{ m}$$

$$\text{Impulsor de Bomba N}^\circ\text{02 a succión N}^\circ\text{01} = 3.394 \text{ m}$$

4.3.3 Cálculo de pérdida por fricción Sistema red de tubería en descarga Fe 1''

$$\text{descarga Fe 1''} = h_L \text{ (perdidas primarias)} + h_A \text{ (perdidas secundarias)} \quad (22)$$

Tabla 9*Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería Fe 1"*

Accesorios	Diámetro	Longitud(m)	λ	h_L
Tubería Fe	1"	3.09	2.891	1.147
Total (Σh_L)				1.147 m

Nota. Elaboración propia.

Tabla 10*Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios*

Accesorios	Cantidad	LeD	K (m)	h_A
Válvula tipo bola	3	150	10.35	4.108
Te - flujo directo	1	20	0.46	0.182
Codo a 90°	4	30	2.76	1.095
Total (Σh_A)				5.386 m

Nota. Elaboración propia.

$$\text{descarga Fe 1"} = h_L + h_A = 1.147 \text{ m} + 5.386 \text{ m}$$

$$\text{descarga Fe 1"} = 6.543 \text{ m}$$

4.3.4 Cálculo de pérdida por fricción Sistema red de tubería en descarga Fe 1/2"

$$\text{descarga Fe 1/2"} = h_L (\text{pérdidas primarias}) + h_A (\text{pérdidas secundarias}) \quad (23)$$

Tabla 11*Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería Fe 1/2"*

Accesorios	Diámetro	Longitud(m)	λ	h_L
Tubería Fe	1/2"	2.11	3.633	11.775
Total (Σh_L)				11.775 m

Nota. Elaboración propia.

Tabla 12*Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios*

Accesorios	Cantidad	LeD	K (m)	h_A
Reducción 1/2"	1	-	0.04	0.129
Ampliación 1/2"	1	-	0.04	0.129
Total (Σh_A)				0.259 m

Nota. Elaboración propia.

$$\text{descarga Fe 1/2"} = h_L + h_A = 11.775 \text{ m} + 0.259 \text{ m}$$

$$\text{descarga Fe 1/2"} = 12.035 \text{ m}$$

4.3.5 Cálculo de pérdida por fricción Sistema red de tubería en descarga inoxidable 1”

$$\text{descarga inox 1''} = h_L \text{ (perdidas primarias)} + h_A \text{ (perdidas secundarias)} \quad (24)$$

Tabla 13

Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería inox 1”

Accesorios	Diámetro	Longitud(m)	λ	h_L
Tubería inox	1”	2.41	1.716	0.681
Total (Σh_L)				0.681m

Nota. Elaboración propia.

Tabla 14

Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios

Accesorios	Cantidad	LeD	K (m)	h_A
Codo a 90°	4	30	2.76	1.095
Total (Σh_A)				1.095 m

Nota. Elaboración propia.

$$\text{descarga Fe 1/2''} = h_L + h_A = 0.681\text{m} + 1.095\text{ m}$$

$$\text{descarga Fe 1/2''} = 1.777\text{ m}$$

4.3.6 Cálculo de pérdida por fricción Sistema red de tubería en descarga inoxidable 1/2”

$$\text{descarga inox 1/2''} = h_L \text{ (perdidas primarias)} + h_A \text{ (perdidas secundarias)} \quad (25)$$

Tabla 15

Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería inox 1/2”

Accesorios	Diámetro	Longitud(m)	λ	h_L
Tubería inox	1/2”	2.07	2.258	7.32
Total (Σh_L)				7.32 m

Nota. Elaboración propia.

Tabla 16

Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios

Accesorios	Cantidad	LeD	K (m)	h_A
Reducción 1/2”	1	-	0.04	0.129
Ampliación 1/2”	1	-	0.04	0.129
Codo a 90°	1	30	0.69	2.236
Total (Σh_A)				2.495 m

Nota. Elaboración propia.

$$\text{Descarga inox } 1/2'' = h_L + h_A = 7.32 \text{ m} + 2.495 \text{ m}$$

$$\text{descarga inox } 1/2'' = 9.815 \text{ m}$$

4.3.7 Cálculo de pérdida por fricción Sistema red de tubería en descarga ramal doble inoxidable 1/2''

$$\text{descarga ramal doble inox } 1/2'' = h_L \text{ (perdidas primarias)} + h_A \text{ (perdidas secundarias)} \quad (26)$$

Tabla 17

Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería inox 1/2''

Accesorios	Diámetro	Longitud(m)	λ	h_L
Tubería inox	1/2''	4.14	4.517	3.66
Total (Σh_L)				3.66 m

Nota. Elaboración propia.

Tabla 18

Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios

Accesorios	Cantidad	LeD	K (m)	h_A
Te - flujo directo	3	20	1.38	1.118
Codo a 90°	1	30	0.69	0.559
Total (Σh_A)				1.677 m

Nota. Elaboración propia.

$$\text{descarga ramal doble inox } 1/2'' = h_L + h_A = 3.66 \text{ m} + 1.677 \text{ m}$$

$$\text{descarga ramal doble inox } 1/2'' = 5.337 \text{ m}$$

4.3.8 Cálculo de pérdida por fricción Sistema red de tubería descarga final

$$\text{descarga final} = h_L \text{ (perdidas primarias)} + h_A \text{ (perdidas secundarias)} \quad (27)$$

Tabla 19

Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería inox 1''

Accesorios	Diámetro	Longitud(m)	λ	h_L
Tubería inox	1''	1.59	1.48	0.59
Total (Σh_L)				0.59 m

Nota. Elaboración propia.

Tabla 20

Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios

Accesorios	Cantidad	LeD	K (m)	h_A
Codo a 90°	3	30	2.07	0.821
Válvula tipo bola	1	150	3.45	1.369
Total (Σh_A)				2.191 m

Nota. Elaboración propia.

$$\text{descarga final} = h_L + h_A = 0.59 \text{ m} + 2.191 \text{ m}$$

$$\text{descarga final} = 2.781 \text{ m}$$

HB serie= pérdidas por fricción (Succión bomba N°02 + Impulsor bomba N°02 a succión Bomba N°01 + Sistema red de tubería en Descarga Fe 1” + Sistema red de tubería en Descarga Fe 1/2” + Sistema red de tubería en Descarga Inox 1” + Sistema red de tubería en Descarga Inox 1/2” + Sistema red de tubería en Descarga ramal Inox 1/2” + Sistema red de tubería en Descarga Fe 1” a tina)

$$\text{HB serie} = 46.265 \text{ m}$$

4.3.9 Características de la Bomba centrífuga para conexión en serie

$$P = \frac{Q \cdot \gamma \cdot H_B}{N} = \frac{0.001555 \times 9782 \times 46.265}{0.75} = 0.938 \text{ Kw} \quad (28)$$

4.4. Cálculo de pérdidas del sistema conectado bombas centrífugas en serie por cambio variable Q

HB serie (Q) = pérdidas por fricción (Succión bomba N°02 + Impulsor bomba N°02 a succión Bomba N°01 + Sistema red de tubería en Descarga Fe 1” + Sistema red de tubería en Descarga Fe 1/2” + Sistema red de tubería en Descarga Inox 1” + Sistema red de tubería en Descarga Inox 1/2” + Sistema red de tubería en Descarga ramal Inox 1/2” + Sistema red de tubería en Descarga Fe 1” a tina) (G9)

4.4.1. Cálculo de pérdida por fricción en succión conectado en Bomba N°02 por cambio variable Q

$$\text{Succión Bomba N°02} = h_L \text{ (pérdidas primarias)} + h_A \text{ (pérdidas secundarias)} \quad (30)$$

Tabla 21

Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería inox succión 1”

Accesorios	Diámetro	Longitud(m)	λ	h_L
Tubería inox	1”	1.7	1.21	$198,639.44 Q^2$
Total (Σh_L)				$198,639.44 Q^2$

Nota. Elaboración propia.

Tabla 22

Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios

Accesorios	Cantidad	LeD	K (m)	h_A
Válvula de pie	1	420	9.66	$1,584,752.62 Q^2$
Codo a 90°	1	30	0.69	$113,196.62 Q^2$
Total (Σh_A)				$1,697,949.24 Q^2$

Nota. Elaboración propia.

$$\text{Succión Bomba N}^\circ\text{02} = h_L + h_A = 198,639.44 Q^2 + 1,697,949.24 Q^2$$

$$\text{Succión Bomba N}^\circ\text{02} = 1,896,588.67 Q^2$$

4.4.2 Cálculo de pérdida por fricción Sistema red de impulsor de Bomba N°02 a succión N°01 por cambio variable Q

$$\text{Impulsor de Bomba N}^\circ\text{02 a succión N}^\circ\text{01} = h_L \text{ (perdidas primarias)} + h_A \text{ (perdidas secundarias)} \quad (\text{H1})$$

Tabla 23

Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería inox 1"

Accesorios	Diámetro	Longitud(m)	λ	h_L
Tubería inox	1"	1.15	1.076	176,528.79 Q ²
Total (Σh_L)				176,528.79 Q ²

Nota. Elaboración propia.

Tabla 24

Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios

Accesorios	Cantidad	LeD	K (m)	h_A
Válvula tipo bola	1	150	3.45	565,983.08 Q ²
Válvula tipo check	1	75	1.725	282,991.54 Q ²
Te. flujo directo	2	20	0.92	150,928.82 Q ²
Codo a 90°	2	30	1.38	226,393.23 Q ²
Total (Σh_A)				1,226,297.67 Q ²

Nota. Elaboración propia.

$$\text{Impulsor de Bomba N}^\circ\text{02 a succión N}^\circ\text{01} = h_L + h_A = 176,528.79 Q^2 + 1,226,297.67 Q^2$$

$$\text{Impulsor de Bomba N}^\circ\text{02 a succión N}^\circ\text{01} = 1,402,825.46 Q^2$$

4.4.3 Cálculo de pérdida por fricción Sistema red de descarga Fe 1" por cambio variable Q

$$\text{descarga Fe 1"} = h_L \text{ (perdidas primarias)} + h_A \text{ (perdidas secundarias)} \quad (\text{H2})$$

Tabla 25

Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería Fe 1"

Accesorios	Diámetro	Longitud(m)	λ	h_L
Tubería Fe	1"	3.09	2.891	474,325.17 Q ²
Total (Σh_L)				474,325.17 Q ²

Nota. Elaboración propia.

Tabla 26*Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios*

Accesorios	Cantidad	LeD	K (m)	h_A
Válvula tipo bola	3	150	10.35	1,697,949.24 Q ²
Te - flujo directo	1	20	0.46	75,464.41 Q ²
Codo a 90°	4	30	2.76	452,786.46 Q ²
Total (Σh_A)				2,226,200.11 Q²

Nota. Elaboración propia.

$$\text{descarga Fe 1''} = h_L + h_A = 474,325.17 \text{ Q}^2 + 2,226,200.11 \text{ Q}^2$$

$$\text{Sistema red de descarga Fe 1''} = 2,700,525.28 \text{ Q}^2$$

4.4.4 Cálculo de pérdida por fricción Sistema red de descarga Fe 1/2'' por cambio variable Q

$$\text{descarga Fe 1/2''} = h_L \text{ (perdidas primarias)} + h_A \text{ (perdidas secundarias)} \quad (H3)$$

Tabla 27*Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería Fe 1/2''*

Accesorios	Diámetro	Longitud(m)	λ	h_L
Tubería Fe	1/2''	2.11	3.633	4,866,594.07 Q ²
Total (Σh_L)				4,866,594.07 Q²

Nota. Elaboración propia.

Tabla 28*Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios*

Accesorios	Cantidad	LeD	K (m)	h_A
Reducción 1/2''	1	-	0.04	53,574.28 Q ²
Ampliación 1/2''	1	-	0.04	53,574.28 Q ²
Total (Σh_A)				107,148.57 Q²

Nota. Elaboración propia.

$$\text{descarga Fe 1/2''} = h_L + h_A = 4,866,594.07 \text{ Q}^2 + 107,148.57 \text{ Q}^2$$

$$\text{Sistema red de descarga Fe 1/2''} = 4,973,742.63 \text{ Q}^2$$

4.4.5 Cálculo de pérdida por fricción Sistema red de descarga inoxidable 1'' por cambio variable Q

$$\text{Sistema red de descarga inox 1''} = h_L \text{ (perdidas primarias)} + h_A \text{ (perdidas secundarias)} \quad (H4)$$

Tabla 29*Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería inox 1''*

Accesorios	Diámetro	Longitud(m)	λ	h_L
Tubería inox	1''	2.41	1.716	281,600.61 Q ²
Total (Σh_L)				281,600.61 Q²

Nota. Elaboración propia.

Tabla 30*Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios*

Accesorios	Cantidad	LeD	K (m)	h_A
Codo a 90°	4	30	2.76	452,786.46 Q ²
Total (Σh_A)				452,786.46 Q ²

Nota. Elaboración propia.

$$\text{descarga Fe } 1/2'' = h_L + h_A = 281,600.61 \text{ Q}^2 + 452,786.46 \text{ Q}^2$$

$$\text{Sistema red de descarga Fe } 1/2'' = 734,387.08 \text{ Q}^2$$

4.4.6 Cálculo de pérdida por fricción Sistema red de descarga inoxidable 1/2'' por cambio variable Q

$$\text{descarga inox } 1/2'' = h_L \text{ (perdidas primarias)} + h_A \text{ (perdidas secundarias)} \quad (H5)$$

Tabla 31*Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería inox 1/2''*

Accesorios	Diámetro	Longitud(m)	λ	h_L
Tubería inox	1/2''	2.07	2.258	3,025,107.97 Q ²
Total (Σh_L)				3,025,107.97 Q ²

Nota. Elaboración propia.

Tabla 32*Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios*

Accesorios	Cantidad	LeD	K (m)	h_A
Reducción 1/2''	1	-	0.04	53,574.28 Q ²
Ampliación 1/2''	1	-	0.04	53,574.28 Q ²
Codo a 90°	1	30	0.69	924,156.39 Q ²
Total (Σh_A)				1,031,304.96 Q ²

Nota. Elaboración propia.

$$\text{descarga Fe } 1/2'' = h_L + h_A = 3,025,107.97 \text{ Q}^2 + 1,031,304.96 \text{ Q}^2$$

$$\text{Sistema red de descarga Fe } 1/2'' = 4,056,412.93 \text{ Q}^2$$

4.4.7 Cálculo de pérdida por fricción Sistema red de descarga ramal doble inoxidable 1/2'' por cambio variable Q

$$\text{descarga ramal doble inox } 1/2'' = h_L \text{ (perdidas primarias)} + h_A \text{ (perdidas secundarias)} \quad (H6)$$

Tabla 33*Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería inox 1/2''*

Accesorios	Diámetro	Longitud(m)	λ	h_L
Tubería inox	1/2''	4.14	4.517	1,512,553.99 Q ²
Total (Σh_L)				1,512,553.99 Q ²

Nota. Elaboración propia.

Tabla 34*Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios*

Accesorios	Cantidad	LeD	K (m)	h_A
Te - flujo directo	3	20	1.38	462,078.20 Q ²
Codo a 90°	1	30	0.69	231,039.10 Q ²
Total (Σh_A)				693,117.30 Q ²

Nota. Elaboración propia.

$$\text{descarga ramal doble inox } 1/2'' = hL + hA = 1,512,553.99 \text{ Q}^2 + 693,117.30 \text{ Q}^2$$

$$\text{Sistema red de descarga ramal doble inox } 1/2'' = 2,205,671.28 \text{ Q}^2$$

4.4.8 Cálculo de pérdida por fricción Sistema red de descarga final

$$\text{descarga final} = hL \text{ (perdidas primarias)} + hA \text{ (perdidas secundarias)} \quad (H7)$$

Tabla 35*Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería inox 1''*

Accesorios	Diámetro	Longitud(m)	λ	h_L
Tubería inox	1''	1.59	1.48	244,070.2338 Q ²
Total (Σh_L)				244,070.2338 Q ²

Nota. Elaboración propia.

Tabla 36*Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios*

Accesorios	Cantidad	LeD	K (m)	h_A
Codo a 90°	3	30	2.07	339,589.85 Q ²
Válvula tipo bola	1	150	3.45	565,983.0788 Q ²
Total (Σh_A)				905,572.93 Q ²

Nota. Elaboración propia.

$$\text{descarga final} = hL + hA = 244,070.2338 \text{ Q}^2 + 905,572.93 \text{ Q}^2$$

$$\text{Sistema red de descarga final} = 1,149,643.16 \text{ Q}^2$$

$$\text{HB serie} = 0 + 19,119,796.50 \text{ Q}^2$$

4.4.9 Determinación de la curva de funcionamiento del sistema en función del caudal

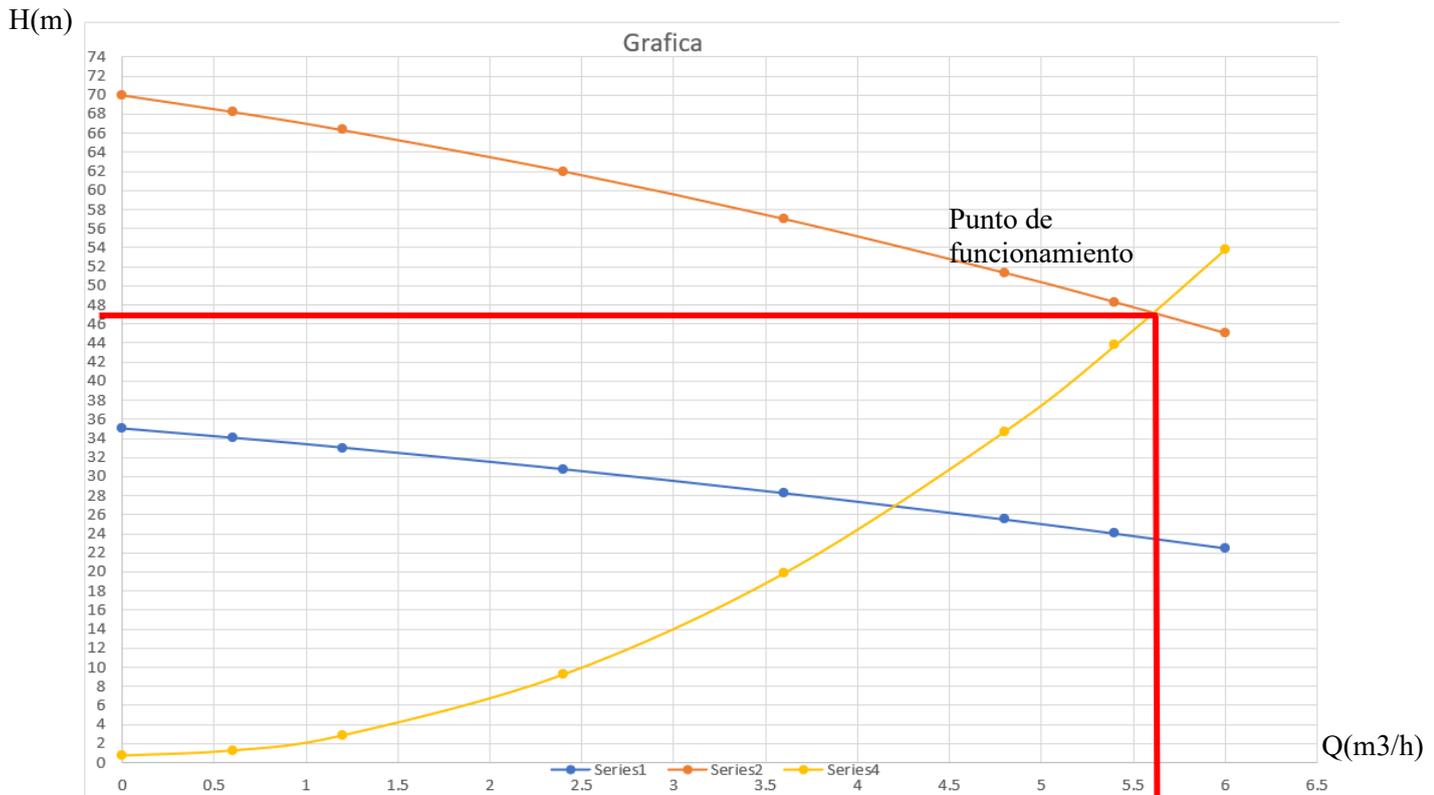
Dato previo: características técnicas de la bomba centrífuga CPm620 de 1 Hp.

Q (m³/h)	35	34	33	31	28.5	25.5	23.5	21
H(m)	0	0.6	1.2	2.4	3.6	4.8	5.4	6

El punto de funcionamiento de la bomba es el punto en el cual se intercepta la curva H_b de la bomba con la curva H_s sistema.

Figura 21

Punto de funcionamiento de las bombas conectadas en serie



Fuente: *Elaboración propia.*

-El punto de funcionamiento es en Q= 5.6 m³/h, a una altura de 46.265 m.

4.5 Cálculo iterativo de pérdidas del sistema conectado bombas centrífugas en paralelo

$$HB \text{ paralelo} = 0.75 + \text{pérdidas primarias} + \text{pérdidas secundarias}$$

$$HB \text{ serie} = \text{pérdidas por fricción (Succión bomba N°02 + Sistema red de Succión bomba N°01 + Sistema red de Descarga Fe 1'' + Sistema red de Descarga Fe 1/2'' + Sistema red de Descarga Inox 1'' + Sistema red de Descarga Inox 1/2'' + Sistema red de Descarga ramal Inox 1/2'' + Sistema red de Descarga a tina)} \quad (H_B)$$

4.5.1 Cálculo iterativo de pérdida por fricción en succión conectado en Bomba N°02

$$\text{Succión Bomba N°02} = h_L \text{ (pérdidas primarias)} + h_A \text{ (pérdidas secundarias)} \quad (H_B)$$

Tabla 37*Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería succión 1''*

Accesorios	Diámetro	Longitud(m)	λ	h_L
Tubería inox	1''	1.7	1.265	0.324
Total (Σh_L)				0.324 m

Nota. Elaboración propia.**Tabla 38***Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios*

Accesorios	Cantidad	LeD	K (m)	h_A
Válvula de pie	1	420	9.66	2.476
Codo a 90°	1	30	0.69	0.176
Total (Σh_A)				2.653 m

Nota. Elaboración propia.

$$\text{Succión Bomba N}^\circ 02 = h_L + h_A = 0.324 \text{ m} + 2.653 \text{ m}$$

$$\text{Succión Bomba N}^\circ 02 = 2.977 \text{ m}$$

4.5.2 Cálculo de pérdida por fricción Sistema red de succión bomba N°01

$$\text{succión bomba N}^\circ 01 = h_L \text{ (perdidas primarias)} + h_A \text{ (perdidas secundarias)} \quad (40)$$

Tabla 39*Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería succión 1''*

Accesorios	Diámetro	Longitud(m)	λ	h_L
Tubería inox	1''	1.7	1.265	0.324
Total (Σh_L)				0.324 m

Nota. Elaboración propia.**Tabla 40***Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios*

Accesorios	Cantidad	LeD	K (m)	h_A
Válvula de pie	1	420	9.66	2.476
Codo a 90°	1	30	0.69	0.176
Total (Σh_A)				2.653 m

Nota. Elaboración propia.

$$\text{Succión Bomba N}^\circ 02 = h_L + h_A = 0.324 \text{ m} + 2.653 \text{ m}$$

$$\text{Sistema red de Succión Bomba N}^\circ 02 = 2.977 \text{ m}$$

4.5.3 Cálculo de pérdida por fricción Sistema red de descarga Fe 1''

$$\text{descarga Fe 1''} = h_L \text{ (perdidas primarias)} + h_A \text{ (perdidas secundarias)} \quad (41)$$

Tabla 41*Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería Fe 1"*

Accesorios	Diámetro	Longitud(m)	λ	h_L
Tubería Fe	1"	3.45	3.287	0.842
Total (Σh_L)				0.842 m

Nota. Elaboración propia.

Tabla 42*Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios*

Accesorios	Cantidad	LeD	K (m)	h_A
Válvula tipo bola	4	150	13.8	3.537
Te - flujo directo	2	20	0.92	0.235
Codo a 90°	4	30	2.76	0.707
Total (Σh_A)				4.480 m

Nota. Elaboración propia.

$$\text{descarga Fe 1"} = h_L + h_A = 0.842 \text{ m} + 4.480 \text{ m}$$

$$\text{Sistema red de descarga Fe 1"} = 5.323 \text{ m}$$

4.5.4 Cálculo de pérdida por fricción Sistema red de descarga Fe 1/2"

$$\text{descarga Fe 1/2"} = h_L \text{ (pérdidas primarias)} + h_A \text{ (pérdidas secundarias)} \quad (42)$$

Tabla 43*Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería Fe 1/2"*

Accesorios	Diámetro	Longitud(m)	λ	h_L
Tubería Fe	1/2"	2.11	3.633	7.671
Total (Σh_L)				7.671 m

Nota. Elaboración propia.

Tabla 44*Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios*

Accesorios	Cantidad	LeD	K (m)	h_A
Reducción 1/2"	1	-	0.04	0.083
Ampliación 1/2"	1	-	0.04	0.083
Total (Σh_A)				0.167 m

Nota. Elaboración propia.

$$\text{descarga Fe 1/2"} = h_L + h_A = 7.671 \text{ m} + 0.167 \text{ m}$$

$$\text{Sistema red de descarga Fe 1/2"} = 7.839 \text{ m}$$

4.5.5 Cálculo de pérdida por fricción Sistema red de descarga inoxidable 1"

$$\text{descarga inox 1"} = h_L \text{ (perdidas primarias)} + h_A \text{ (perdidas secundarias)} \quad (43)$$

Tabla 45

Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería inox 1"

Accesorios	Diámetro	Longitud(m)	λ	h_L
Tubería inox	1"	2.41	1.793	0.459
Total (Σh_L)				0.459 m

Nota. Elaboración propia.

Tabla 46

Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios

Accesorios	Cantidad	LeD	K (m)	h_A
Codo a 90°	4	30	2.76	0.707
Total (Σh_A)				0.707 m

Nota. Elaboración propia.

$$\text{descarga Fe 1/2"} = h_L + h_A = 0.459 \text{ m} + 0.707 \text{ m}$$

$$\text{Sistema red de descarga Fe 1/2"} = 1.167 \text{ m}$$

4.5.6 Cálculo de pérdida por fricción Sistema red de descarga inoxidable 1/2"

$$\text{descarga inox 1/2"} = h_L \text{ (perdidas primarias)} + h_A \text{ (perdidas secundarias)} \quad (44)$$

Tabla 47

Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería inox 1/2"

Accesorios	Diámetro	Longitud(m)	λ	h_L
Tubería inox	1/2"	2.07	2.35	4.918
Total (Σh_L)				4.918 m

Nota. Elaboración propia.

Tabla 48

Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios

Accesorios	Cantidad	LeD	K (m)	h_A
Reducción 1/2"	1	-	0.04	0.083
Ampliación 1/2"	1	-	0.04	0.083
Codo a 90°	1	30	0.69	1.443
Total (Σh_A)				1.611 m

Nota. Elaboración propia.

$$\text{descarga Fe 1/2"} = h_L + h_A = 4.918 \text{ m} + 1.611 \text{ m}$$

$$\text{Sistema red de descarga Fe 1/2"} = 6.53 \text{ m}$$

4.5.7 Cálculo de pérdida por fricción Sistema red de descarga ramal doble inoxidable 1/2"

descarga ramal doble inox 1/2" = hL (perdidas primarias) + hA (perdidas secundarias) (45)

Tabla 49

Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería inox 1/2"

Accesorios	Diámetro	Longitud(m)	λ	h_L
Tubería inox	1/2"	4.14	4.7	2.459
Total (Σh_L)				2.459 m

Nota. Elaboración propia.

Tabla 50

Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios

Accesorios	Cantidad	LeD	K (m)	h_A
Te - flujo directo	3	20	1.38	0.721
Codo a 90°	1	30	0.69	0.36
Total (Σh_A)				1.082 m

Nota. Elaboración propia.

descarga ramal doble inox 1/2" = hL + hA = 2.459 m + 1.082 m

Sistema red de descarga ramal doble inox 1/2" = 3.542 m

4.5.8 Cálculo de pérdida por fricción Sistema red de descarga final

descarga final = hL (perdidas primarias) + hA (perdidas secundarias) (46)

Tabla 51

Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería inox 1"

Accesorios	Diámetro	Longitud(m)	λ	h_L
Tubería inox	1"	1.59	1.515	0.388
Total (Σh_L)				0.388 m

Nota. Elaboración propia.

Tabla 52

Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios

Accesorios	Cantidad	LeD	K (m)	h_A
Codo a 90°	3	30	2.07	0.53
Válvula tipo bola	1	150	3.45	0.884
Total (Σh_A)				1.414 m

Nota. Elaboración propia.

descarga final = hL + hA = 0.388 m + 1.414 m

Sistema red de descarga final = 1.803 m

HB serie=perdidas por fricción (Succión bomba N°02 + Sistema red de Succión bomba N°01+ Sistema red de Descarga Fe 1” + Sistema red de Descarga Fe 1/2” + Sistema red de Descarga Inox 1” + Sistema red de Descarga Inox 1/2” + Sistema red de Descarga ramal Inox 1/2” + Sistema red de Descarga 1” a tina)

$$HB \text{ serie} = 32.160 \text{ m}$$

4.5.9 Características de la Bomba centrífuga para conexión en serie

$$P = \frac{Q \cdot \gamma \cdot HB}{N} = \frac{0.00125 \times 9782 \times 32.16}{0.75} = 0.524 \text{ Kw} \quad (47)$$

4.6 Calculo de pérdidas del sistema conectado bombas centrífugas en paralelo con cambio de variable Q

HB paralelo= 0+ perdidas primarias + perdidas secundarias

HB serie=perdidas por fricción (Succión bomba N°02 + Sistema red de Succión bomba N°01+ Sistema red de Descarga Fe 1” + Sistema red de Descarga Fe 1/2” + Sistema red de Descarga Inox 1” + Sistema red de Descarga Inox 1/2” + Sistema red de Descarga ramal Inox 1/2” + Sistema red de Descarga 1” a tina) (48)

4.6.1 Cálculo iterativo de perdida por fricción en succión conectado en Bomba N°02

$$\text{Succión Bomba N°02} = h_L \text{ (perdidas primarias)} + h_A \text{ (perdidas secundarias)} \quad (49)$$

Tabla 53

Cálculo de perdida primaria por fricción en tubería succión 1”

Accesorios	Diámetro	Longitud(m)	λ	h_L
Tubería inox	1”	1.7	1.265	207,542.88
Total (Σh_L)				207,542.88 Q ²

Nota. Elaboración propia.

Tabla 54

Cálculo de perdida secundaria por fricción en accesorios.

Accesorios	Cantidad	LeD	K (m)	h_A
Válvula de pie	1	420	9.66	1,584,752.62 Q ²
Codo a 90°	1	30	0.69	113,196.62 Q ²
Total (Σh_A)				1,697,949.24 Q ²

Nota. Elaboración propia.

$$\text{Succión Bomba N°02} = h_L + h_A = 207,542.88 \text{ Q}^2 + 1,697,949.24 \text{ Q}^2$$

$$\text{Succión Bomba N°02} = 1,905,492.12 \text{ Q}^2$$

4.6.2 Cálculo de pérdida por fricción Sistema red de succión bomba N°01

$$\text{succión bomba N}^\circ 01 = h_L \text{ (perdidas primarias) + } h_A \text{ (perdidas secundarias)} \quad (50)$$

Tabla 55

Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería succión 1”.

Accesorios	Diámetro	Longitud(m)	λ	h_L
Tubería inox	1”	1.7	1.265	207,542.88
Total (Σh_L)				207,542.88 Q2

Nota. Elaboración propia.

Tabla 56

Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios

Accesorios	Cantidad	LeD	K (m)	h_A
Válvula de pie	1	420	9.66	1,584,752.62 Q ²
Codo a 90°	1	30	0.69	113,196.62 Q ²
Total (Σh_A)				1,697,949.24 Q ²

Nota. Elaboración propia.

$$\text{Succión Bomba N}^\circ 01 = h_L + h_A = 207,542.88 \text{ Q}^2 + 1,697,949.24 \text{ Q}^2$$

$$\text{Sistema red de Succión Bomba N}^\circ 01 = 1,905,492.12 \text{ Q}^2$$

4.6.3 Cálculo de pérdida por fricción Sistema red de descarga Fe 1”

$$\text{descarga Fe 1”} = h_L \text{ (perdidas primarias) + } h_A \text{ (perdidas secundarias)} \quad (51)$$

Tabla 57

Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería Fe 1”

Accesorios	Diámetro	Longitud(m)	λ	h_L
Tubería Fe	1”	3.45	3.287	539,333.86 Q ²
Total (Σh_L)				539,333.86 Q ²

Nota. Elaboración propia.

Tabla 58

Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios

Accesorios	Cantidad	LeD	K (m)	h_A
Válvula tipo bola	4	150	13.8	2,263,932.32 Q ²
Te - flujo directo	2	20	0.92	150,928.82 Q ²
Codo a 90°	4	30	2.76	452,786.46 Q ²
Total (Σh_A)				2,867,647.6 Q ²

Nota. Elaboración propia.

$$\text{descarga Fe 1”} = h_L + h_A = 539,333.86 \text{ Q}^2 + 2,867,647.6 \text{ Q}^2$$

$$\text{Sistema red de descarga Fe 1”} = 3,406,981.46 \text{ Q}^2$$

4.6.4 Cálculo de pérdida por fricción Sistema red de descarga Fe 1/2"

$$\text{descarga Fe 1/2"} = h_L \text{ (perdidas primarias)} + h_A \text{ (perdidas secundarias)} \quad (52)$$

Tabla 59

Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería Fe 1/2"

Accesorios	Diámetro	Longitud(m)	λ	h_L
Tubería Fe	1/2"	2.11	3.633	4,910,073.21 Q ²
Total (Σh_L)				4,910,073.21 Q ²

Nota. Elaboración propia.

Tabla 60

Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios

Accesorios	Cantidad	LeD	K (m)	h_A
Reducción 1/2"	1	-	0.04	53,574.28 Q ²
Ampliación 1/2"	1	-	0.04	53,574.28 Q ²
Total (Σh_A)				107,148.57 Q ²

Nota. Elaboración propia.

$$\text{descarga Fe 1/2"} = h_L + h_A = 4,910,073.21 \text{ Q}^2 + 107,148.57 \text{ Q}^2$$

$$\text{Sistema red de descarga Fe 1/2"} = 5,017,221.77 \text{ Q}^2$$

4.6.5 Cálculo de pérdida por fricción en descarga inoxidable 1"

$$\text{descarga inox 1"} = h_L \text{ (perdidas primarias)} + h_A \text{ (perdidas secundarias)} \quad (53)$$

Tabla 61

Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería inox 1"

Accesorios	Diámetro	Longitud(m)	λ	h_L
Tubería inox	1"	2.41	1.793	294,222.56 Q ²
Total (Σh_L)				294,222.56 Q ²

Nota. Elaboración propia.

Tabla 62

Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios

Accesorios	Cantidad	LeD	K (m)	h_A
Codo a 90°	4	30	2.76	452,786.46
Total (Σh_A)				452,786.46 Q ²

Nota. Elaboración propia.

$$\text{descarga Fe 1/2"} = h_L + h_A = 294,222.56 \text{ Q}^2 + 452,786.46 \text{ Q}^2$$

$$\text{Sistema red de descarga Fe 1/2"} = 747,009.02 \text{ Q}^2$$

4.6.6 Cálculo de pérdida por fricción Sistema red de descarga inoxidable 1/2"

$$\text{descarga inox 1/2"} = h_L (\text{pérdidas primarias}) + h_A (\text{pérdidas secundarias}) \quad (54)$$

Tabla 63

Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería inox 1/2"

Accesorios	Diámetro	Longitud(m)	λ	h_L
Tubería inox	1/2"	2.07	2.35	3,147,928.28 Q ²
Total (Σh_L)				3,147,928.28 Q ²

Nota. Elaboración propia.

Tabla 64

Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios

Accesorios	Cantidad	LeD	K (m)	h_A
Reducción 1/2"	1	-	0.04	53,574.28 Q ²
Ampliación 1/2"	1	-	0.04	53,574.28 Q ²
Codo a 90°	1	30	0.69	924,156.39 Q ²
Total (Σh_A)				1,031,304.96 Q ²

Nota. Elaboración propia.

$$\text{descarga Fe 1/2"} = h_L + h_A = 3,147,928.28 \text{ Q}^2 + 1,031,304.96 \text{ Q}^2$$

$$\text{Sistema red de descarga Fe 1/2"} = 4,179,233.24 \text{ Q}^2$$

4.6.7 Cálculo de pérdida por fricción Sistema red de descarga ramal doble inoxidable 1/2"

$$\text{descarga ramal doble inox 1/2"} = h_L (\text{pérdidas primarias}) + h_A (\text{pérdidas secundarias}) \quad (55)$$

Tabla 65

Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería inox 1/2"

Accesorios	Diámetro	Longitud(m)	λ	h_L
Tubería inox	1/2"	4.14	4.7	1,573,964.14 Q ²
Total (Σh_L)				1,573,964.14 Q ²

Nota. Elaboración propia.

Tabla 66

Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios

Accesorios	Cantidad	LeD	K (m)	h_A
Te - flujo directo	3	20	1.38	462,078.2 Q ²
Codo a 90°	1	30	0.69	231,039.10 Q ²
Total (Σh_A)				693,117.30 Q ²

Nota. Elaboración propia.

$$\text{Sistema red de descarga ramal doble inox 1/2"} = h_L + h_A = 1,573,964.14 \text{ Q}^2 + 693,117.30 \text{ Q}^2$$

Sistema red de descarga ramal doble inox 1/2" =2,267,081.43 Q2

4.6.8 Cálculo de pérdida por fricción Sistema red de descarga final

$$\text{descarga final} = h_L \text{ (perdidas primarias)} + h_A \text{ (perdidas secundarias)} \quad (56)$$

Tabla 67

Cálculo de pérdida primaria por fricción en tubería inox 1"

Accesorios	Diámetro	Longitud(m)	λ	h_L
Tubería inox	1"	1.59	1.515	248,562.56 Q ²
Total (Σh_L)				248,562.56 Q ²

Nota. Elaboración propia.

Tabla 68

Cálculo de pérdida secundaria por fricción en accesorios

Accesorios	Cantidad	LeD	K (m)	h_A
Codo a 90°	3	30	2.07	339,589.85 Q ²
Válvula tipo bola	1	150	3.45	565,983.07 Q ²
Total (Σh_A)				905,572.93 Q ²

Nota. Elaboración propia.

$$\text{descarga final} = h_L + h_A = 248,562.56 \text{ Q}^2 + 905,572.93 \text{ Q}^2$$

$$\text{Sistema red de descarga final} = 1,154,135.49 \text{ Q}^2$$

$$\begin{aligned} \text{HB serie} = & \text{perdidas por fricción (Succión bomba N°02 + Sistema red de} \\ & \text{Succión bomba N°01 + Sistema red de Descarga Fe 1" + Sistema red de Descarga Fe} \\ & \text{1/2" + Sistema red de Descarga Inox 1" + Sistema red de Descarga Inox 1/2" +} \\ & \text{Sistema red de Descarga ramal Inox 1/2" + Sistema red de Descarga 1" a tina)} \end{aligned} \quad (57)$$

$$\text{HB serie} = 20,582,646.64 \text{ Q}^2$$

4.6.9 Determinación de la curva de funcionamiento del sistema en función del caudal

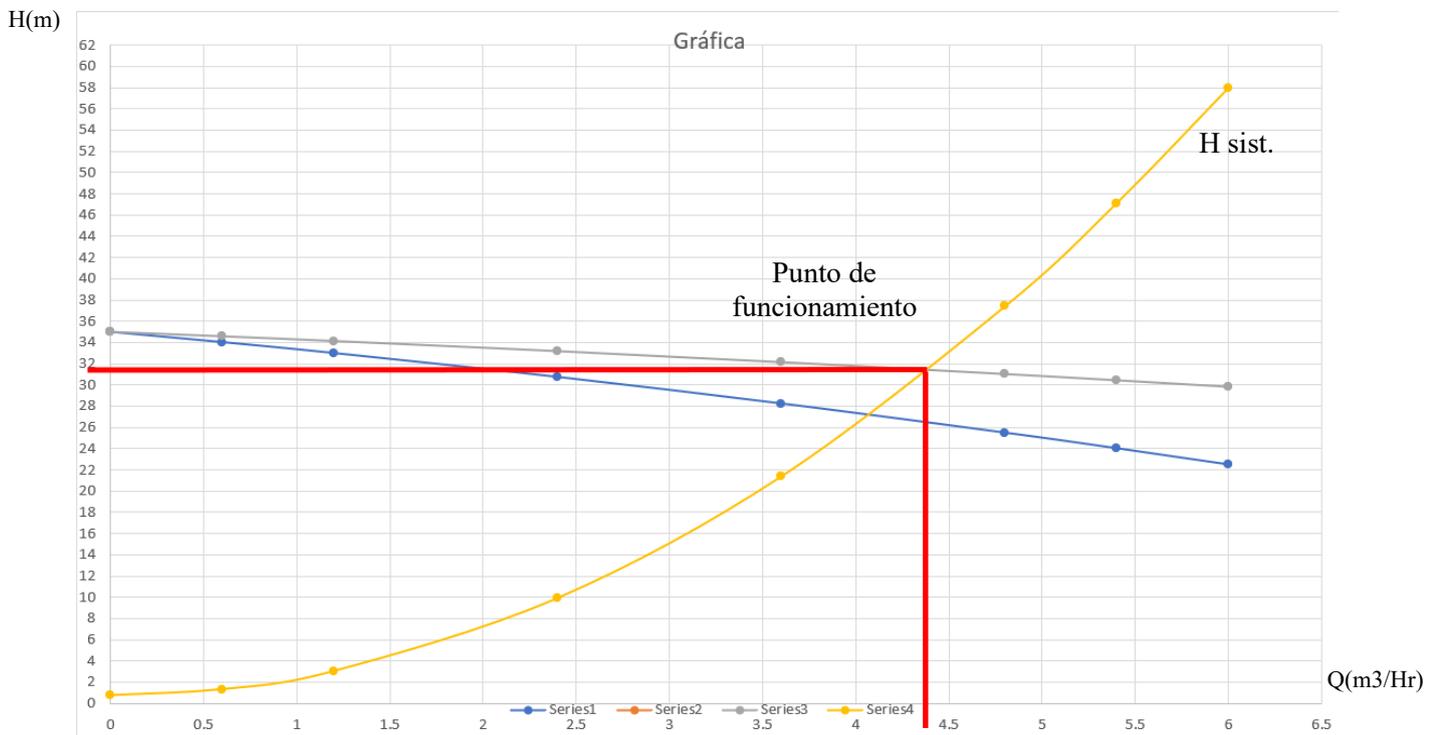
Dato previo: características técnicas de la bomba centrífuga CPM620 de 1 Hp.

Q (m ³ /h)	35	34	33	31	28.5	25.5	23.5	21
H(m)	0	0.6	1.2	2.4	3.6	4.8	5.4	6

El punto de funcionamiento de la bomba es el punto en el cual se intercepta la curva H_b de la bomba con la curva H_s sistema.

Figura 22

Punto de funcionamiento de las bombas conectadas en paralelo



Fuente: *Elaboración propia.*

El punto de funcionamiento es en $Q= 4.5 \text{ m}^3/\text{h}$, a una altura de 32.16 m.

V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Resultados

5.1.1. Se determinó un sistema de red de tuberías con cambio de materiales de inoxidable a acero al carbono para poder diferenciar el factor de fricción y rugosidad relativa que genera los diferentes materiales; así como el cambio de configuración geométrica (diámetro tubería) donde se aprecia la caída de presión significativa en el sistema. Es ahí donde las bombas centrífugas conectadas en serie cumplen con el punto de funcionamiento necesario de las altas caídas de presión, reafirmando el concepto de las conexiones en serie para lo cual se instaló 05 manómetros en puntos estratégicos esbozados en la tabla 69 mostrada a continuación.

Para visualizar la ubicación descrita de los tramos del sistema de red de tuberías se recomienda ver los plano N°2 y N°04 adjuntados en Anexo.

Tabla 69

Cuadro de Resultados del sistema de red de tuberías, bombas conectadas en serie

Resultado de la Tesis	Valores / Dimensiones
Tramo Succión de Bomba N°2	
Caudal	5.6 m ³ /h
Velocidad en succión	2.791 m/s
Diámetro de Tubería inoxidable 304L – SCH 40	1”
Longitud de Tubería inoxidable	1.7 m
Σ Pérdidas totales	4.589 m
Impulsor Bomba N°2 a Succión Bomba N°1	
Caudal	5.6 m ³ /h
Velocidad	2.791 m/s
Diámetro de Tubería ASTM A53 – SCH 40	1”
Longitud de Tubería ASTM A53 – SCH 40	1.15 m
Σ Pérdidas totales	3.394 m
Sistema de Red Tubería - Descarga ASTM A53 1”	
Caudal	5.6 m ³ /h
Velocidad	2.791 m/s
Diámetro de Tubería ASTM A53 – SCH 40	1”

Longitud de Tubería ASTM A53 – SCH 40	3.09 m
Σ Pérdidas totales	6.53 m
Sistema de Red Tubería - Descarga ASTM A53 1/2"	
Caudal	5.6 m ³ /h
Velocidad	7.974 m/s
Diámetro de Tubería ASTM A53 – SCH 40	1/2"
Longitud de Tubería ASTM A53 – SCH 40	2.11 m
Σ Pérdidas totales	12.03 m
Sistema de Red Tubería - Descarga inoxidable 304L 1" SCH 40	
Caudal	5.6 m ³ /h
Velocidad	2.791 m/s
Diámetro de Tubería inoxidable 304L – SCH 40	1"
Longitud de Tubería inoxidable	2.41 m
Σ Pérdidas totales	1.777 m
Sistema de Red Tubería - Descarga inoxidable 304L 1/2" SCH 40	
Caudal	5.6 m ³ /h
Velocidad	7.974 m/s
Diámetro de Tubería inoxidable 304L – SCH 40	1/2"
Longitud de Tubería inoxidable	2.07 m
Σ Pérdidas totales	9.815 m
Sistema de Red Tubería - Descarga ramal inoxidable 304L 1/2" SCH 40	
Caudal	2.8 m ³ /h
Velocidad	7.974 m/s
Diámetro de Tubería inoxidable 304L – SCH 40	1/2"
Longitud total de Tubería inoxidable	4.14 m
Σ Pérdidas totales	5.337 m
Sistema de Red Tubería - Descarga inoxidable 304L 1" SCH 40 a Deposito	
Caudal	5.6 m ³ /h
Velocidad	2.79 m/s
Diámetro de Tubería inoxidable 304L – SCH 40	1/2"
Longitud total de Tubería inoxidable	1.59 m

Σ Pérdidas totales	2.781 m
Presión en descarga de bomba N°02	18 psi
Presión en descarga de bomba N°01	38 psi
Presión en descarga en el sistema de tuberías de 1" ASTM A53	36 psi
Presión en descarga en el sistema de tuberías después de una reducción y cambio de material a inoxidable	18 psi
Presión al ingreso del depósito del módulo	0 psi
Altura de bombeo	46.26 m
Potencia requerida	0.93 Kw

Nota. Elaboración propia.

5.1.2. Se conectaron bombas en paralelo para verificar la variación del caudal con respecto al punto de funcionamiento de una bomba centrífuga lo cual con ayuda del software Excel se iteró un caudal aproximado para el sistema de red de tuberías, luego las pérdidas primarias y secundarias se encontraron en función del caudal, para luego obtener un punto de funcionamiento óptimo del cual se interceptan la curva del sistema con respecto al caudal y la curva de bombeo con respecto a las pérdidas, para ello se instaló 05 manómetros en puntos estratégicos esbozados en la tabla 70 mostrada a continuación.

Para visualizar la ubicación descrita de los tramos del sistema de red de tuberías se recomienda ver los planos N°3 y N°04 adjuntados en Anexo.

Tabla 70

Cuadro de Resultados del sistema de red de tuberías, bombas conectadas en paralelo

Resultado de la Tesis	Valores / Dimensiones
Tramo Succión de Bomba N°2	
Caudal	4.5 m ³ /h
Velocidad en succión	2.245 m/s
Diámetro de Tubería inoxidable 304L – SCH 40	1"
Longitud de Tubería inoxidable	1.7 m
Σ Pérdidas totales	2.977 m

Tramo Succión de Bomba N°1	
Caudal	4.5 m ³ /h
Velocidad	2.245 m/s
Diámetro de Tubería inoxidable 304L – SCH 40	1”
Longitud de Tubería inoxidable	1.7 m
Σ Pérdidas totales	2.977 m
Sistema de Red Tubería - Descarga ASTM A53 1”	
Caudal	4.5 m ³ /h
Velocidad	2.245 m/s
Diámetro de Tubería ASTM A53 – SCH 40	1”
Longitud de Tubería ASTM A53 – SCH 40	3.45 m
Σ Pérdidas totales	5.323 m
Sistema de Red Tubería - Descarga ASTM A53 1/2”	
Caudal	4.5 m ³ /h
Velocidad	6.407 m/s
Diámetro de Tubería ASTM A53 – SCH 40	1/2”
Longitud de Tubería ASTM A53 – SCH 40	2.11 m
Σ Pérdidas totales	7.8 m
Sistema de Red Tubería - Descarga inoxidable 304L 1” SCH 40	
Caudal	4.5 m ³ /h
Velocidad	2.245 m/s
Diámetro de Tubería inoxidable 304L – SCH 40	1”
Longitud de Tubería inoxidable	2.41 m
Σ Pérdidas totales	1.167 m
Sistema de Red Tubería - Descarga inoxidable 304L 1/2” SCH 40	
Caudal	4.5 m ³ /h
Velocidad	6.407 m/s
Diámetro de Tubería inoxidable 304L – SCH 40	1/2”
Longitud de Tubería inoxidable	2.07 m
Σ Pérdidas totales	6.53 m
Sistema de Red Tubería - Descarga ramal inoxidable 304L 1/2” SCH 40	

Caudal	2.25 m ³ /h
Velocidad	6.407 m/s
Diámetro de Tubería inoxidable 304L – SCH 40	1/2”
Longitud total de Tubería inoxidable	4.14 m
Σ Pérdidas totales	3.542 m
Sistema de Red Tubería - Descarga inoxidable 304L 1” SCH 40	
Caudal	4.5 m ³ /h
Velocidad	2.245 m/s
Diámetro de Tubería inoxidable 304L – SCH 40	1/2”
Longitud total de Tubería inoxidable	1.59 m
Σ Pérdidas totales	1.8 m
Presión en descarga de bomba N°02 (M1)	26 psi
Presión en descarga de bomba N°01	25 psi
Presión en descarga en el sistema de tuberías de 1” ASTM A53	24 psi
Presión en descarga en el sistema de tuberías después de una reducción y cambio de material a inoxidable	12 psi
Presión al ingreso del depósito del modulo	0 psi
Altura de bombeo	32.16 m
Potencia requerida	0.524 Kw

Nota. Elaboración propia.

5.1.3. Se realizó el diseño del módulo interactivo utilizando como software el programa de diseño SolidWorks, el cual fue de soporte en la visualización de la etapa de diseño y modificaciones previas antes de la fabricación, el módulo está compuesto por una estructura metálica de tubo cuadrado ASTM A500 con dimensiones según tabla 71, Así mismo se diseñó el depósito funcional de material acero inoxidable 304L con capacidad de 256.5 litros con dimensiones según tabla 71 presentando en la parte inferior una geometría de un prisma triangular con el fin de drenar de manera eficiente el líquido de prueba.

Tabla 71

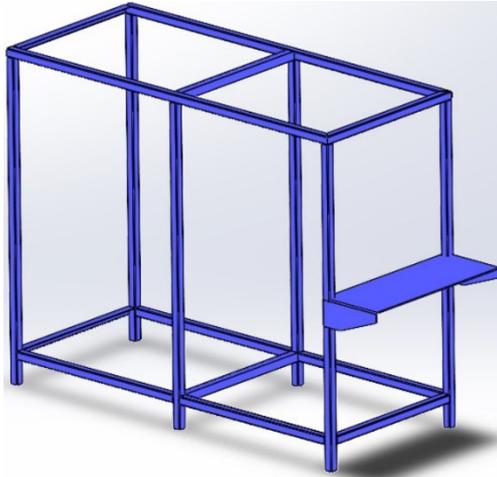
Cuadro de Resultados del Diseño de la estructura – depósito del módulo interactivo

Resultado de la Tesis	Valores / Dimensiones
Estructura metálica de tubo cuadrado ASTM A500	0.78x2.040x1.45 m
Depósito funcional acero inoxidable 304L	0.6x0.95x0.47 m
Volumen del depósito funcional	256.5 litros

Nota. Elaboración propia.

Figura 23

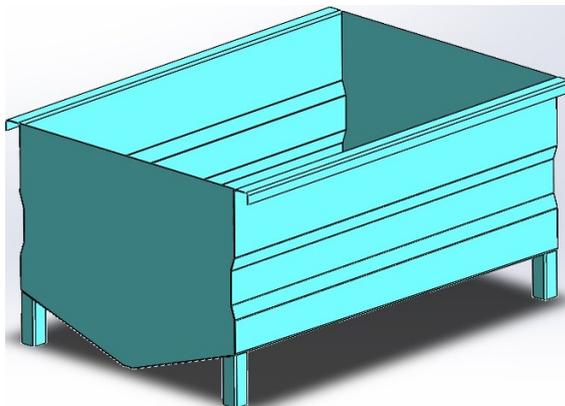
Vista isométrica estructura metálica de ASTM A500 del módulo interactivo



Nota. Elaboración propia.

Figura 24

Vista isométrica depósito material inoxidable del módulo interactivo



Nota. Elaboración propia.

5.1.4. Se pudo realizar ensayos experimentales, en el primer caso se pudo determinar la curva característica de una bomba centrífuga, en el segundo caso se accionará las válvulas de paso conectando dos bombas centrífugas en serie para determinar su curva característica H-Q, en el tercer caso se accionará las válvulas de paso conectando dos bombas en paralelo para determinar su curva característica H-Q.

El módulo interactivo se desarrolló con los sistemas hidráulicos presentados en los libros de mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas lo cual, será de apoyo para el desarrollo académico y pedagógico.

Figura 25

Modulo interactivo conectado con sistema de tuberías y bombas centrífugas

En el accionamiento en serie, el caudal (Q) generado será el mismo en el sistema hidráulico lo cual habrá un aumento en la altura de la bomba (H).

$H=AQ^2 + B$: Curva de funcionamiento de una bomba.

$H=n(AQ^2 + B)$: Curva de funcionamiento de “n” bombas conectadas en serie.

En el accionamiento en paralelo, el caudal (Q) generado será sumado en el sistema hidráulico lo cual será constante la altura de la bomba (H).

$H=AQ^2 + B$: Curva de funcionamiento de una bomba.

$H=A(Q/n)^2 + B$: Curva de “n” bombas conectadas en paralelo.

Ensayo experimental N°01 bombas centrífugas conectadas en serie.

A. Objetivo

- Graficar la curva característica H-Q de bombas centrífugas en serie

B. Equipo

- Dos bombas centrífugas de 1 Hp.
- Sistema de tuberías conectadas en serie y paralelo.

- Accesorios hidráulicos y válvulas de control.
- Manómetro con glicerina de 0 – 100 psi.

C. Teoría

Cuando una única bomba centrífuga puede suministrar el flujo necesario, pero no alcanza la altura de elevación requerida es posible conectar dos bombas en serie.

La energía específica generada por una bomba o sistema de bomba conectada en serie se resume con la siguiente ecuación:

$$\Delta H_t = \frac{\Delta P_t}{\gamma} = \frac{(P_d - P_s)}{\gamma} + \frac{(V_d^2 + V_s^2)}{2g}$$

La potencia hidráulica transferida al fluido:

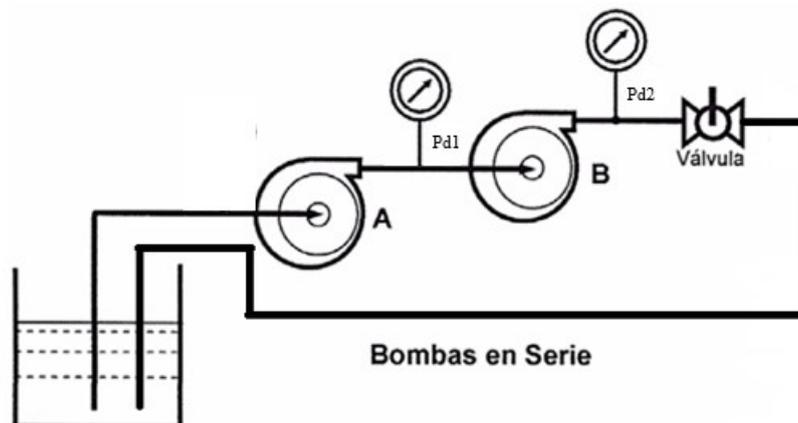
$$W_h = \gamma Q \Delta h_t = Q \Delta P_t$$

Las características teóricas de un sistema de bombas en serie:

$$\begin{aligned} \Delta H_{ts} &= \sum \Delta H_{ti} \\ Q_s &= Q_i \end{aligned}$$

Figura 26

Bombas centrífugas conectadas en serie



Nota. Elaboración propia.

C. Procedimiento

1. Accionar las válvulas del módulo interactivo para disponer el circuito hidráulico de bombas centrífugas conectadas en serie.
2. Energizar el tablero de control y pulsar el arranque de las bombas.
3. Se realizará las pruebas experimentales con las válvulas de paso 100% abiertas.

4. Tomar nota de las presiones de descarga (P_d) de cada bomba indicada por los manómetros.
5. Realizar el cierre de manera gradual de la válvula de paso, hasta que esté completamente cerrada.
6. Realice las operaciones 4 y 5 del procedimiento.

E. Datos experimentales

Tabla 72

Datos generados por bombas centrifugas conectadas en serie

	Caudal (Q)	Presion (PSI)		HB Serie
ITEM	m ³ /hr	P1	P2	m
1	0.61	25	47	68.25
2	1.22	25	45	66.33
3	2.41	24	43	62
4	3.61	22	41	57
5	4.83	20	39	51.33
6	5.42	18	37	48.25
7	6	15	29	44.9

Nota. Elaboración propia.

Donde:

Q: Caudal calculado, según configuración en serie.

M1: Presión medida por el manómetro 1 (0 – 100psi).

M2: Presión medida por el manómetro 2 (0 – 100psi).

H1: Altura de presión bomba N°01 (metros).

H2: Altura de presión bomba N°02 (metros).

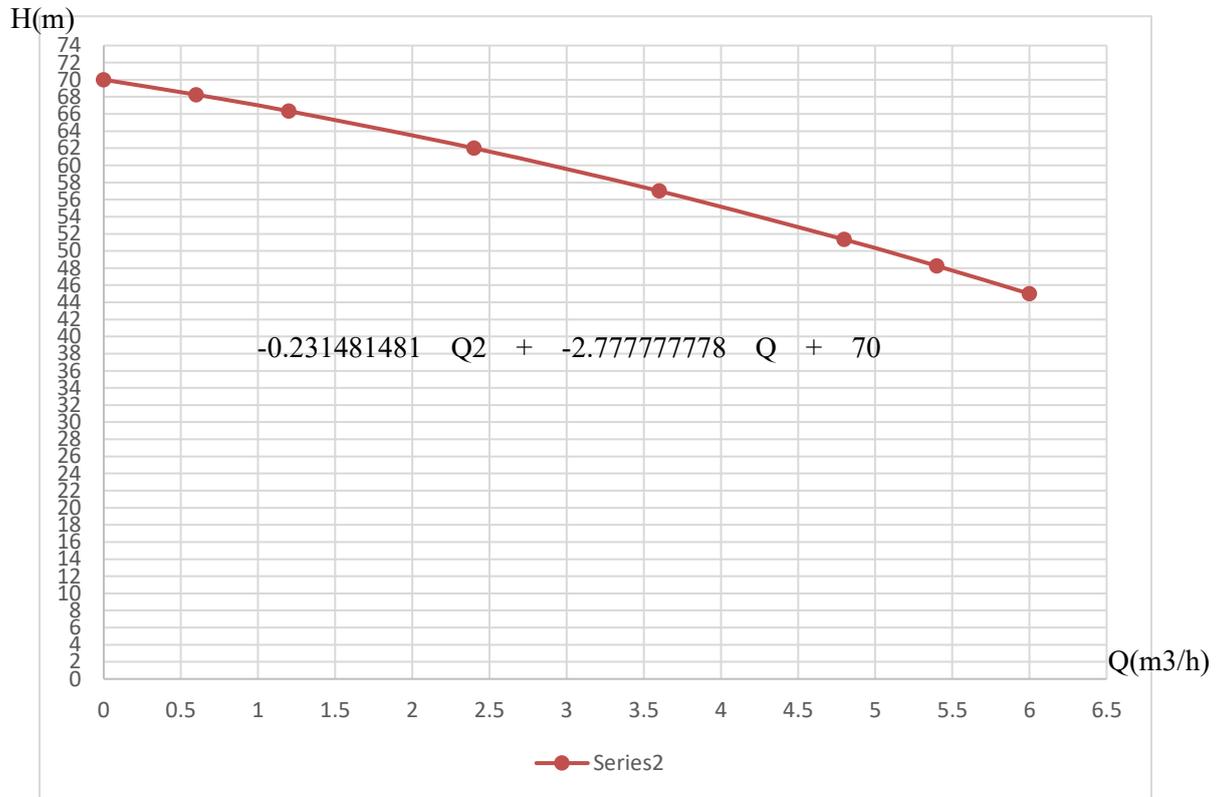
Hserie: Altura de presión generada por bombas conectadas en serie (metros).

Con los datos recolectados de la tabla 69, se desarrollará la gráfica de la curva

H – Q, bombas conectadas en serie.

Figura 27

Ajuste de la curva del sistema de bombas centrífugas conectadas en serie



Nota. Elaboración propia.

Ensayo experimental N°02 bombas centrífugas conectadas en paralelo.

A. Objetivo

- Graficar la curva característica H-Q de bombas centrífugas en paralelo

B. Equipo

- Dos bombas centrífugas de 1 Hp.
- Sistema de tuberías conectadas en serie y paralelo.
- Accesorios hidráulicos y válvulas de control.
- Manómetro con glicerina de 0 – 100 psi.

C. Teoría

Cuando una única bomba centrífuga puede alcanzar la altura de elevación requerida pero no el flujo necesario entonces se conectará dos bombas en paralelo para adicionar el caudal resultante.

La energía específica generada por una bomba o sistema de bomba conectada en paralelo se resume con la siguiente ecuación:

$$\Delta H_t = \frac{\Delta P_t}{\gamma} = \frac{(P_d - P_s)}{\gamma} + \frac{(V_d^2 + V_s^2)}{2g}$$

La potencia hidráulica transferida al fluido:

$$W_h = \gamma Q \Delta h_t = Q \Delta P_t$$

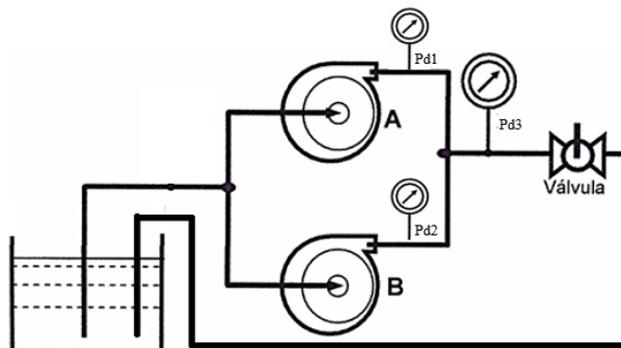
Las características teóricas de un sistema de bombas en paralelo:

$$\Delta H_{ts} = \sum \Delta H_{ti}$$

$$Q_p = Q_i$$

Figura 28

Bombas centrífugas conectadas en paralelo



Nota. Elaboración propia.

D. Procedimiento

1. Accionar las válvulas del módulo interactivo para disponer el circuito hidráulico de bombas centrífugas conectadas en paralelo.
2. Energizar el tablero de control y pulsar el arranque de las bombas.
3. Se realizará las pruebas experimentales con las válvulas de paso 100% abiertas.
4. Tomar nota de las presiones de descarga (Pd) de cada bomba indicada por los manómetros.
5. Realizar el cierre de manera gradual de la válvula de paso, hasta que

esté completamente cerrada.

6. Realice las operaciones 4 y 5 del procedimiento.

E. Datos experimentales

Tabla 73

Datos generados por bombas centrifugas conectadas en paralelo

ITEM	Caudal (Q) m ³ /hr	Presion (PSI)		HB Paralelo m
		P1	P2	
1	0.61	25	26	34.57
2	1.22	25	25	34.12
3	2.41	24	25	33.16
4	3.61	22	23	32.15
5	4.83	20	20	31.1
6	5.42	18	19	30.46
7	6	15	16	29.79

Nota. Elaboración propia.

Donde:

Q: Caudal calculado, según configuración en serie.

M1: Presión medida por el manómetro 1 (0 – 100psi).

M2: Presión medida por el manómetro 2 (0 – 100psi).

Q1: Caudal bomba N°01 (l/min).

Q2: Caudal bomba N°02 (l/min).

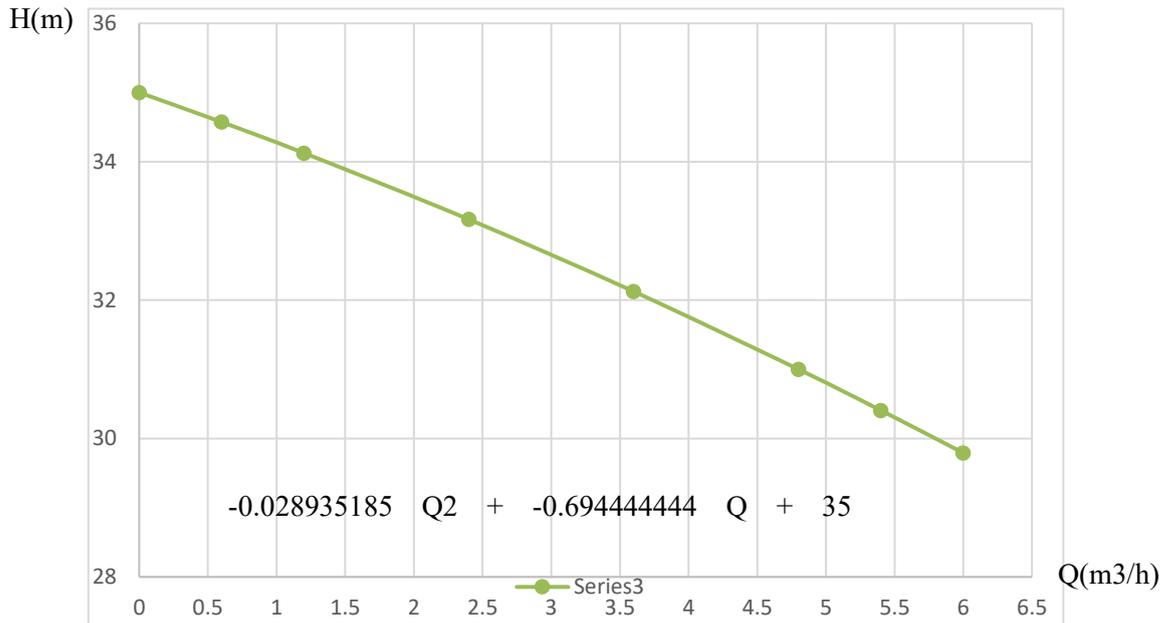
H_{paralelo}: Altura de presión generada por bombas conectadas en serie (metros).

Con los datos recolectados de la tabla 70, se desarrollará la gráfica de la curva

H – Q, bombas conectadas en paralelo.

Figura 29

Ajuste de la curva del sistema de bombas centrífugas conectadas en paralelo



Nota. Elaboración propia.

Ensayo experimental N°03 bombas centrífugas conectadas en serie.

A. Objetivo

- Graficar la curva del sistema de bombas centrífugas en serie

B. Equipo

- Dos bombas centrífugas de 1 Hp.
- Sistema de tuberías conectadas en serie y paralelo.
- Accesorios hidráulicos y válvulas de control.
- Manómetro con glicerina de 0 – 100 psi.

C. Teoría

Cuando un fluido circula en una tubería o ducto, se producen pérdidas energéticas a causa de la fricción interna del fluido en movimiento, las cuales se conocen como pérdidas primarias, se resume con la siguiente ecuación:

$$Q = AxV$$

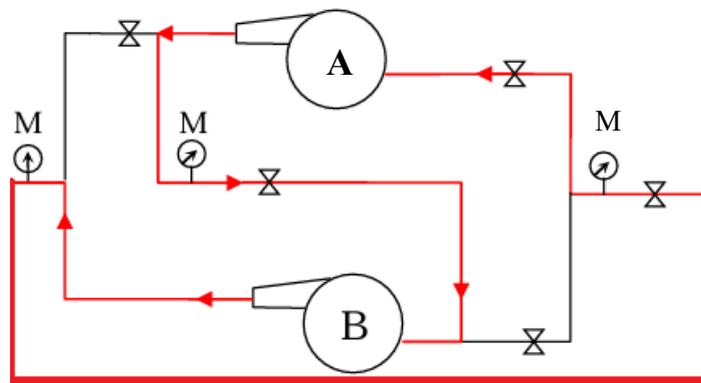
$$Re = \frac{VxD}{u}$$

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

Las pérdidas secundarias suceden cuando se produce una obstrucción en la dirección de fluido como ejemplo una válvula de paso o check, se resume con la siguiente ecuación: $h_s = kx \frac{V^2}{2g}$

Figura 30

Sistema de tuberías y accesorios hidráulicos instaladas en Bombas centrífugas conectadas en serie



Nota. Elaboración propia.

D. Procedimiento

1. Accionar las válvulas del módulo interactivo para disponer el circuito hidráulico de bombas centrífugas conectadas en serie.
2. Energizar el tablero de control y pulsar el arranque de las bombas.
3. Se realizará las pruebas experimentales con las válvulas de paso 100% abiertas.
4. Tomar nota de las presiones de descarga (Pd) de cada bomba indicada por los manómetros.
5. Realizar el cierre de manera gradual de la válvula de paso, hasta que esté completamente cerrada.
6. Realice las operaciones 4 y 5 del procedimiento.

E. Datos experimentales

Valores considerados como constantes para el laboratorio:

Tabla 74

Datos generados por bombas centrifugas conectadas en serie para determinar curva del sistema

ITEM	Caudal (Q) m ³ /hr	Presion (PSI)		Hsist (m) m
		P1	P2	
1	0.61	25	47	1.28
2	1.22	25	45	2.87
3	2.41	24	43	9.24
4	3.61	22	41	19.87
5	4.83	20	39	34.74
6	5.42	18	37	43.77
7	6	15	29	53.86

Nota. Elaboración propia.

Donde:

Q: Caudal calculado, según configuración en serie.

M1: Presión medida por el manómetro 1 (0 – 100psi).

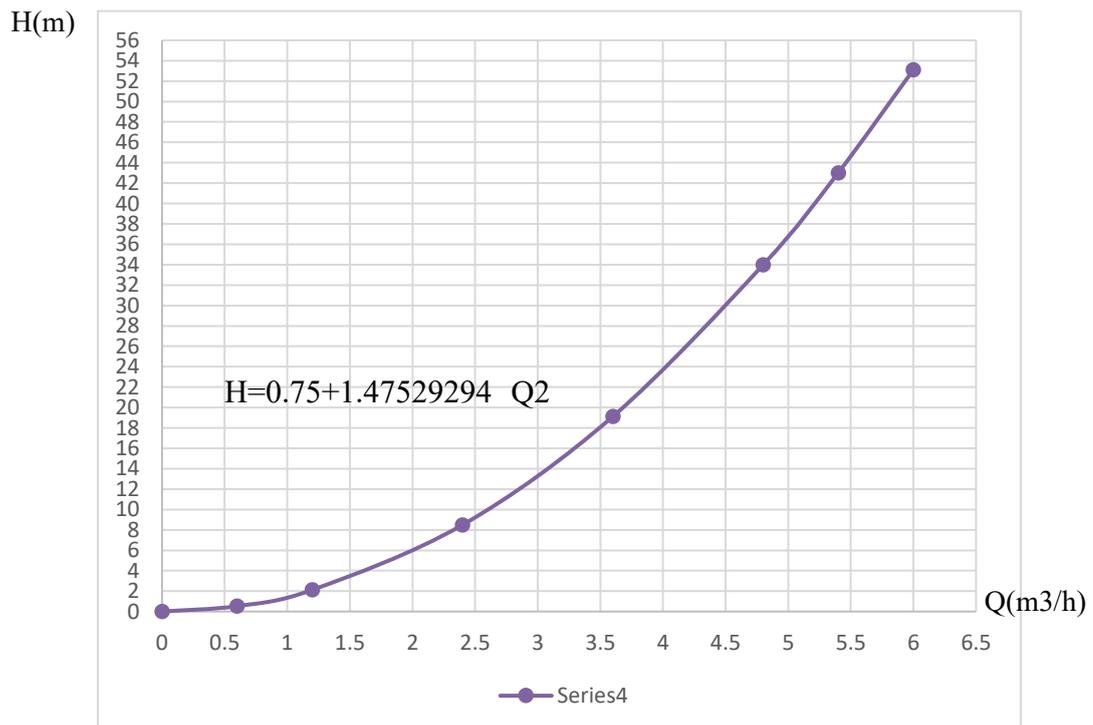
M2: Presión medida por el manómetro 2 (0 – 100psi).

Hserie: Altura del sistema(metros).

Con los datos recolectados de la tabla 71, se desarrollará la gráfica de la curva del sistema de bombas conectadas en serie.

Figura 31

Ajuste de la curva del sistema de Bombas centrifugas conectadas en serie



Nota. Elaboración propia.

Ensayo experimental N°04 bombas centrifugas conectadas en paralelo.

A. Objetivo

- Graficar la curva del sistema de bombas centrifugas en paralelo

B. Equipo

- Dos bombas centrifugas de 1 Hp.
- Sistema de tuberías conectadas en serie y paralelo.
- Accesorios hidráulicos y válvulas de control.
- Manómetro con glicerina de 0 – 100 psi.

C. Teoría

Cuando un fluido circula en una tubería o ducto, se producen pérdidas energéticas a causa de la fricción interna del fluido en movimiento, las cuales se conocen como pérdidas primarias, se resume con la siguiente ecuación:

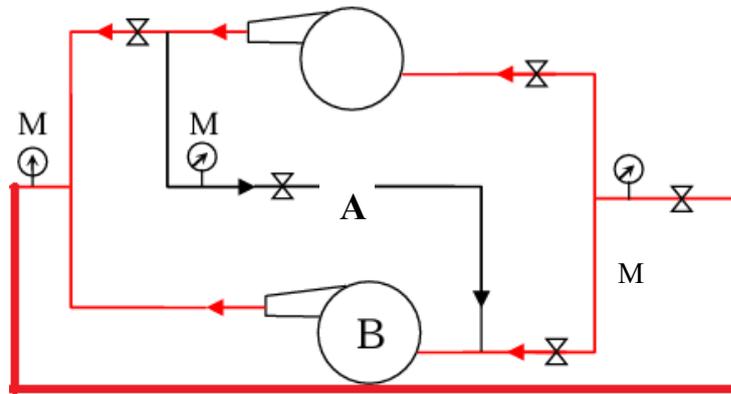
$$Q = AxV$$
$$Re = \frac{VxD}{u}$$
$$h_p = f x \frac{L}{D} x \frac{V^2}{2g}$$

Las pérdidas secundarias suceden cuando se produce una obstrucción en la dirección de fluido como ejemplo una válvula de paso o check, se resume con la siguiente ecuación:

$$h_s = kx \frac{V^2}{2g}$$

Figura 32

Sistema de tuberías y accesorios hidráulicos instaladas en Bombas centrifugas conectadas en paralelo



Nota. Elaboración propia.

D. Procedimiento

1. Accionar las válvulas del módulo interactivo para disponer el circuito hidráulico de bombas centrífugas conectadas en paralelo.
2. Energizar el tablero de control y pulsar el arranque de las bombas.
3. Se realizará las pruebas experimentales con las válvulas de paso 100% abiertas.
4. Tomar nota de las presiones de descarga (Pd) de cada bomba indicada por los manómetros.
5. Realizar el cierre de manera gradual de la válvula de paso, hasta que esté completamente cerrada.
6. Realice las operaciones 4 y 5 del procedimiento.

E. Datos experimentales

Valores considerados como constantes para el laboratorio:

Tabla 75

Datos generados por bombas centrífugas conectadas en paralelo serie para determinar curva del sistema

ITEM	Caudal (Q) m ³ /hr	Presion (PSI)		Hsist (m)
		P1	P2	m
1	0.61	25	26	1.33
2	1.22	25	25	3.04
3	2.41	24	25	9.91
4	3.61	22	23	21.36
5	4.83	20	20	37.39
6	5.42	18	19	47.12
7	6	15	16	58

Nota. Elaboración propia.

Donde:

Q: Caudal calculado, según configuración en paralelo.

M1: Presión medida por el manómetro 1 (0 – 100psi).

M2: Presión medida por el manómetro 2 (0 – 100psi).

Σh_p : Pérdidas primarias (metros).

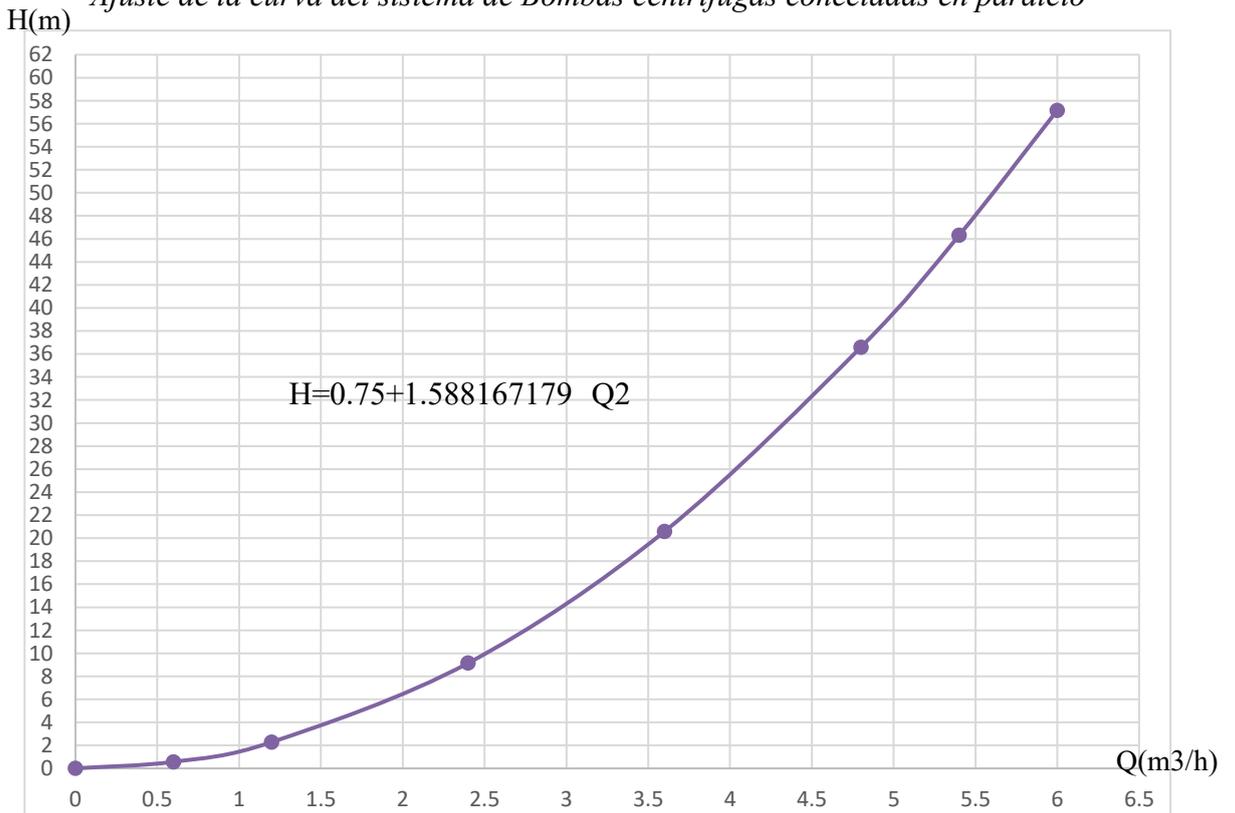
Σh_s : Pérdidas secundarias (metros).

Hserie: Altura del sistema(metros).

Con los datos recolectados de la tabla 72, se desarrollará la gráfica de la curva del sistema de bombas conectadas en paralelo.

Figura 33

Ajuste de la curva del sistema de Bombas centrifugas conectadas en paralelo



Nota. Elaboración propia.

Ensayo experimental N°05 bombas centrífugas conectadas en serie.

A. Objetivo

- Establecer el punto óptimo de funcionamiento de dos bombas centrífugas en serie.

B. Equipo

- Dos bombas centrífugas de 1 Hp.
- Sistema de tuberías conectadas en serie y paralelo.
- Accesorios hidráulicos y válvulas de control.
- Manómetro con glicerina de 0 – 100 psi.

C. Teoría

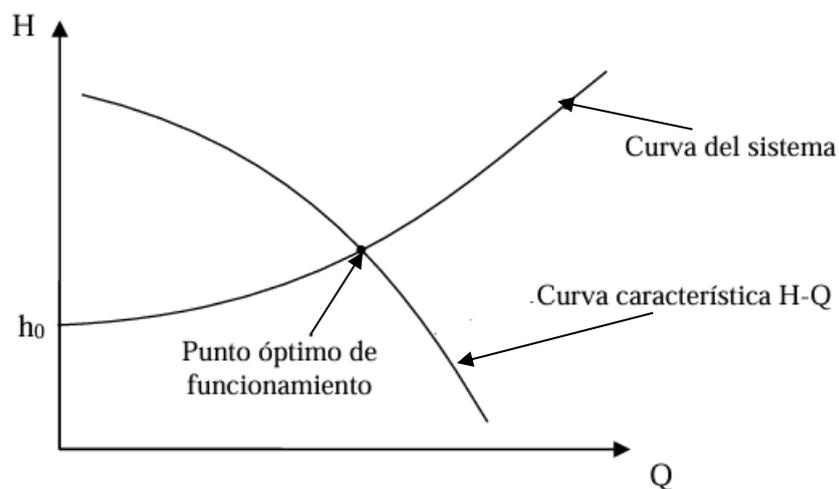
El nivel de operación ideal para dos bombas conectadas en serie es el punto en donde el caudal y su correspondiente altura manométrica genera que el sistema de bombeo opere de manera eficaz, se resume con la siguiente ecuación:

La curva característica H – Q correspondiente de las bombas centrífugas instaladas en serie: $H = a + bQ^2$.

La curva del sistema de las bombas centrífugas instaladas en serie: $H_s = c + dQ^2$.

Figura 34

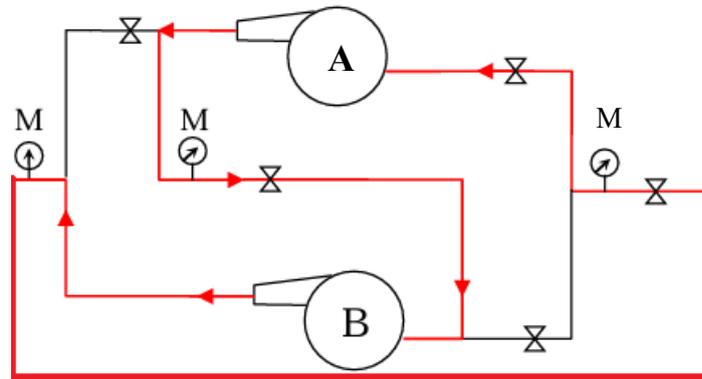
Punto óptimo de funcionamiento de bombas centrífugas conectadas en serie



Nota. Elaboración propia.

Figura 35

Sistema de tuberías y accesorios hidráulicos instaladas en Bombas centrífugas conectadas en serie



Nota. Elaboración propia.

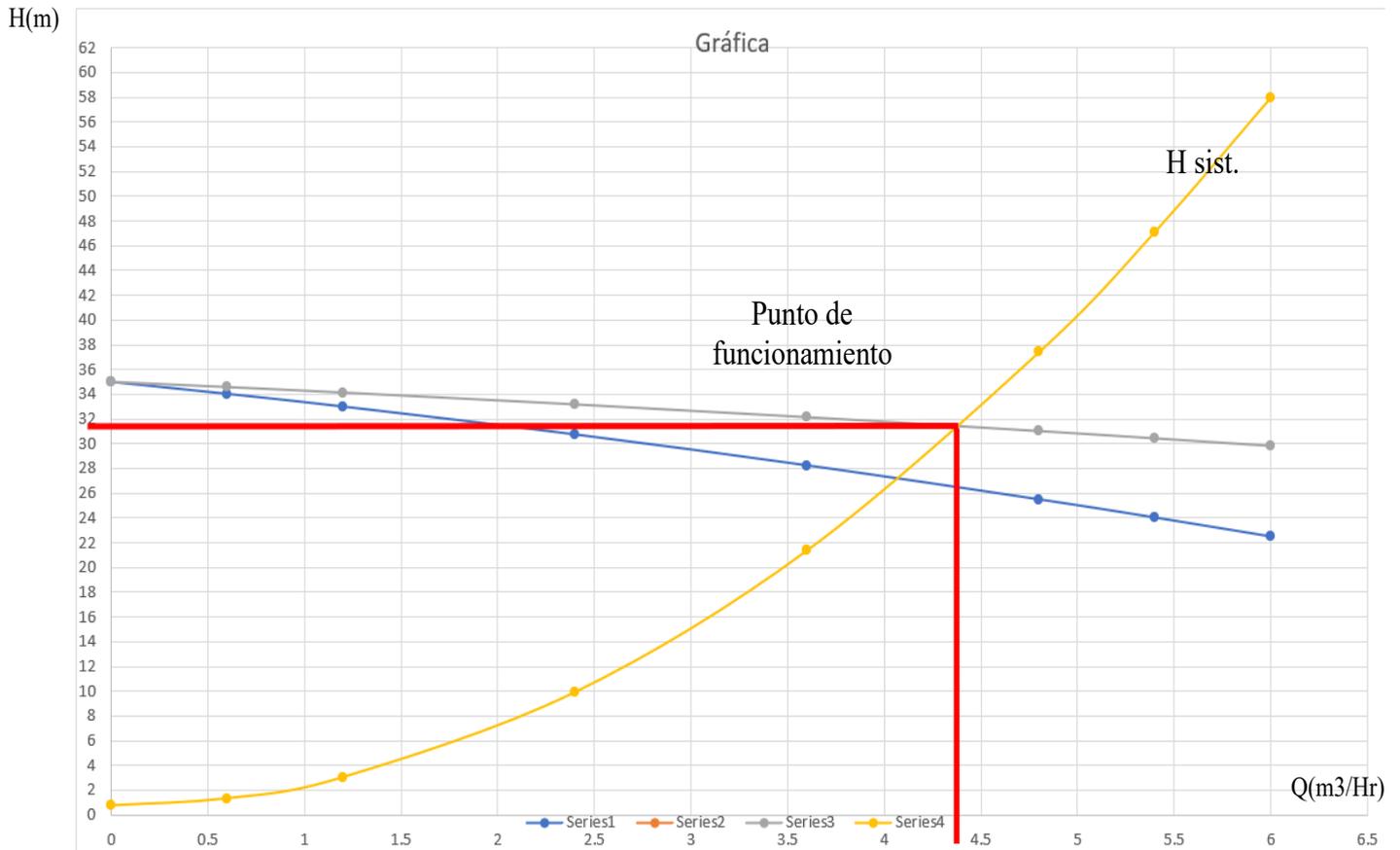
D. Procedimiento

1. Accionar las válvulas del módulo interactivo para disponer el circuito hidráulico de bombas centrífugas conectadas en serie.
2. Energizar el tablero de control y pulsar el arranque de las bombas.
3. Se realizará las pruebas experimentales con las válvulas de paso 100% abiertas.
4. Tomar nota de las presiones de descarga (Pd) de cada bomba indicada por los manómetros.
5. Realizar el cierre de manera gradual de la válvula de paso, hasta que esté completamente cerrada.
6. Realice las operaciones 4 y 5 del procedimiento.

E. Datos experimentales

Figura 36

Punto de funcionamiento de las bombas conectadas en serie



Nota. Elaboración propia.

Ensayo experimental N°06 bombas centrífugas conectadas en paralelo.

A. Objetivo

- Establecer el punto óptimo de funcionamiento de dos bombas centrífugas en paralelo.

B. Equipo

- Dos bombas centrífugas de 1 Hp.
- Sistema de tuberías conectadas en serie y paralelo.
- Accesorios hidráulicos y válvulas de control.
- Manómetro con glicerina de 0 – 100 psi.

C. Teoría

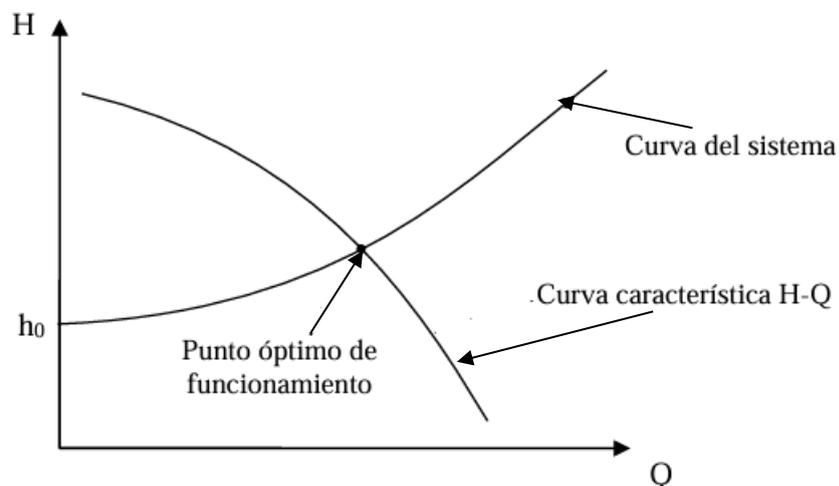
El nivel de operación ideal para dos bombas conectadas en paralelo es el punto en donde el caudal y su correspondiente altura manométrica genera que el sistema de bombeo opere de manera eficaz, se resume con la siguiente ecuación:

La curva característica H – Q correspondiente de las bombas centrífugas instaladas en paralelo: $H = a + bQ^2$.

La curva del sistema de las bombas centrífugas instaladas en paralelo: $H_s = c + dQ^2$.

Figura 37

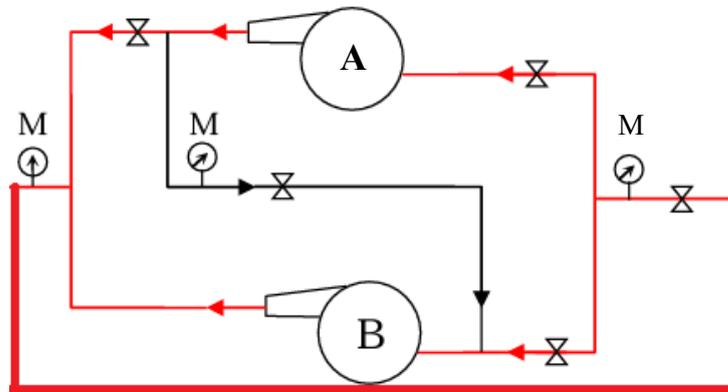
Punto óptimo de funcionamiento de bombas centrífugas conectadas en paralelo



Nota. Elaboración propia.

Figura 38

Sistema de tuberías y accesorios hidráulicos instaladas en Bombas centrífugas conectadas en paralelo



Nota. Elaboración propia.

D. Procedimiento

1. Accionar las válvulas del módulo interactivo para disponer el circuito hidráulico de bombas centrífugas conectadas en paralelo.
2. Energizar el tablero de control y pulsar el arranque de las bombas.
3. Se realizará las pruebas experimentales con las válvulas de paso 100% abiertas.
4. Tomar nota de las presiones de descarga (Pd) de cada bomba indicada por los manómetros.
5. Realizar el cierre de manera gradual de la válvula de paso, hasta que esté completamente cerrada.
6. Realice las operaciones 4 y 5 del procedimiento.

E. Datos experimentales

Figura 39

Punto de operación de Bombas centrífugas conectadas en paralelo



Nota. Elaboración propia.

5.2. Discusión

5.2.1. Se identificó la altura de elevación como un parámetro crítico lo cual se logró obtener datos experimentales y se determinó el punto de funcionamiento de las bombas centrífugas conectadas en serie, se optó por un sistema del cual presenta accesorios hidráulicos, simulando una gran caída de presión reduciendo la configuración geométrica de tuberías; según el libro de mecánicas de fluido, sexta edición de Robert L. Mott, (2006), p.290, plasma un ejemplo con caudal 100 l/min, con tuberías de 3" a 1" de material cobre, para ello podemos determinar la velocidad de 3.32 m/s. Obteniendo pérdidas significativas de 0.24m en solo reducir el diámetro; según el libro de mecánicas de fluido y maquinas hidráulicas, segunda edición de Claudio Mataix, (1982), p.265, se muestra la reducción de tuberías y ampliación de las mismas con el fin de plasmar las pérdidas en el sistema de distribución es allí donde se consigue caudal; $Q_a=83.61/s$, para las tuberías de 400m, diámetro de 300mm, para las tuberías de 150m, diámetro de 200mm, para las tuberías de 200m, diámetro de 250mm. Según el libro de mecánicas de fluido, sexta edición de Robert L. Mott, (2006), p.305, indica que la turbulencia que ocasiona la contracción y la expansión subsecuente es lo que genera la pérdida de energía; según el libro de mecánicas de fluido y maquinas hidráulicas, segunda edición de Claudio Mataix, (1982), p.239, se muestra en la Fig 11-4 y Fig 11-5, contracciones bruscas y suaves genera pérdida de energía.

5.2.2. Se obtuvo los datos experimentales donde se logró determinar el punto de funcionamiento de las bombas centrifugas conectadas en paralelo. El caudal es un parámetro crítico en el módulo, donde se implementó accesorios hidráulicos en las tuberías en serie y paralelo donde se obtuvo un caudal $Q=4.5 \text{ m}^3/\text{h}$, y con una tubería de succión de diámetro 1" inoxidable 304L - SCH40 con una velocidad de 2.245 m/s, para una altura manométrica de 32.16 m para una potencia de 0.7 Hp, para lo cual se comparó con los resultados según R. Aguilar, & H. Ventura (2017) donde obtuvo un caudal de $Q=11.66 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ o 4.17 m³/h, con tubería de succión de diámetro 1" PVC, con una velocidad de 2.16 m/s, una altura manométrica de 32.75 m para una potencia de 0.63 Hp así mismo se pudo evidenciar en W. Villarreal (2008), donde obtuvo un caudal de $Q=15 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$, con tubería de succión de diámetro 1 1/2" PVC, con una velocidad de 1.5 m/s, una altura manométrica de 5.6 m para una potencia de 0.11 Hp.

5.2.3. Se destacó la importancia de utilizar software especializado como SolidWorks 2024 para el diseño y modelado del módulo interactivo, mostrado en 3D para poder visualizar nuestro proyecto y así poder mejorar la experiencia en los módulos ya mencionados, Chacón, Herrera y Rodríguez (2011), menciona la comodidad de diseñar estructuras para poder tener un mejor panorama en 3D; Sullo (2023), sugiere el uso del programa SolidWorks como herramienta de diseño y modelado. Así mismo se utilizó el programa de análisis de datos Excel, que permite graficar de manera precisa los datos obtenidos mediante calculo algebraico, iterativo y experimental.

5.2.4. Se desarrolló de las 06 guías practicas tales donde se pudo determinar la curva característica de una bomba centrifugas conectadas en serie y paralelo donde se pudo determinar la curva del sistema el cual fue de soporte para obtener el punto óptimo de funcionamiento debiéndose a la unión de la curva característica y curva del sistema, donde en el Ensayo experimental N°01 bombas centrifugas conectadas en serie muestra la Tabla 71, existe una mayor altura en el sistema con un caudal constante, la curva característica H-Q se muestra en la figura 27, Aguilar y Ventura (2017) nos menciona que cuando una sola bomba es capaz de proporcionar el caudal requerido pero no la altura de elevación, se puede acoplar dos bombas en serie, en el ensayo experimental N°02 bombas centrifugas conectadas en paralelo la Tabla 72, existe un aumento en el caudal, la curva característica H-Q se muestra en la figura 29, Aguilar y Ventura (2017) nos menciona que cuando una sola bomba es capaz de dar la altura de elevación requerida, pero no es capaz de dar el caudal necesario, se puede acoplar dos bombas en paralelo, en el Ensayo experimental N°03 bombas centrifugas conectadas en serie muestra la Tabla 73, muestra la variación de la presión en el sistema de tuberías, la curva del sistema de bombas en serie se muestra en la figura 31, Aguilar y Ventura (2017) nos menciona que a medida que un fluido circula por una tubería ocurre perdidas de energía debido a la fricción interna generada, en el Ensayo experimental N°04 bombas centrifugas conectadas en paralelo muestra la Tabla 74, muestra la variación de la presión en el sistema de tuberías, la curva del sistema de bombas en serie se muestra en la figura 33, Aguilar y Ventura (2017) nos menciona que a medida que un fluido circula por una tubería ocurre perdidas de energía debido a la fricción interna generada, en el Ensayo experimental N°05 bombas centrifugas conectadas en serie, en la figura 36 se muestra la gráfica del punto de funcionamiento de dos bombas centrifugas conectadas en serie, Aguilar y Ventura (2017) nos menciona que el punto óptimo de funcionamiento de dos bombas conectadas en serie, es el punto donde el caudal y su altura manométrica respectiva hacen que el sistema de bombeo funcione eficientemente, en el Ensayo experimental N°06 bombas centrifugas conectadas en paralelo, en la figura 39 se muestra la gráfica del punto de funcionamiento de dos bombas centrifugas conectadas en paralelo, Aguilar y Ventura (2017) nos menciona que es el punto donde el caudal y su altura manométrica respectiva hacen que el sistema de bombeo funcione eficientemente.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

6.1.1. Se calculó las condiciones de operación necesarias para el diseño y posterior fabricación del módulo interactivo. Se conectó dos bombas en serie, en la Tabla 69 muestra valores fundamentales recolectados del ensayo experimental, iniciando en el Tramo de Succión de Bomba N°2, Caudal 5.6 m³/h, Velocidad en succión 2.791 m/s, Diámetro de Tubería 1" inoxidable 304L – SCH 40, Longitud de Tubería inoxidable 1.7m con Pérdidas totales 4.589m, segundo en el Tramo donde el caudal y la velocidad se mantienen, Impulsor Bomba N°2 a Succión Bomba N°1, Diámetro de Tubería 1" ASTM A53 – SCH 40, Longitud de Tubería ASTM A53 – SCH 40 1.15 m, Pérdidas totales 3.394m, tercer Tramo se mantienen el caudal y la velocidad en el Sistema de Red Tubería - Descarga ASTM A53 1", Longitud de Tubería 3.09m, Pérdidas totales 6.53 m, cuarto Tramo Sistema de Red Tubería - Descarga ASTM A53 1/2", caudal 5.6 m³/h, Velocidad 7.974 m/s, Longitud de Tubería 2.11 m, Pérdidas totales 12.03m, quinto tramo el caudal se mantiene en Sistema de Red Tubería - Descarga inoxidable 304L 1" SCH 40, Velocidad es 2.791 m/s, Longitud de Tubería 2.41 m, Pérdidas totales 1.777 m, sexto tramo el caudal se mantiene en Sistema de Red Tubería - Descarga inoxidable 304L 1/2" SCH 40, Velocidad 7.974 m/s, Longitud de Tubería 2.07m, Pérdidas totales 9.815 m, séptimo tramo en Sistema de Red Tubería - Descarga ramal inoxidable 304L 1/2" SCH 40, Caudal 2.8 m³/h, Velocidad 7.974 m/s, Longitud de Tubería 4.14m, Pérdidas totales 5.337 m, último tramo en Sistema de Red Tubería - Descarga inoxidable 304L 1" SCH 40 a Deposito, Caudal 5.6 m³/h, Velocidad 2.79 m/s, Longitud de Tubería 1.59m, Pérdidas totales 2.781 m, presión en descarga de bomba N°02 (M1, ver en plano N°2) es 18 psi, la presión en descarga de bomba N°01 (M2, ver en plano N°2) es 38 psi, Presión en descarga en el sistema de tuberías de 1" ASTM A53 (M3, ver en plano N°4) es 36 psi, Presión en descarga en el sistema de tuberías después de una reducción y cambio de material a inoxidable (M4, ver en plano N°4) es 18 psi, Presión al ingreso del depósito del módulo es (M5, ver en plano N°4) 0 psi, se determinó la altura de bomba conectada en serie dando como resultado $H_B=46.265$ m, con un caudal $Q=5.6$ m³/h y una potencia requerida de 0.938Kw, con los cálculos de cambio de variable dependiente del caudal el punto de funcionamiento se calculó que altura es $H=46.27$ m.

6.1.2. Se calculó las condiciones de operación necesarias para el diseño y posterior fabricación del módulo interactivo conectado dos bombas en paralelo, donde en la Tabla 70 muestra valores fundamentales recolectados del ensayo experimental iniciando en el Tramo de Succión de Bomba N°2, Caudal 4.5 m³/h, Velocidad en succión 2.245 m/s, Diámetro de Tubería 1" inoxidable 304L – SCH 40, Longitud de Tubería inoxidable 1.7m con Pérdidas totales 2.997m, segundo en el Tramo donde el caudal y la velocidad se mantienen, Succión Bomba N°1, Diámetro de Tubería 1", Longitud de Tubería 1.7 m, Pérdidas totales 2.997m, tercer Tramo se mantienen el caudal y la velocidad en el Sistema de Red Tubería - Descarga ASTM A53 1", Longitud de Tubería 3.45m, Pérdidas totales 5.323 m, cuarto Tramo Sistema de Red Tubería - Descarga ASTM A53 1/2", caudal 4.5 m³/h, Velocidad 6.407 m/s, Longitud de Tubería 2.11 m, Pérdidas totales 7.83m, quinto tramo el caudal se mantiene en Sistema de Red Tubería - Descarga inoxidable 304L 1" SCH 40, Velocidad es 2.245 m/s, Longitud de Tubería 2.41 m, Pérdidas totales 1.167 m, sexto tramo el caudal se mantiene en Sistema de Red Tubería - Descarga inoxidable 304L 1/2" SCH 40, Velocidad 6.407 m/s, Longitud de Tubería 2.07m, Pérdidas totales 6.53 m, séptimo tramo en Sistema de Red Tubería - Descarga ramal inoxidable 304L 1/2" SCH 40, Caudal 2.25 m³/h, Velocidad 6.407 m/s, Longitud de Tubería 4.14m, Pérdidas totales 3.542 m, último tramo en Sistema de Red Tubería - Descarga inoxidable 304L 1" SCH 40 a Deposito, Caudal 4.5 m³/h, Velocidad 2.245 m/s, Longitud de Tubería 1.59m, Pérdidas totales 1.8 m, presión en descarga de bomba N°02 (M1, ver en plano N°3) es 26 psi, la presión en descarga de bomba N°01(M2, ver en plano N°3) es 25 psi, Presión en descarga en el sistema de tuberías de 1" ASTM A53(M3, ver en plano N°4) es 24 psi, Presión en descarga en el sistema de tuberías después de una reducción y cambio de material a inoxidable (M4, ver en plano N°4) es 12 psi, Presión al ingreso del depósito del módulo (M5, ver en plano N°4) es 0 psi, Se calculó de manera iterativa la altura de bomba conectada en paralelo dando como resultado H_B=32.16 m, con un caudal Q=4.5 m³/h y una potencia requerida de 0.524Kw, con los cálculos de cambio de variable dependiente del caudal el punto de funcionamiento se calculó que altura es H=32.16m.

6.1.3. Se diseñó del módulo interactivo mediante el programa SolidWorks, obteniendo un modelamiento detallado y preciso, brindando representaciones visuales panorámica del módulo, donde incluye dimensiones, geometría para el diseño y fabricación del módulo interactivo, donde la Tabla 71 muestra que es está compuesto

por una estructura metálica de tubo cuadrado ASTM A500 de espesor 2mm con dimensiones de ancho:780mm, largo:2040mm, altura:1450 mm, base metálica para las bombas centrifugas 1 Hp diseñada con plancha ASTM A36 de espesor 6mm, plegada para tener mejor consistencia , y el depósito funcional de material acero inoxidable 304L de espesor 2mm, con capacidad de 256.5 litros con dimensiones ancho:600mm, largo:950mm, altura:470mm presentando en la parte inferior una geometría de un prisma triangular con el fin de drenar de manera eficiente el líquido de prueba, sistema de tuberías en serie y paralelo y accesorios hidráulicos de material acero al carbono e inoxidable.

Se enfatizó la relevancia vital de emplear software especializado como el que se utiliza actualmente para el diseño y modelación de equipos y/o estructuras metálicas. No solo estos programas proporcionaron una representación exacta y minuciosa, sino que también desempeñaron un papel valioso en el desarrollo del conocimiento del procedimiento de diseño y fabricación. La representación producida por los modelos en formato digital ofreció un punto de inicio esencial, facilitando la mejora del diseño y economizando tiempo y recursos que, de otra forma se destinarían a la fase de inversión del modelo físico.

6.1.4. Se implementó 06 guías prácticas de laboratorio que nos permitió realizar los correspondientes ensayos experimentales en el módulo interactivo lo cual se logró analizar el comportamiento de las bombas centrifugas conectadas en serie y paralelo relacionadas a las curvas características H-Q, curvas del sistema de bombas y finalmente la determinación del punto óptimo del funcionamiento, estos fueron desarrollados, graficados y analizados en esta informe tesis. donde

En el Ensayo experimental N°01 bombas centrifugas conectadas en serie muestra la Tabla 71, válvula de paso abierto al 100% un caudal de 5.6m³/h, velocidad presión existe en la descarga de bomba N°02 (M1, ver en plano N°02) es 18 psi, la presión en descarga de bomba N°01 (M2, ver en plano N°02) es 38 psi, altura de la bomba N°01 es 26.5m, altura de la bomba N°02 es 27.5m, altura del sistema es 46.26m, la curva característica H-Q se muestra en la figura 27.

En el ensayo experimental N°02 bombas centrifugas conectadas en paralelo la Tabla 72, válvula de paso abierto al 100% un caudal de 4.5m³/h, presión existe en presión en descarga de bomba N°02 (M1, ver en plano N°03) es 26 psi, la presión en descarga de bomba N°01 (M2, ver en plano N°03) es 25 psi, caudal en bomba N°01

es 4.1m³/h, caudal en bomba N°02 es 4.1m³/h, altura del sistema es 32.16m, la curva característica H-Q se muestra en la figura 29

En el Ensayo experimental N°03 bombas centrifugas conectadas en serie muestra la Tabla 73, válvula de paso abierto al 100% un caudal de 5.6m³/h Presión en descarga en el sistema de tuberías después de una reducción y cambio de material a inoxidable (M1, ver en plano N°02) es 18 psi, la presión en descarga de bomba N°01(M2, ver en plano N°02) es 38 psi, la curva del sistema de bombas en serie se muestra en la figura 31.

En el Ensayo experimental N°04 bombas centrifugas conectadas en paralelo muestra la Tabla 74, válvula de paso abierto al 100% un caudal de 4.5m³/h presión en descarga de bomba N°02 (M1, ver en plano N°03) es 26 psi, la presión en descarga de bomba N°01 (M2, ver en plano N°03) es 25 psi muestra la variación de la presión en el sistema de tuberías, la curva del sistema de bombas en serie se muestra en la figura 33.

En el Ensayo experimental N°05 bombas centrifugas conectadas en serie, en la figura 36 se muestra la gráfica del punto de funcionamiento de dos bombas centrifugas conectadas en serie.

En el Ensayo experimental N°06 bombas centrifugas conectadas en paralelo, en la figura 39 se muestra la gráfica del punto de funcionamiento de dos bombas centrifugas conectadas en paralelo.

6.2. Recomendaciones

6.2.1. Se debe considerar el desarrollo de las 06 guías practicas experimentales implementadas en esta informe tesis, de esta manera se obtendrá una mayor comprensión al momento de determinar la curva característica de una bomba centrifuga conectada en serie y paralelo, la curva del sistema y el punto óptimo de funcionamiento.

6.2.2. Se recomienda que las pruebas que se pueden realizar en él modulo interactivo sean implementadas a corto plazo en los cursos referentes a mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas.

6.2.4. Se debe realizar una verificación del sistema de tuberías, válvulas de paso, manómetros, conexión de las bombas centrifugas antes, durante y después de realizar las pruebas experimentales, con el fin de conservación del módulo interactivo.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, R., & Ventura, H. (2017). *Diseño y construcción de un modulo de laboratorio permitira el desarrollo del estudio experimental del comportamiento de bombas hidráulicas*. Puno: Universidad Nacional del altiplano.
- Angulo, P. (2016). Educación Universitaria de calidad con formación integral y competencias profesional. *Horizonte d ela ciencia*, 06(11), pp- 159-167.
- Aranibar, A, C. (2016). *Determinación Predictiva de la Cavitación por párametros Sónicoc*. Arequipa: Universidad Nacional San Agustín Arequipa.
- Arias, M. (2013). *Importancia del diseño e implementación de modulo didactico en Automotización industrial*. Quito - Ecuador : Universisda de Loja.
- Ascón, A, J. (2019). *Justificacion e importancia implementacion de un sistema de bomba*. Lima : Universidad Tecnológica del Perú.
- Bejarano, R. (1997). *Bombas Centrifugas, Selección, Instalación, Operación y Mantenimiento* (6da edición ed.). México: 6 edición.
- Cengel, Y., & Cimbala, J. (2006). *Mecánica de Fluidos: Fundamentos y aplicaciones*. Mexico D.F: McGraw-Hill Interamericana. Obtenido de <https://www.iberlibro.com/9781456260941/Mec%C3%A1nica-fluidos-Fundamentos-aplicaciones-edici%C3%B3n-1456260944/plp>
- Chura, R., & Neira, O. (2013). *Diseño E implementación de un sistema de bombeo*. Puno: Universidad Nacional del altiplano.
- Gutiérrez, L. (2019). *L agavitación Gaseosa hidrodinámica un enfoque desde la ingenierias*. Lima: Universidad Tecnológica del Perú.
- Kenneth, J. (1992). *Bombas Selección, uso y mantenimiento* (Vol. 1). EE.UU.: McGraw-Hill. Obtenido de <https://vdocuments.mx/bombas-seleccion-uso-y-mantenimiento.html>
- Mcleod, H. (1874). Apparatus for measurement of low pressures of gas. *Philosophical Magazine*, *xlvi*.
- Moody, L. (1994). *friction factors for pipe flow*. EE.UU.: Trans.ASME 671-684.
- Ñaupas, H, et al. (2014). *metodologia de la investigacion cientifica*. Mexico: Ediciones de la U.
- Peña, F., & Poveda, O. (2015). *Diseño e implementación de un sistema de control de caudal monitoreado por el software Scada*. Bogotá- Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Rodríguez, P, & Lecuna, A. (2016). *Fundamentods de tubomáquinaria*. España: Universidad Carlos III de Madrid.
- Zamora, B, & Viema, A. (2016). *Definición de Máquinas hidráulicas*. Colombia: Universidad Politécnica Cartajena.

VIII. ANEXO

8.1. FICHA TECNICA

Electrobombas centrífugas

-  Agua limpia
-  Uso doméstico
-  Uso civil



CAMPO DE PRESTACIONES

- Caudal hasta **160 l/min** (9.6 m³/h)
- Altura manométrica hasta **56 m**

LÍMITES DE USO

- Altura de aspiración manométrica hasta **7 m**
- Temperatura del líquido de **-10 °C** hasta **+90 °C**
- Temperatura ambiente hasta **+40 °C**
- Presión máxima en el cuerpo de la bomba:
 - **6 bar** para CP 600-610-620
 - **10 bar** para CP 650-660-670
- Funcionamiento continuo **S1**

EJECUCIÓN Y NORMAS DE SEGURIDAD

EN 60335-1
IEC 60335-1
CEI 61-150

EN 60034-1
IEC 60034-1
CEI 2-3



CERTIFICACIONES

Empresa con sistema de gestión certificado DNV
ISO 9001: CALIDAD

USOS E INSTALACIONES

Son recomendadas para bombear agua limpia, sin partículas abrasivas y líquidos químicamente no agresivos con los materiales que constituyen la bomba.

Por su confiabilidad y simplicidad encuentran un amplio uso en el sector doméstico y civil, particularmente para la distribución del agua acopladas a pequeños o medianos tanques autoclaves, para el vaciado o para la irrigación de huertos o jardines.

La instalación se debe realizar en lugares cerrados, bien aireados y protegidos de la intemperie.

PATENTES - MARCAS - MODELOS

- Marca registrada nº 0001516350  CPm158
- Modelo comunitario registrado nº 002098434

EJECUCIÓN BAJO PEDIDO

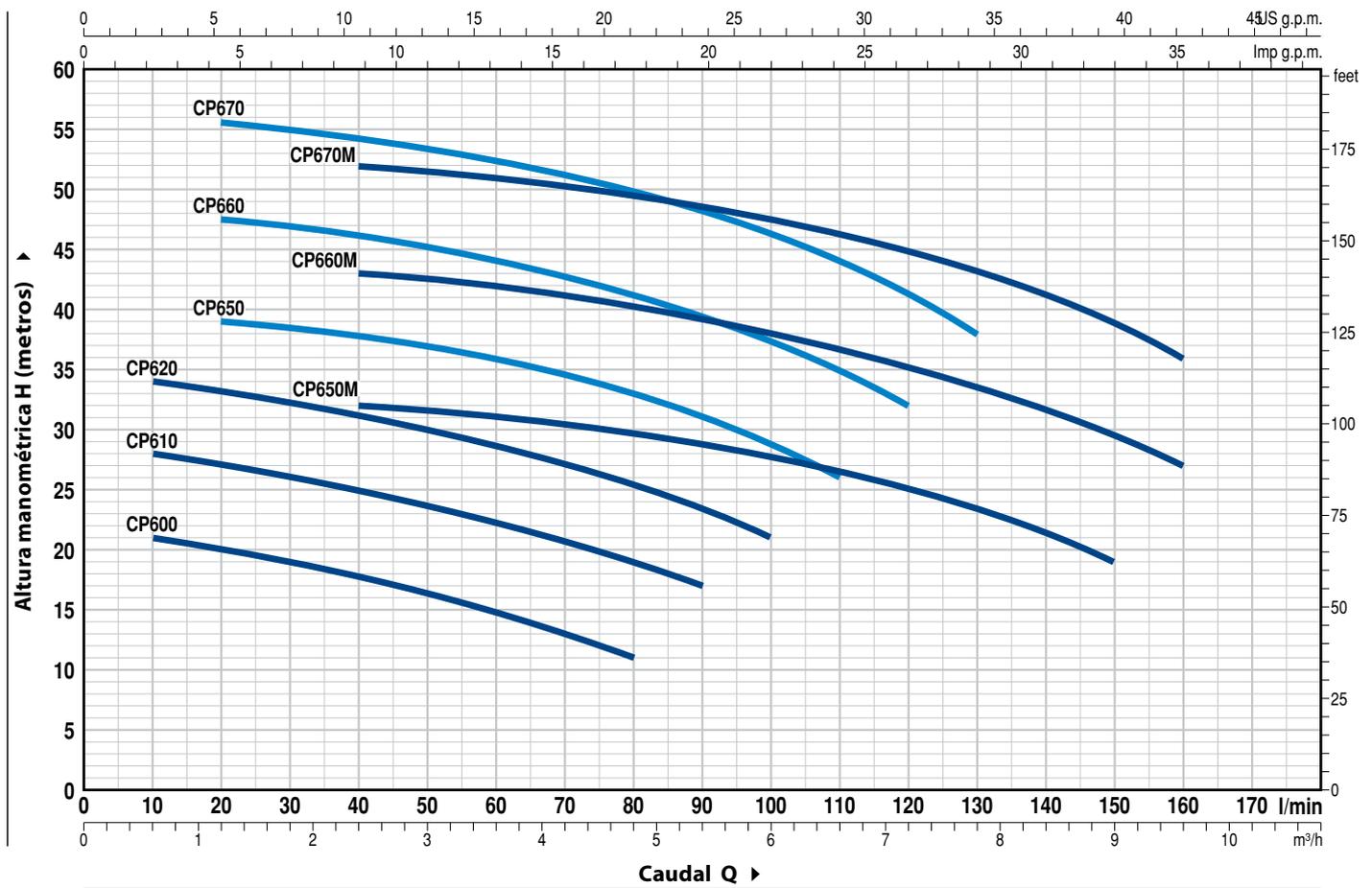
- Sello mecánico especial
- Otros voltajes
- Protección IP X5 para CP 650-660-670

GARANTIA

2 años según nuestras condiciones generales de venta

CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n= 3450 min⁻¹ HS= 0 m



MODELO		POTENCIA (P ₂)			Q	H metros															
Monofásica	Trifásica	kW	HP	▲		m ³ /h	0	0.6	1.2	2.4	3.6	4.8	5.4	6.0	6.6	7.2	7.8	9.0	9.6		
					l/min	0	10	20	40	60	80	90	100	110	120	130	150	160			
CPm 600	CP 600	0.37	0.50	IE2	H metros	22	21	20	18	15	11										
CPm 610	CP 610	0.60	0.85			28.5	28	27	25	22	19	17									
CPm 620	CP 620	0.75	1	35		34	33	31	28.5	25.5	23.5	21									
CPm 650	CP 650	1.1	1.5	40		-	39	38	36	33.1	31.2	28.8	26								
CPm 660	CP 660	1.5	2	48		-	47.5	46	44	41	39.5	37.5	35	32							
CPm 670	CP 670	2.2	3	IE3		56	-	55.5	54.5	52.5	50	48.5	46.5	44	41.5	38					
CPm 650M	CP 650M	1.1	1.5			33	-	-	32	31	30	29	28	26.5	25	23	19				
CPm 660M	CP 660M	1.5	2			44	-	-	43	42	40	39	38	37	35.5	34	29.5	27			
CPm 670M	CP 670M	2.2	3		53	-	-	52	51	49.5	48.5	47.5	46.5	45	43.5	39	36				

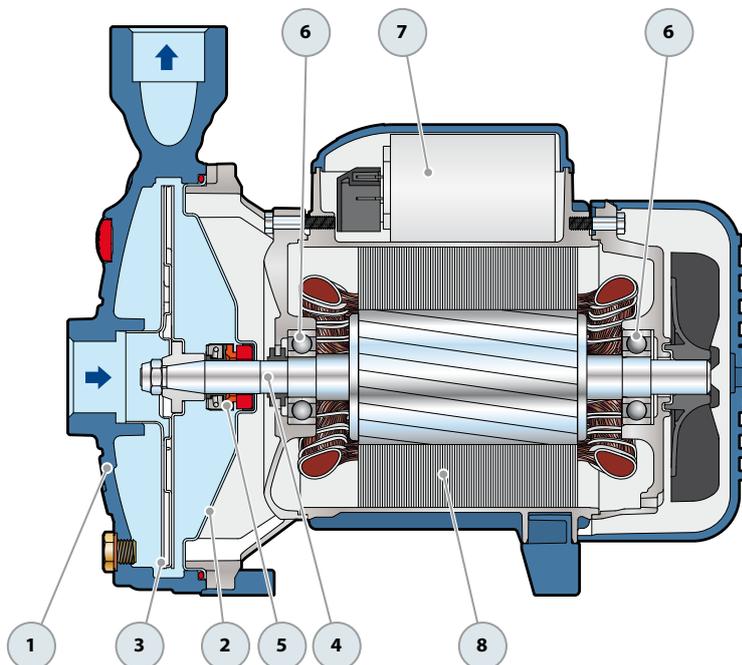
Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.

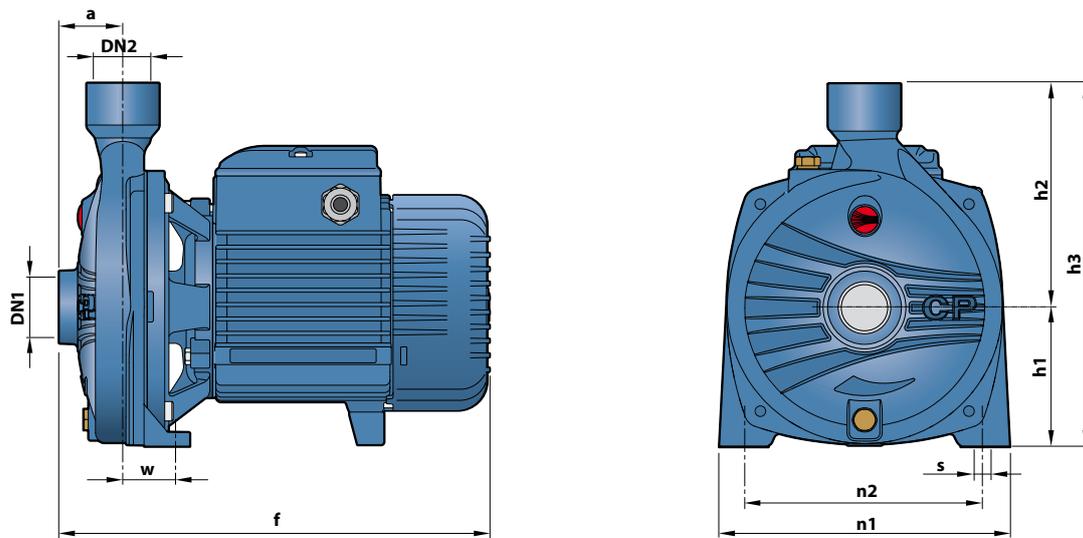
▲ Clase de rendimiento del motor trifásico (IEC 60034-30-1)

POS. COMPONENTE CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

1	CUERPO BOMBA	Hierro fundido con tratamiento de cataforesis con bocas roscadas ISO 228/1				
2	TAPA	Acero inoxidable AISI 304 (en hierro para CP 650-660-670-650M-660M-670M)				
3	RODETE	Acero inoxidable AISI 304				
4	EJE MOTOR	Acero inoxidable AISI 431				
5	SELLO MECANICO	Electrobomba	Sello	Eje	Materiales	
		<i>Modelo</i>	<i>Modelo</i>	<i>Diámetro</i>	<i>Anillo fijo</i>	<i>Anillo móvil</i> <i>Elastómero</i>
		CP 600-610	AR-12	Ø 12 mm	Cerámica	Grafito NBR
		CP 620	AR-14	Ø 14 mm	Cerámica	Grafito NBR
		CP 650-660-670	FN-18	Ø 18 mm	Grafito	Cerámica NBR
		CP 650M-660M-670M				
6	RODAMIENTOS	Electrobomba	Modelo			
		CP 600-610	6201 ZZ / 6201 ZZ			
		CP 620	6203 ZZ / 6203 ZZ			
		CP 650-660-670	6204 ZZ / 6204 ZZ			
		CP 650M-660M-670M				
7	CONDENSADOR	Electrobomba	Capacidad			
		<i>Monofásica</i>	<i>(220 V)</i>	<i>(110 V ó 127 V)</i>		
		CPm 600	10 µF - 450 VL	25 µF - 250 VL		
		CPm 610	14 µF - 450 VL	25 µF - 250 VL		
		CPm 620	20 µF - 450 VL	60 µF - 300 VL		
		CPm 650-650M	25 µF - 450 VL	60 µF - 250 VL		
		CPm 660-660M	31.5 µF - 450 VL	60 µF - 250 VL		
		CPm 670-670M	50 µF - 450 VL	80 µF - 250 VL		
8	MOTOR ELÉCTRICO	<p>CPm: monofásica 220 V - 60 Hz con protección térmica incorporada en el bobinado. CP: trifásica 220/380 V - 60 Hz o 220/440 V - 60 Hz.</p> <p>⇒ Las electrobombas trifásicas están equipadas con motores de alto rendimiento en clase IE2 hasta P₂=0.60 kW y en clase IE3 desde P₂=0.75 kW (IEC 60034-30-1)</p> <p>– Aislamiento: clase F – Protección: IP X4</p>				



DIMENSIONES Y PESOS



MODELO		BOCAS		DIMENSIONES mm									kg	
Monofásica	Trifásica	DN1	DN2	a	f	h3	h1	h2	n1	n2	w	s	1~	3~
CPm 600	CP 600	1"	1"	42	257	205	82	123	165	135	38	11	7.0	7.7
CPm 610	CP 610				286	240	92	148	190	160	37		8.5	7.8
CPm 620	CP 620				367	260	110	150	206	165	44.5		11	17.8
CPm 650 - 650M	CP 650 - 650M	1¼"	1"	51	367/387	260	110	150	206	165	44.5	11	17.8	17.6
CPm 660 - 660M	CP 660 - 660M				18.9								17.9	
CPm 670 - 670M	CP 670 - 670M				20.9								22.5	

CONSUMO EN AMPERIOS

MODELO	TENSIÓN		
	220 V	110 V	127 V
Monofásica			
CPm 600	2.7 A	5.5 A	5.2 A
CPm 610	4.0 A	8.0 A	8.0 A
CPm 620	6.0 A	12.0 A	10.4 A
CPm 650	8.8 A	17.6 A	16.0 A
CPm 650M	8.8 A	17.6 A	16.7 A
CPm 660	9.7 A	20.0 A	16.8 A
CPm 660M	9.7 A	19.0 A	18.4 A
CPm 670	13.2 A	25.0 A	22.9 A
CPm 670M	12.0 A	24.0 A	19.0 A

MODELO	TENSIÓN			
	220 V	380 V	220 V	440 V
Trifásica				
CP 600	1.8 A	1.0 A	2.0 A	1.2 A
CP 610	2.8 A	1.6 A	2.6 A	1.5 A
CP 620	4.2 A	2.4 A	4.2 A	2.4 A
CP 650	7.5 A	4.3 A	5.8 A	3.2 A
CP 650M	7.5 A	4.3 A	5.8 A	3.2 A
CP 660	7.6 A	4.4 A	5.9 A	3.2 A
CP 660M	7.6 A	4.4 A	6.4 A	4.1 A
CP 670	7.5 A	4.3 A	5.8 A	3.2 A
CP 670M	8.6 A	5.0 A	7.8 A	4.5 A

PALETIZADO

MODELO		PARA GRUPAJE	PARA CONTAINER
Monofásica	Trifásica	n° bombas	n° bombas
CPm 600	CP 600	96	144
CPm 610	CP 610	96	144
CPm 620	CP 620	70	112
CPm 650 - 650M	CP 650 - 650M	50	70
CPm 660 - 660M	CP 660 - 660M	50	70
CPm 670 - 670 M	-	50	70
-	CP 670 - 670 M	35	49

8.2. MODULOS INTERACTIVOS



FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA

SEMESTRE ACADEMICO 202__ -

PRACTICA DE LABORATORIO

ENSAYO EXPERIMENTAL N°01 BOMBAS CENTRIFUGAS CONECTADAS EN SERIE

A. Objetivo

- Graficar la curva característica H-Q de bombas centrifugas en serie

B. Equipo

- Dos bombas centrífugas de 1 Hp.
- Sistema de tuberías conectadas en serie y paralelo.
- Accesorios hidráulicos y válvulas de control.
- Manómetro con glicerina de 0 – 100 psi.

C. Teoría

Cuando una única bomba centrifuga puede suministrar el flujo necesario, pero no alcanza la altura de elevación requerida es posible conectar dos bombas en serie.

La energía específica generada por una bomba o sistema de bomba conectada en serie se resume con la siguiente ecuación:

$$\Delta H_t = \frac{\Delta P_t}{\gamma} = \frac{(P_d - P_s)}{\gamma} + \frac{(V_d^2 + V_s^2)}{2g}$$

La potencia hidráulica transferida al fluido:

$$W_h = \gamma Q \Delta h_t = Q \Delta P_t$$

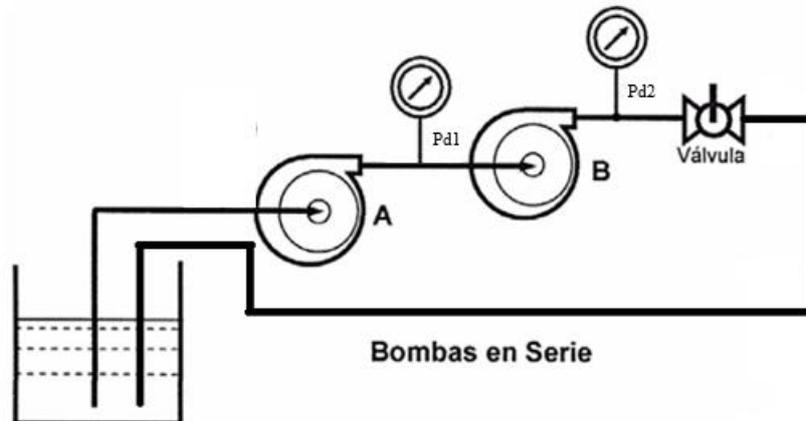
Las características teóricas de un sistema de bombas en serie:

$$\Delta H_{ts} = \sum \Delta H_{ti}$$

$$Q_s = Q_i$$

Figura 1

Bombas



Centrifugas Conectadas en Serie

Nota. Imagen referencial.

D. Procedimiento

1. Accionar las válvulas del módulo interactivo para disponer el circuito hidráulico de bombas centrífugas conectadas en serie.
2. Energizar el tablero de control y pulsar el arranque de las bombas.
3. Se realizará las pruebas experimentales con las válvulas de paso 100% abiertas.
4. Tomar nota de las presiones de descarga (Pd) de cada bomba indicada por los manómetros.
5. Realizar el cierre de manera gradual de la válvula de paso, hasta que esté completamente cerrada.
6. Anote los resultados de operaciones 4 y 5 del procedimiento.

E. Datos experimentales

Tabla 1

Datos Generados por Bombas Centrifugas Conectadas en Serie

ITEM	Volumen (Litros)	Tiempo (Segundos)	Caudal (Q)	Presion (PSI)		Hsist Serie
	L	s	L/s	P1	P2	m
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

Nota. Elaboración propia.

Donde:

Q: Caudal calculado, según configuración en serie.

P1: Presión medida por el manómetro 1 (0 – 100psi).

P2: Presión medida por el manómetro 2 (0 – 100psi).

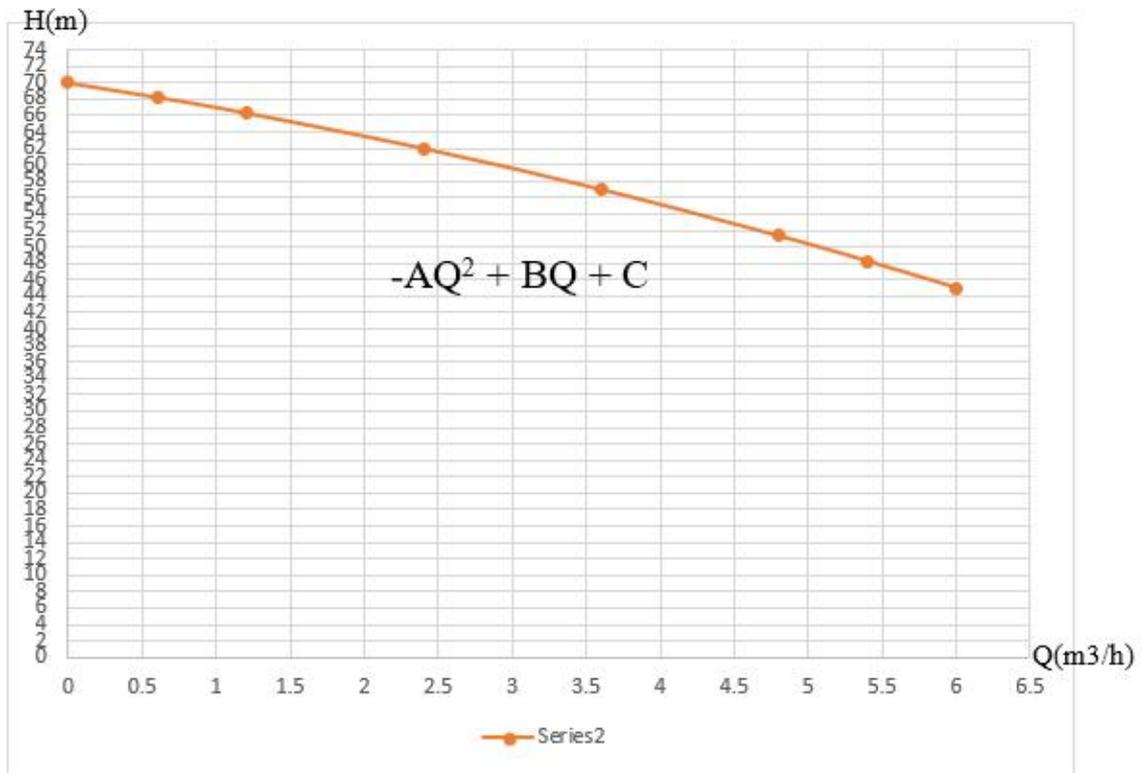
Hserie: Altura de presión generada por bombas conectadas en serie (metros).

Con los datos recolectados de la tabla 01, se desarrollará la gráfica de la curva

H – Q, bombas conectadas en serie.

Figura 2

Ajuste de la Curva del Sistema de Bombas Centrifugas Conectadas en Serie



Nota. Imagen referencial.



FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA
SEMESTRE ACADEMICO 202__ -
PRACTICA DE LABORATORIO

ENSAYO EXPERIMENTAL N°02 BOMBAS CENTRIFUGAS
CONECTADAS EN PARALELO

A. Objetivo

- Graficar la curva característica H-Q de bombas centrifugas en paralelo

B. Equipo

- Dos bombas centrífugas de 1 Hp.
- Sistema de tuberías conectadas en serie y paralelo.
- Accesorios hidráulicos y válvulas de control.
- Manómetro con glicerina de 0 – 100 psi.

C. Teoría

Cuando una única bomba centrifuga puede suministrar el flujo necesario, pero no alcanza la altura de elevación requerida es posible conectar dos bombas en paralelo.

La energía específica generada por una bomba o sistema de bomba conectada en paralelo se resume con la siguiente ecuación:

$$\Delta H_t = \frac{\Delta P_t}{\gamma} = \frac{(P_d - P_s)}{\gamma} + \frac{(V_d^2 + V_s^2)}{2g}$$

La potencia hidráulica transferida al fluido:

$$W_h = \gamma Q \Delta h_t = Q \Delta P_t$$

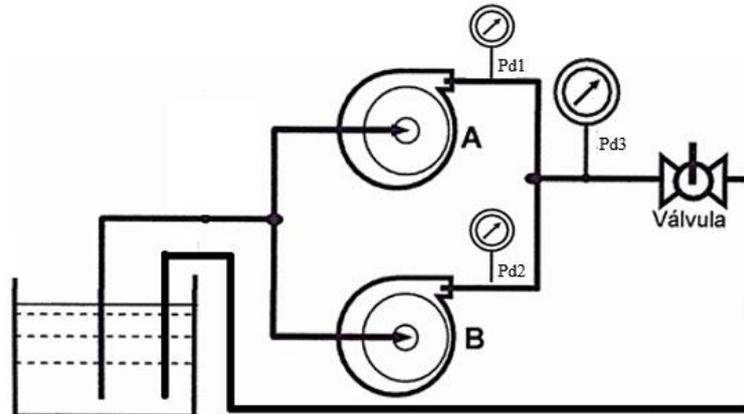
Las características teóricas de un sistema de bombas en paralelo:

$$\Delta H_{ts} = \sum \Delta H_{ti}$$

$$Q_s = Q_i$$

Figura 1

Bombas Centrifugas Conectadas en Paralelo



Nota. Imagen referencial.

D. Procedimiento

1. Accionar las válvulas del módulo interactivo para disponer el circuito hidráulico de bombas centrifugas conectadas en paralelo.
2. Energizar el tablero de control y pulsar el arranque de las bombas.
3. Se realizará las pruebas experimentales con las válvulas de paso 100% abiertas.
4. Tomar nota de las presiones de descarga (Pd) de cada bomba indicada por los manómetros.
5. Realizar el cierre de manera gradual de la válvula de paso, hasta que esté completamente cerrada.
6. Anote los resultados de operaciones 4 y 5 del procedimiento.

E. Datos experimentales

Tabla 1

Datos Generados por Bombas Centrifugas Conectadas en Paralelo

ITEM	Volumen (Litros) L	Tiempo (Segundos) s	Caudal (Q) L/s	Presion (PSI)		Hsist Paralelo m
				P1	P2	
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

Nota. Elaboración propia.

Donde:

Q: Caudal calculado, según configuración en paralelo.

P1: Presión medida por el manómetro 1 (0 – 100psi).

P2: Presión medida por el manómetro 2 (0 – 100psi).

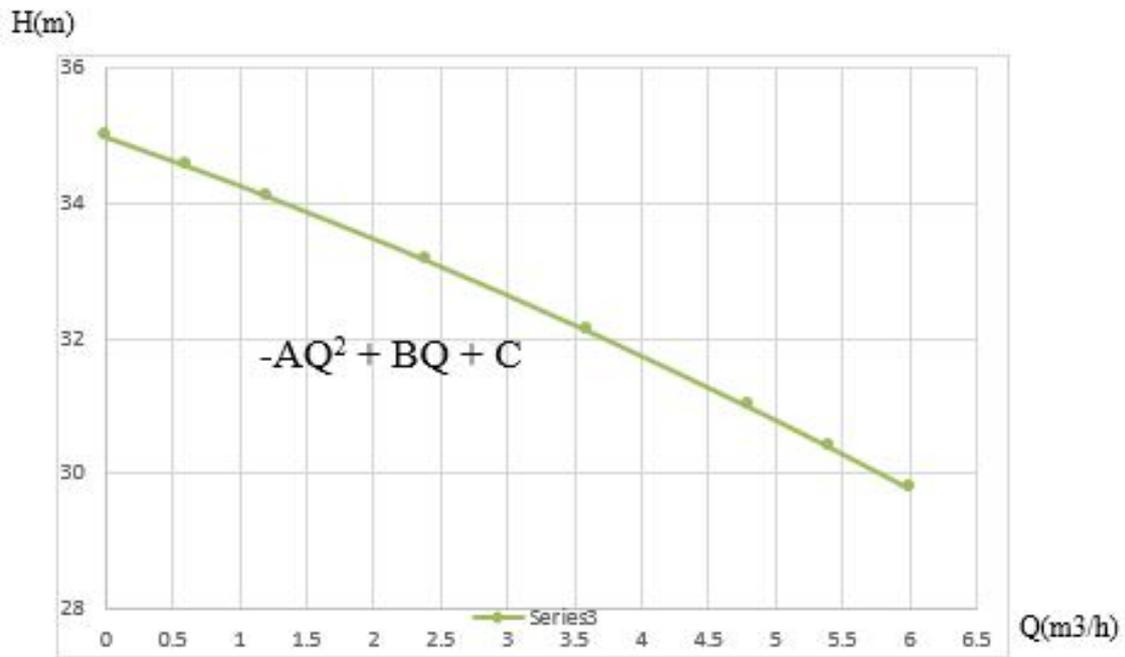
Hparalelo: Altura de presión generada por bombas conectadas en paralelo (metros).

Con los datos recolectados de la tabla 01, se desarrollará la gráfica de la curva

H – Q, bombas conectadas en paralelo.

Figura 2

Ajuste de la Curva del Sistema de Bombas Centrifugas Conectadas en Paralelo



Nota. Imagen referencial.



FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA

SEMESTRE ACADEMICO 202__ -

PRACTICA DE LABORATORIO

ENSAYO EXPERIMENTAL N°03 BOMBAS CENTRIFUGAS CONECTADAS EN SERIE

A. Objetivo

- Graficar la curva del sistema de bombas centrifugas en serie

B. Equipo

- Dos bombas centrífugas de 1 Hp.
- Sistema de tuberías conectadas en serie y paralelo.
- Accesorios hidráulicos y válvulas de control.
- Manómetro con glicerina de 0 – 100 psi.

C. Teoría

Cuando un fluido circula en una tubería o ducto, se producen pérdidas energéticas a causa de la fricción interna del fluido en movimiento, las cuales se conocen como pérdidas primarias, se resume con la siguiente ecuación:

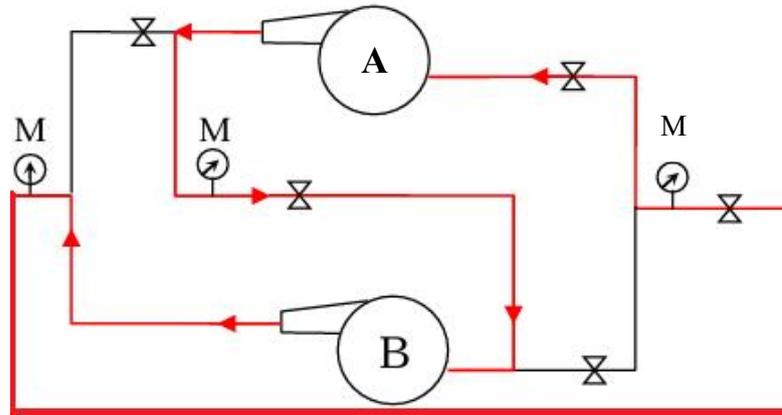
$$Q = AxV$$
$$Re = \frac{VxD}{u}$$
$$h_p = fx \frac{L}{D} x \frac{V^2}{2g}$$

Las pérdidas secundarias suceden cuando se produce una obstrucción en la dirección de fluido como ejemplo una válvula de paso o check, se resume con la siguiente ecuación:

$$h_s = kx \frac{V^2}{2g}$$

Figura 1

Sistema de Tuberías y Accesorios Hidráulicos Instaladas en Bombas Centrifugas Conectadas en Serie



Nota. Imagen referencial.

D. Procedimiento

1. Accionar las válvulas del módulo interactivo para disponer el circuito hidráulico de bombas centrifugas conectadas en serie.
2. Energizar el tablero de control y pulsar el arranque de las bombas.
3. Se realizará las pruebas experimentales con las válvulas de paso 100% abiertas.
4. Tomar nota de las presiones de descarga (P_d) de cada bomba indicada por los manómetros.
5. Realizar el cierre de manera gradual de la válvula de paso, hasta que esté completamente cerrada.
6. Anote los resultados de operaciones 4 y 5 del procedimiento.

E. Datos experimentales

Tabla 1

Datos Generados por Bombas Centrifugas Conectadas en Serie para Determinar Curva del Sistema

Valvula de descarga	Volumen (Litros)	Tiempo (Segundos)	Caudal (Q)	Presion (PSI)		Hsist serie
ITEM	L	s	L/s	P1	P2	m
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

Nota. Elaboración propia.

Donde:

Q: Caudal calculado, según configuración del sistema.

M1: Presión medida por el manómetro 1 (0 – 100psi).

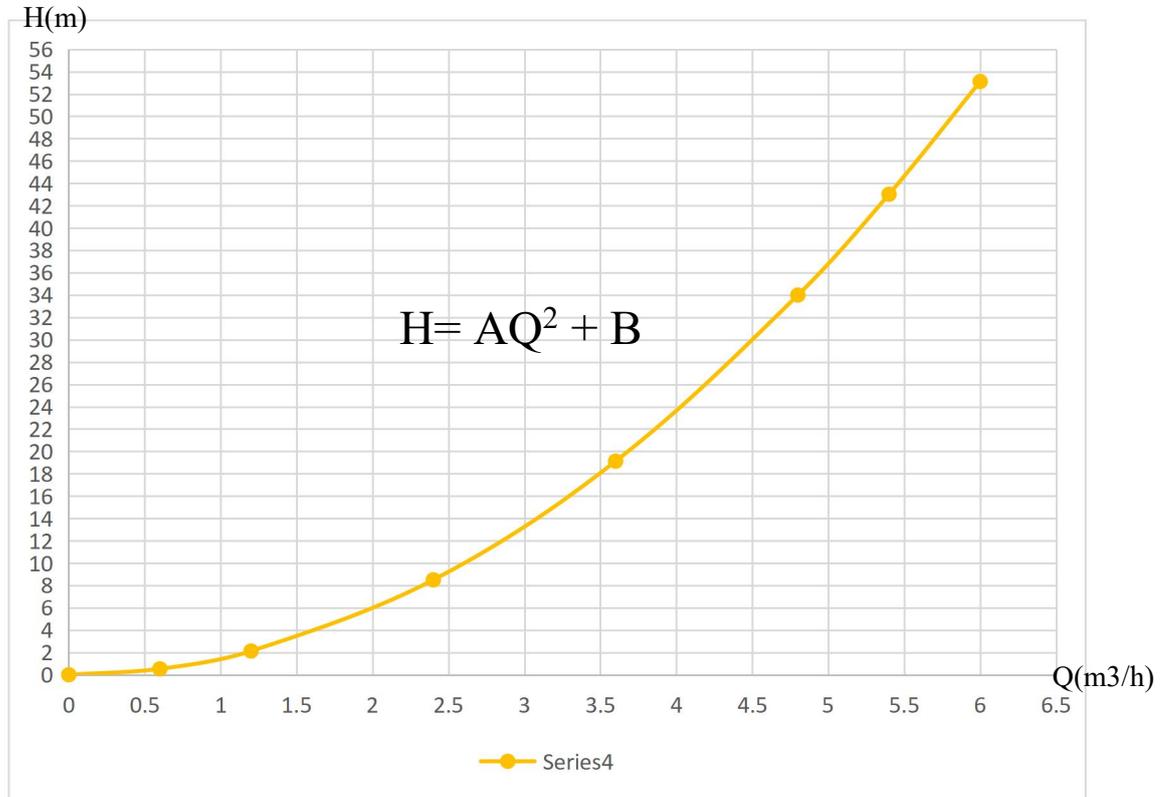
M2: Presión medida por el manómetro 2 (0 – 100psi).

Hsistemaserie: Altura del sistema (metros).

Con los datos recolectados de la tabla 1, se desarrollará la gráfica de la curva del sistema de bombas conectadas en serie.

Figura 2

Ajuste de la Curva del Sistema de Bombas Centrifugas Conectadas en Serie



Nota. Imagen referencial.



FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA

SEMESTRE ACADEMICO 202__ -

PRACTICA DE LABORATORIO

ENSAYO EXPERIMENTAL N°04 BOMBAS CENTRIFUGAS

CONECTADAS EN PARALELO

A. Objetivo

- Graficar la curva del sistema de bombas centrifugas en paralelo

B. Equipo

- Dos bombas centrífugas de 1 Hp.
- Sistema de tuberías conectadas en serie y paralelo.
- Accesorios hidráulicos y válvulas de control.
- Manómetro con glicerina de 0 – 100 psi.

C. Teoría

Cuando un fluido circula en una tubería o ducto, se producen pérdidas energéticas a causa de la fricción interna del fluido en movimiento, las cuales se conocen como pérdidas primarias, se resume con la siguiente ecuación:

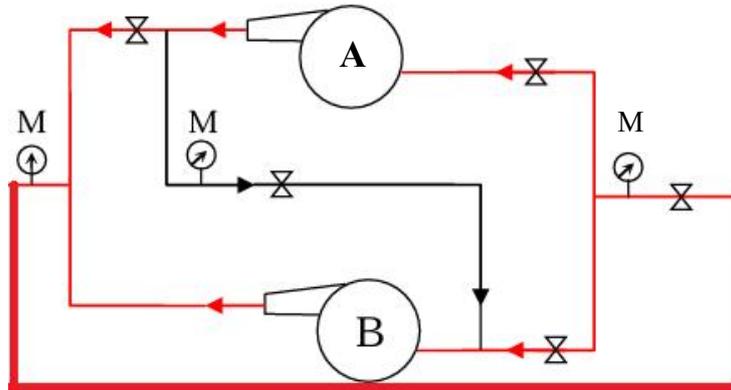
$$Q = AxV$$
$$Re = \frac{VxD}{\mu}$$
$$h_p = fx \frac{L}{D} x \frac{V^2}{2g}$$

Las pérdidas secundarias suceden cuando se produce una obstrucción en la dirección de fluido como ejemplo una válvula de paso o check, se resume con la siguiente ecuación:

$$h_s = kx \frac{V^2}{2g}$$

Figura 1

Sistema de Tuberías y Accesorios Hidráulicos Instaladas en Bombas Centrifugas Conectadas en Paralelo



Nota. Imagen referencial.

D. Procedimiento

1. Accionar las válvulas del módulo interactivo para disponer el circuito hidráulico de bombas centrifugas conectadas en paralelo.
2. Energizar el tablero de control y pulsar el arranque de las bombas.
3. Se realizará las pruebas experimentales con las válvulas de paso 100% abiertas.
4. Tomar nota de las presiones de descarga (Pd) de cada bomba indicada por los manómetros.
5. Realizar el cierre de manera gradual de la válvula de paso, hasta que esté completamente cerrada.
6. Realice las operaciones 4 y 5 del procedimiento.

E. Datos experimentales

Tabla 1

Datos Generados por Bombas Centrifugas Conectadas en Paralelo para Determinar Curva del Sistema

	Volumen (Litros)	Tiempo (Segundos)	Caudal (Q)	Presion (PSI)		Hsist Paralelo
ITEM	L	s	L/s	P1	P2	m
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

Nota. Elaboración propia.

Donde:

Q: Caudal calculado, según configuración en paralelo.

M1: Presión medida por el manómetro 1 (0 – 100psi).

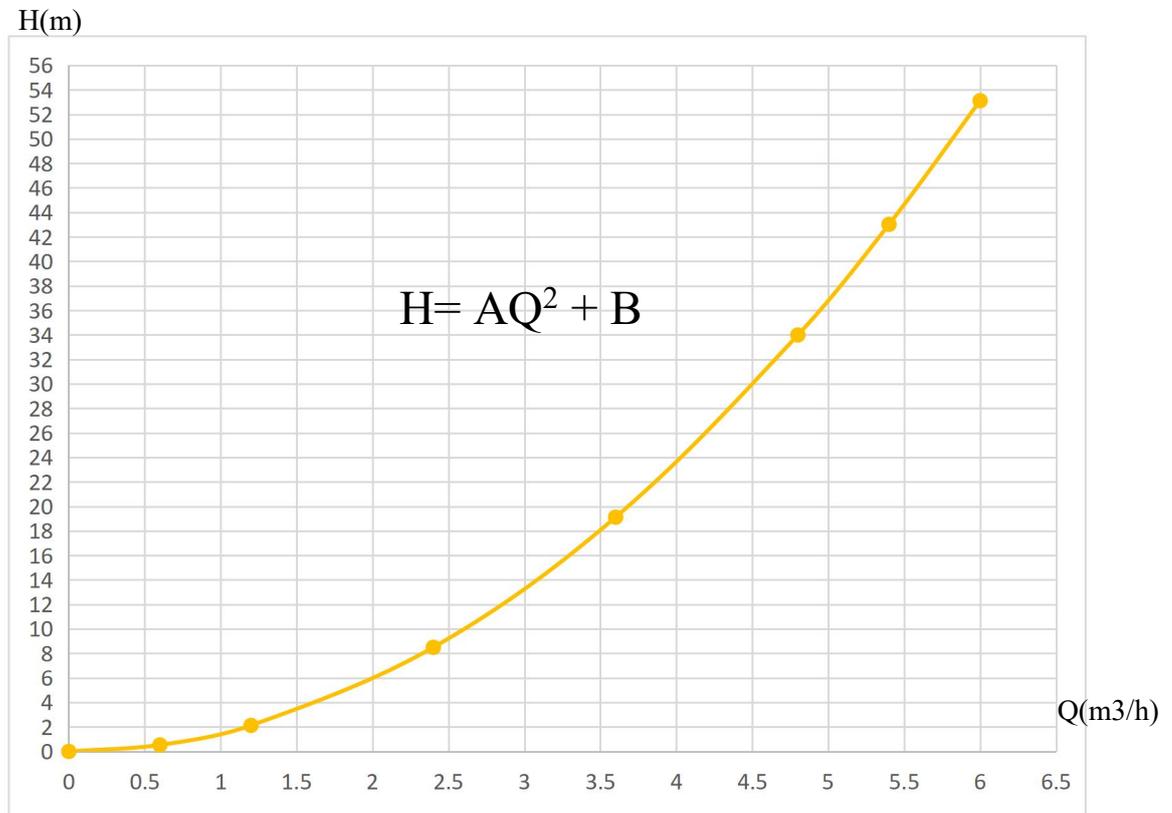
M2: Presión medida por el manómetro 2 (0 – 100psi).

Hsist_{paralelo}: Altura del sistema (metros).

Con los datos recolectados de la tabla 1, se desarrollará la gráfica de la curva del sistema de bombas conectadas en paralelo.

Figura 2

Ajuste de la Curva del Sistema de Bombas Centrifugas Conectadas en Paralelo



Nota. Imagen referencial.



FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA

SEMESTRE ACADEMICO 202__ -

PRACTICA DE LABORATORIO

ENSAYO EXPERIMENTAL N°05 BOMBAS CENTRIFUGAS

CONECTADAS EN SERIE

A. Objetivo

- Establecer el punto óptimo de funcionamiento de dos bombas centrífugas en serie

B. Equipo

- Dos bombas centrífugas de 1 Hp.
- Sistema de tuberías conectadas en serie y paralelo.
- Accesorios hidráulicos y válvulas de control.
- Manómetro con glicerina de 0 – 100 psi.

C. Teoría

El nivel de operación ideal para dos bombas conectadas en serie es el punto en donde el caudal y su correspondiente altura manométrica genera que el sistema de bombeo opere de manera eficaz, se resume con la siguiente ecuación:

La curva característica $H - Q$ correspondiente de las bombas centrífugas instaladas en serie:

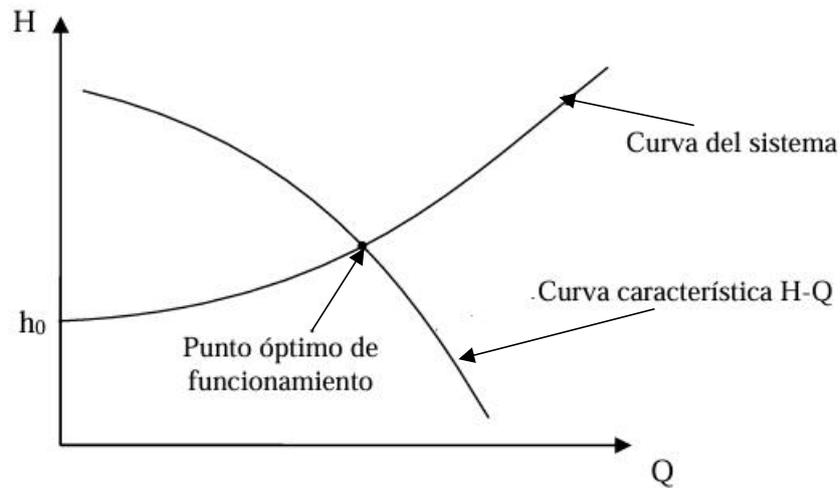
$$H = a + bQ^2$$

La curva del sistema de las bombas centrífugas instaladas en serie:

$$H_s = c + dQ^2.$$

Figura 1

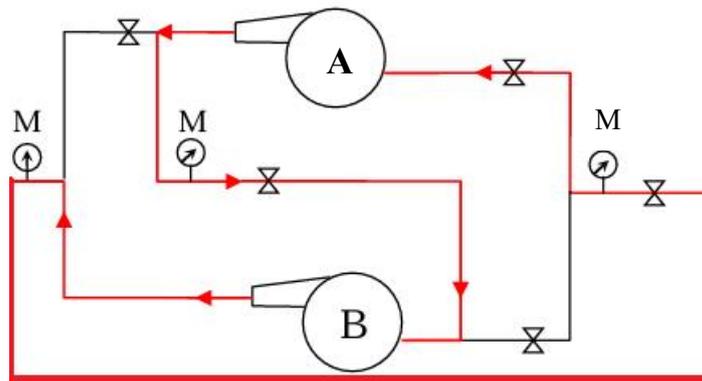
Punto Óptimo de Funcionamiento de Bombas Centrifugas Conectadas en Serie



Nota. Imagen referencial.

Figura 2

Sistema de Tuberías y Accesorios Hidráulicos Instaladas en Bombas Centrifugas Conectadas en Serie



Nota. Imagen referencial.

D. Procedimiento

1. Accionar las válvulas del módulo interactivo para disponer el circuito hidráulico de bombas centrifugas conectadas en serie.
2. Energizar el tablero de control y pulsar el arranque de las bombas.
3. Se realizará las pruebas experimentales con las válvulas de paso 100% abiertas.
4. Tomar nota de las presiones de descarga (Pd) de cada bomba indicada por los manómetros.
5. Realizar el cierre de manera gradual de la válvula de paso, hasta que esté completamente cerrada.
6. Anote los resultados de operaciones 4 y 5 del procedimiento.

E. Datos experimentales

Tabla 1

Datos Generados por Bombas Centrifugas Conectadas en Serie para Determinar Curva del Sistema

ITEM	Volumen (Litros)	Tiempo (Segundos)	Caudal (Q)	Presion (PSI)		Hsist	HSerie
	L	s	L/s	P1	P2	m	m
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

Nota. Elaboración propia.

Donde:

Q: Caudal calculado, según configuración en serie.

P1: Presión medida por el manómetro 1 (0 – 100psi).

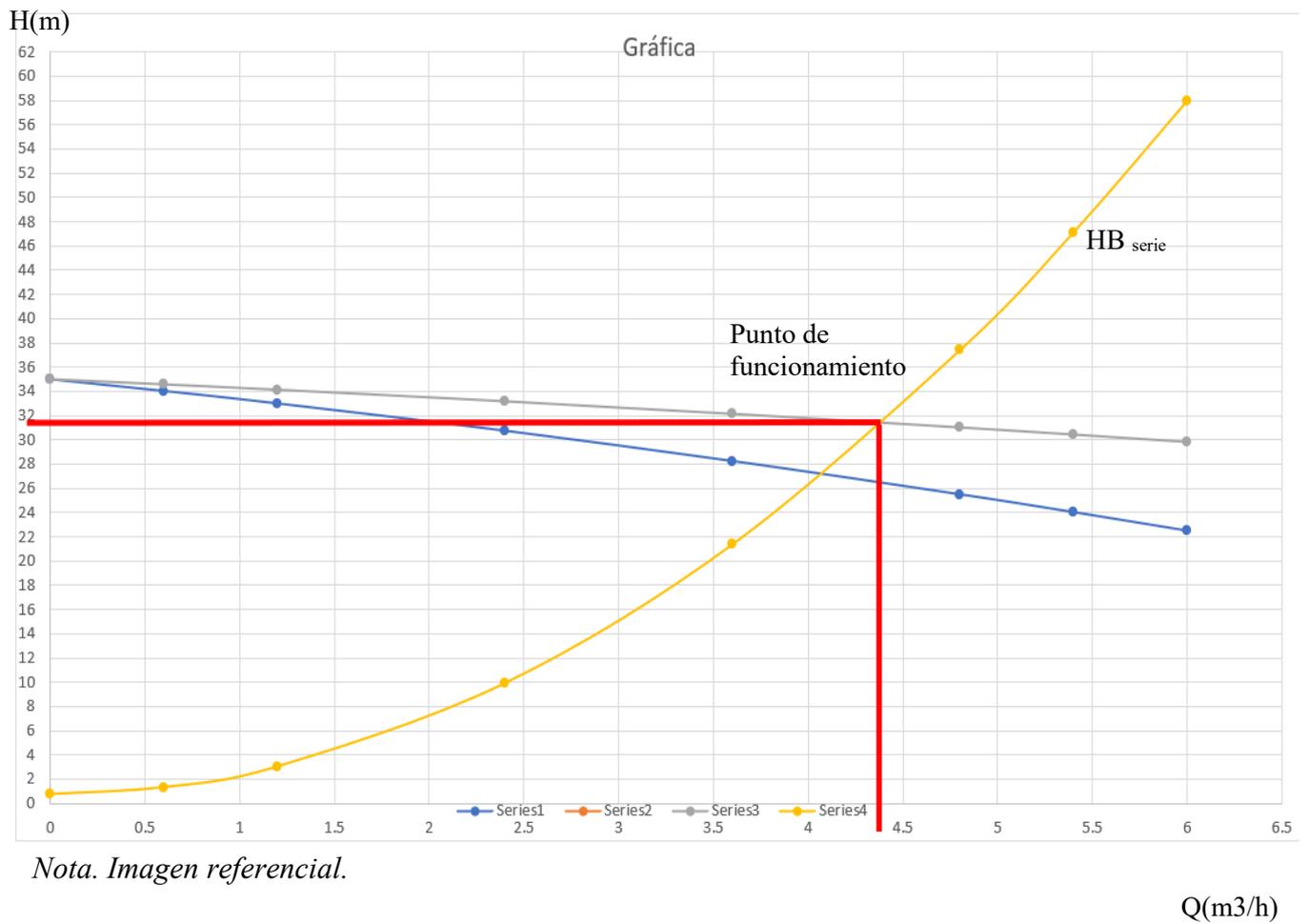
P2: Presión medida por el manómetro 2 (0 – 100psi).

Hserie: Altura del sistema (metros).

Con los datos recolectados de la tabla 1, se desarrollará la gráfica de la curva del sistema de bombas conectadas en serie.

Figura 3

Punto de funcionamiento de las bombas conectadas en serie



Nota. Imagen referencial.



FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA
SEMESTRE ACADEMICO 202__ -
PRACTICA DE LABORATORIO

ENSAYO EXPERIMENTAL N°06 BOMBAS CENTRIFUGAS
CONECTADAS EN PARALELO

A. Objetivo

- Establecer el punto óptimo de funcionamiento de dos bombas centrífugas en paralelo

B. Equipo

- Dos bombas centrífugas de 1 Hp.
- Sistema de tuberías conectadas en paralelo.
- Accesorios hidráulicos y válvulas de control.
- Manómetro con glicerina de 0 – 100 psi.

C. Teoría

El nivel de operación ideal para dos bombas conectadas en paralelo es el punto en donde el caudal y su correspondiente altura manométrica genera que el sistema de bombeo opere de manera eficaz, se resume con la siguiente ecuación:

La curva característica $H - Q$ correspondiente de las bombas centrífugas instaladas en paralelo:

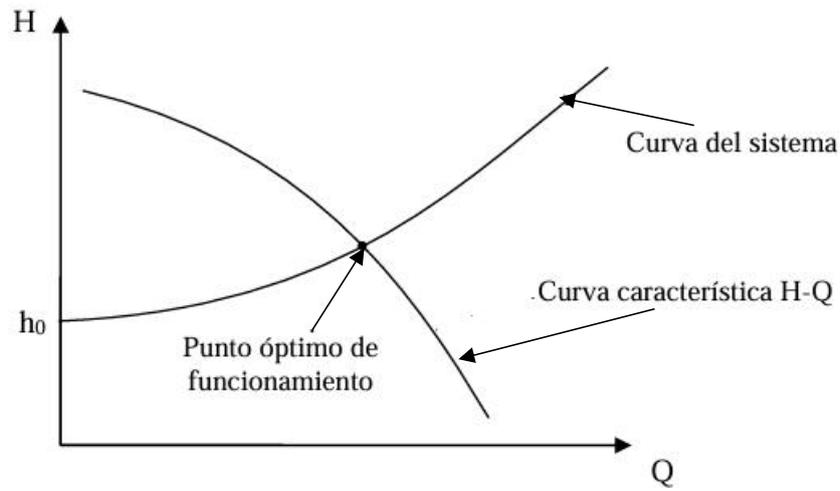
$$H = a + bQ^2$$

La curva del sistema de las bombas centrífugas instaladas en paralelo:

$$H_s = c + dQ^2.$$

Figura 1

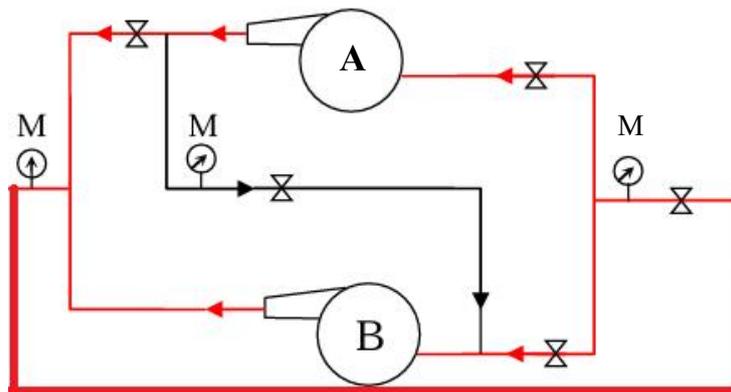
Punto Óptimo de Funcionamiento de Bombas Centrifugas Conectadas en Paralelo



Nota. Imagen referencial.

Figura 2

Sistema de Tuberías y Accesorios Hidráulicos Instaladas en Bombas Centrifugas Conectadas en Paralelo



Nota. Imagen referencial.

D. Procedimiento

1. Accionar las válvulas del módulo interactivo para disponer el circuito hidráulico de bombas centrifugas conectadas en paralelo.
2. Energizar el tablero de control y pulsar el arranque de las bombas.
3. Se realizará las pruebas experimentales con las válvulas de paso 100% abiertas.
4. Tomar nota de las presiones de descarga (Pd) de cada bomba indicada por los manómetros.
5. Realizar el cierre de manera gradual de la válvula de paso, hasta que esté completamente cerrada.
6. Realice las operaciones 4 y 5 del procedimiento.

E. Datos experimentales

Tabla 1

Datos Generados por Bombas Centrifugas Conectadas en Paralelo para Determinar Curva del Sistema

	Volumen (Litros)	Tiempo (Segundos)	Caudal (Q)	Presion (PSI)		Hsist	HParalelo
ITEM	L	s	L/s	P1	P2	m	m
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

Nota. Elaboración propia.

Donde:

Q: Caudal calculado, según configuración en paralelo.

M1: Presión medida por el manómetro 1 (0 – 100psi).

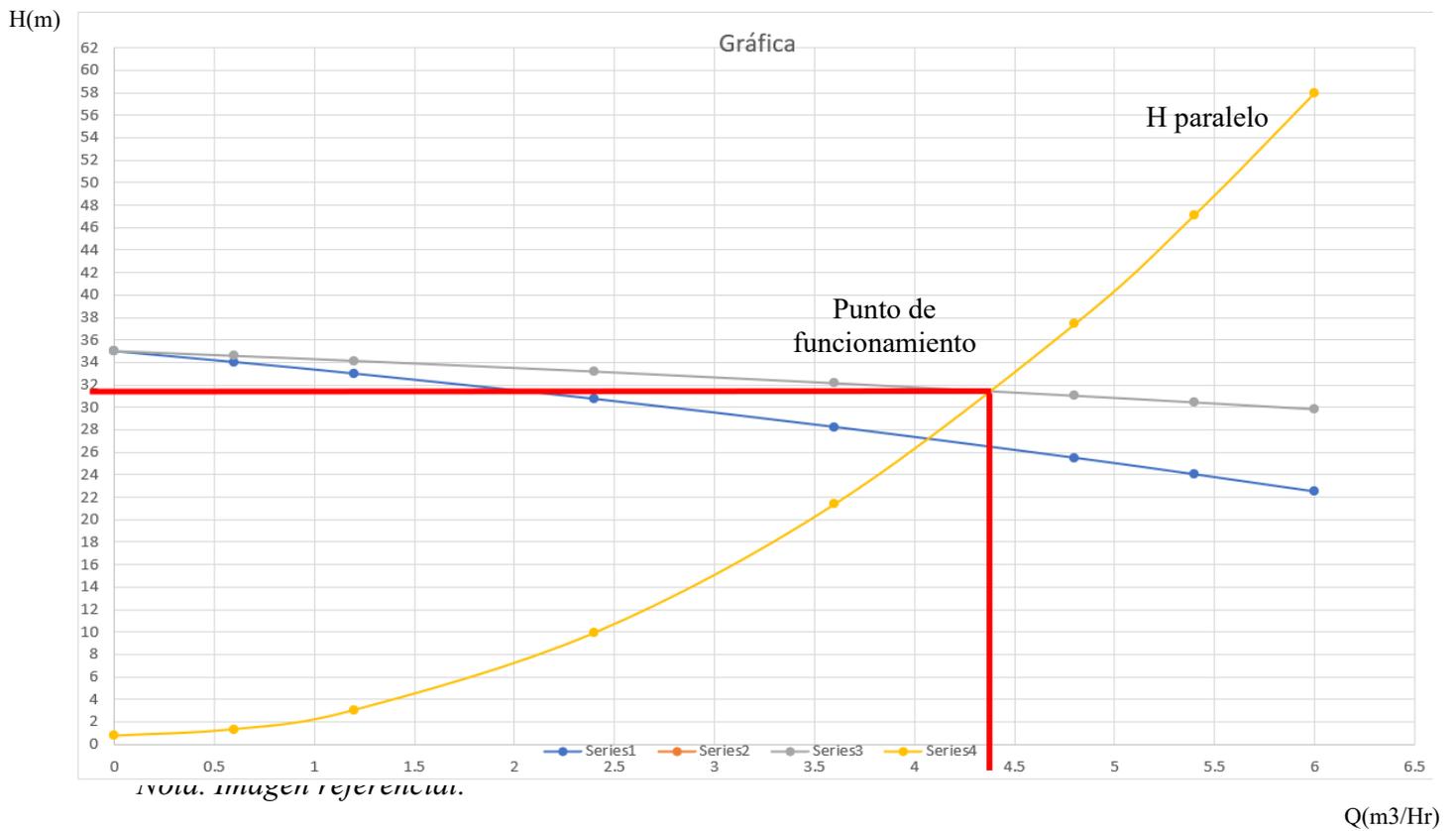
M2: Presión medida por el manómetro 2 (0 – 100psi).

H_{paralelo}: Altura del sistema (metros).

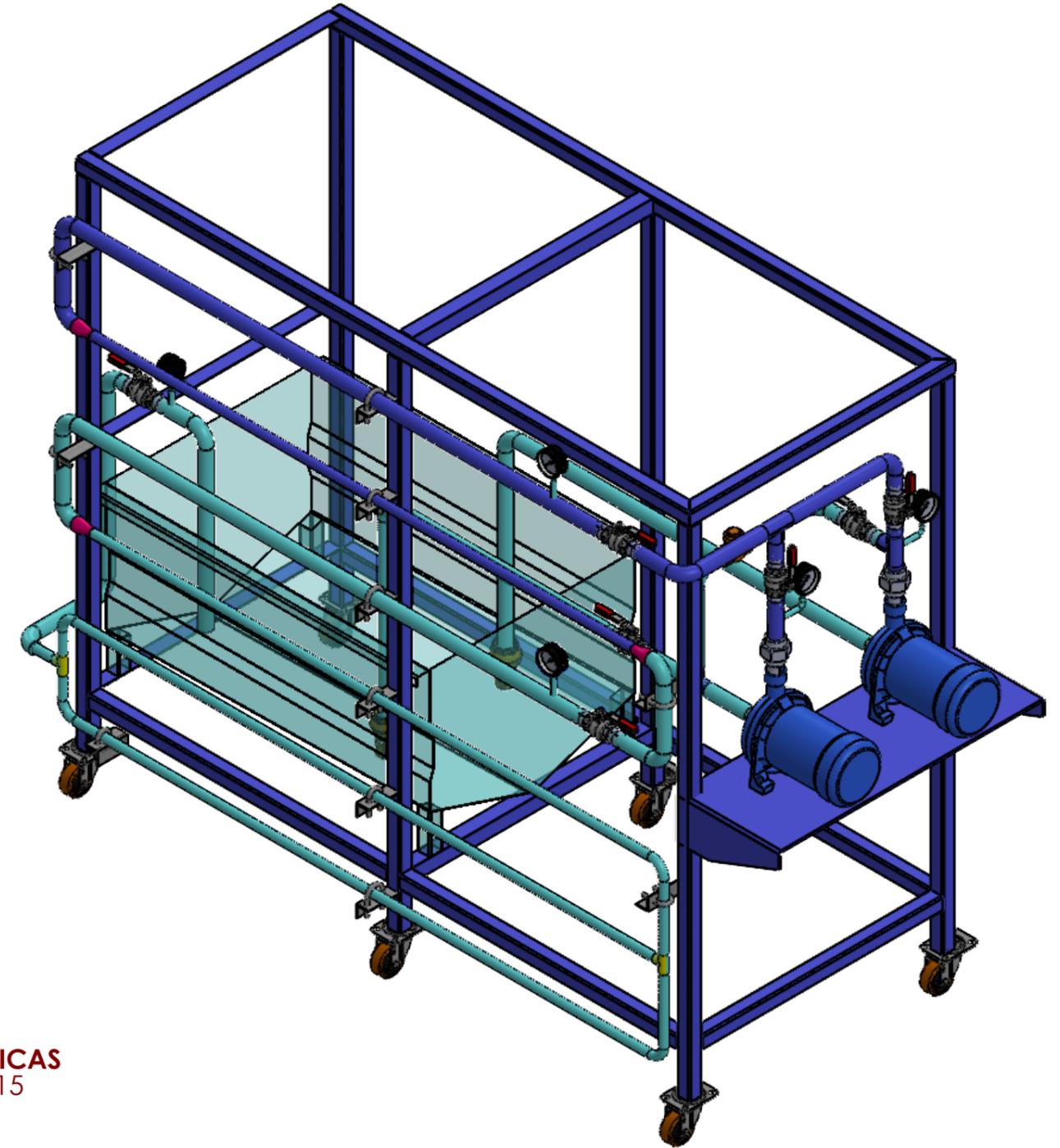
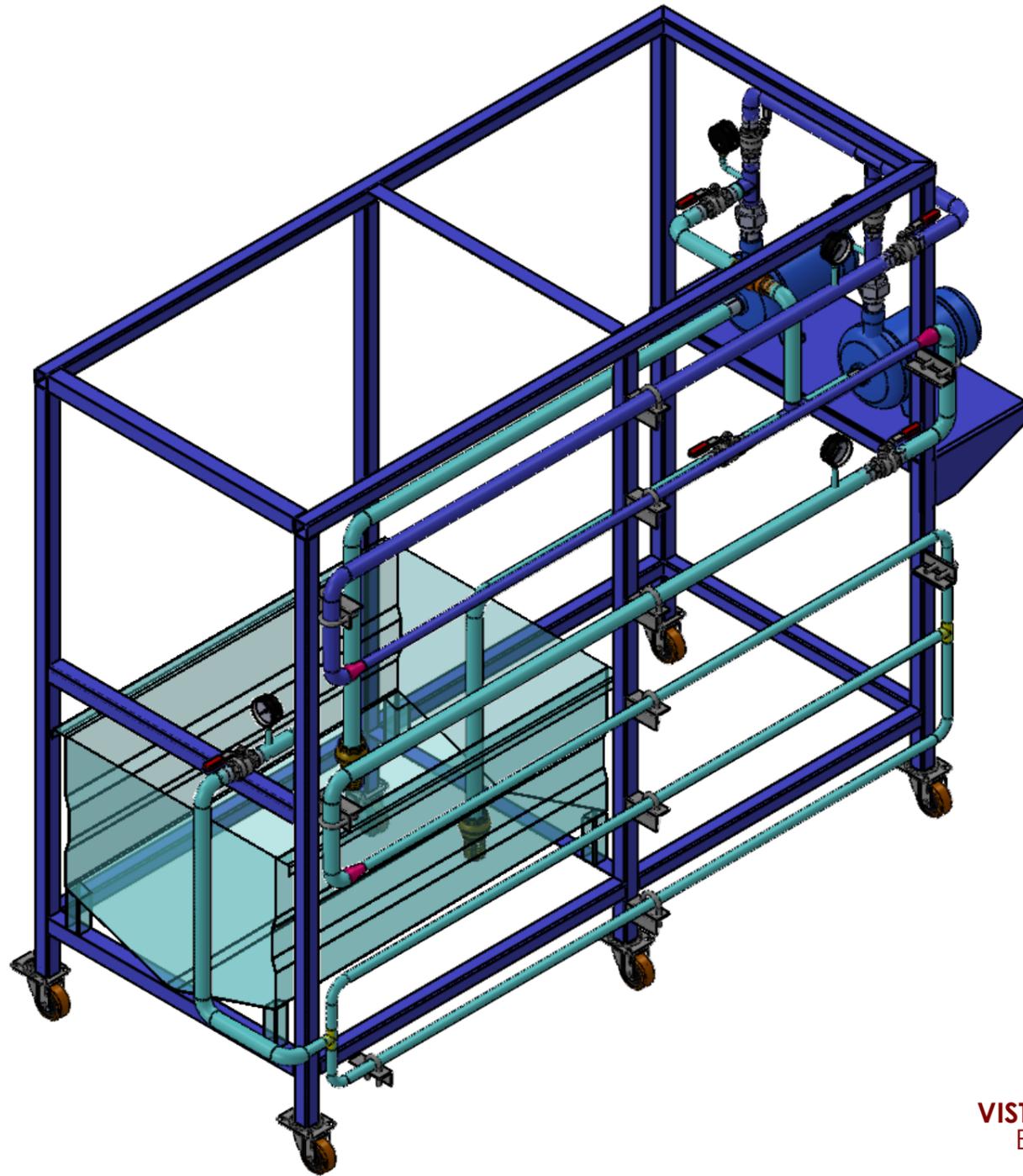
Con los datos recolectados de la tabla 1, se desarrollará la gráfica de la curva del sistema de bombas conectadas en paralelo

Figura 3

Punto de Operación de Bombas Centrifugas Conectadas en Paralelo

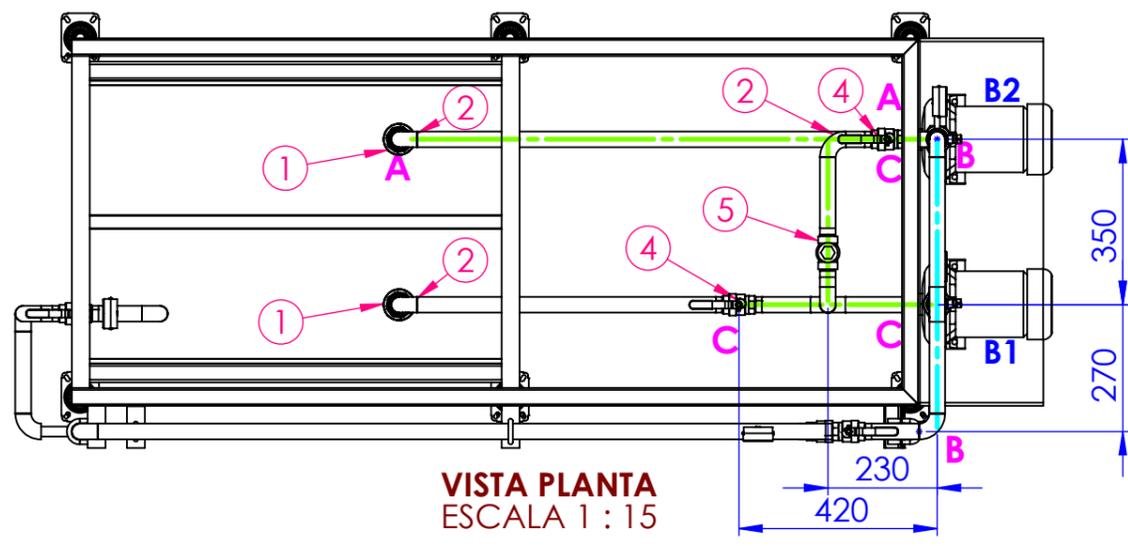


8.3. PLANOS



VISTA ISOMETRICAS
ESCALA 1 : 15

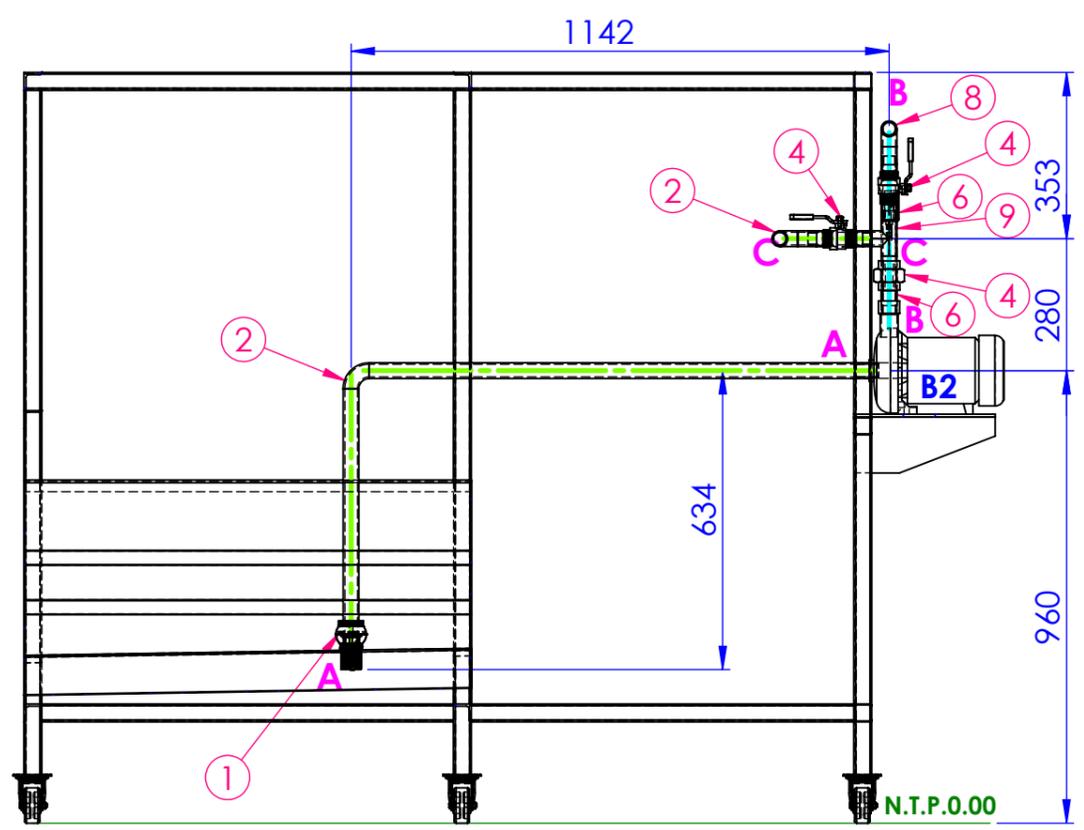
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA		LONGITUD	min	0	6	30	120	315	1000	2000	4000	8000	12000	15000	TAMAÑO DE FORMATO:
		max	6	30	120	315	1000	2000	4000	8000	12000	15000			A3
		TOLERANCIA (mm)	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2	±3	±4	±5			FECHA DE REALIZACION:
	ESCUELA PROFESIONAL:	CLASE DE RUGOSIDAD	N12	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1	08/10/2024
	INGENIERIA MECANICA	VALOR DE LA RUGOSIDAD (MICRAS)	50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	.05	.025	
DIBUJADO :	REVISADO :	Escala :	NOMBRE:												
KAC	NEE	1:15	DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN MODULO INTERACTIVO, DE UN SISTEMA DE BOMBAS CENTRIFUGAS INSTALADOS EN SERIE Y PARALELO												
														NUMERO DE PLANO:	
														1 de 6	



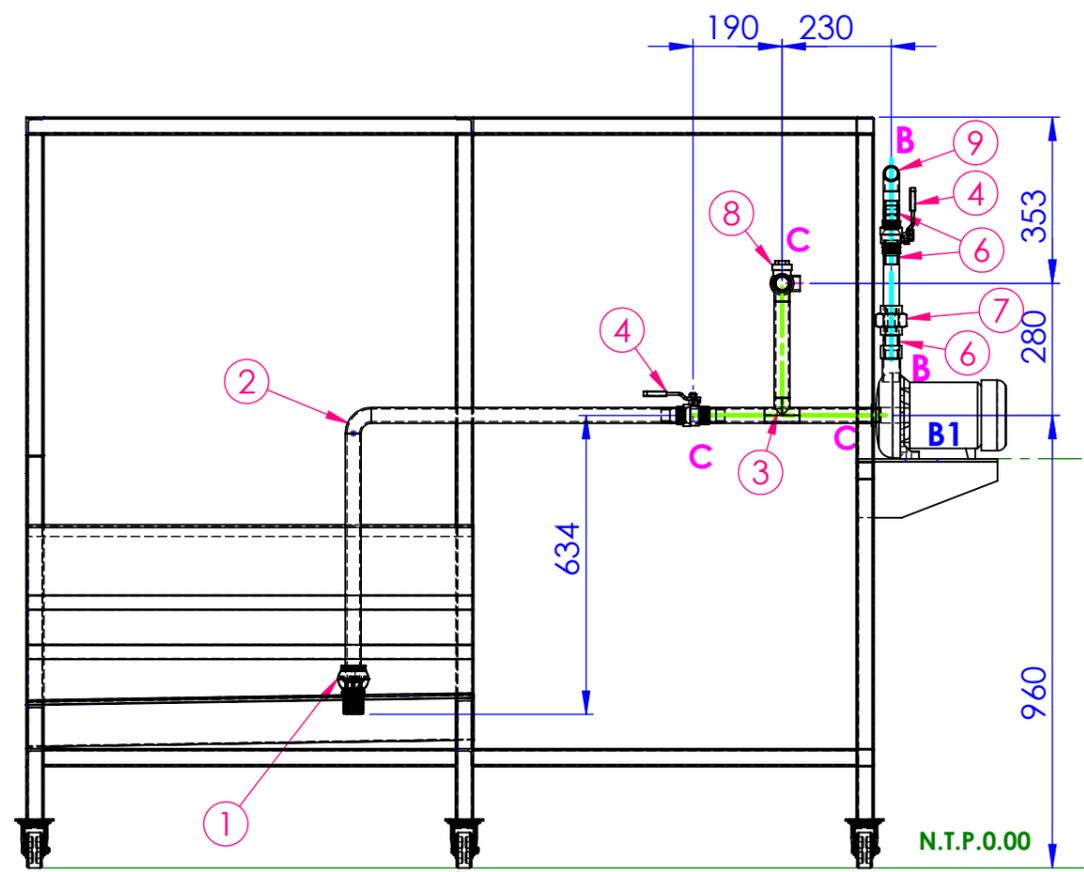
VISTA PLANTA
ESCALA 1 : 15

SUCCION - DESCARGA BOMBAS CONECTADAS EN SERIE

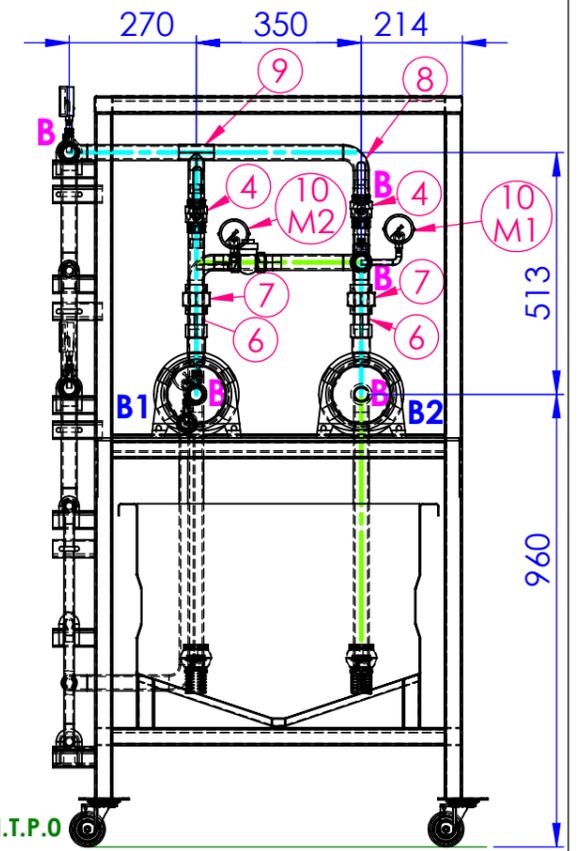
LEYENDA - BOMBAS CONECTADAS EN SERIE	
	Tuberia Inoxidable
	Tuberia F.Negro
TRAMO A-A	Succion Bomba 2
TRAMO B-B	Red Sistema de Tuberia - Descarga ASTM A53 1"
TRAMO C-C	Impulsor Bomba N°2 a Succión Bomba N°1



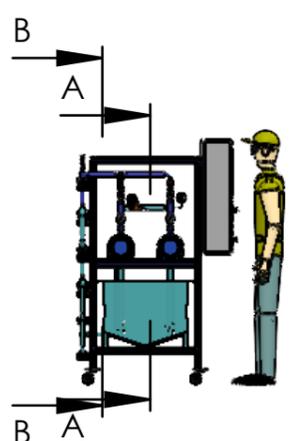
SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 15



SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 15

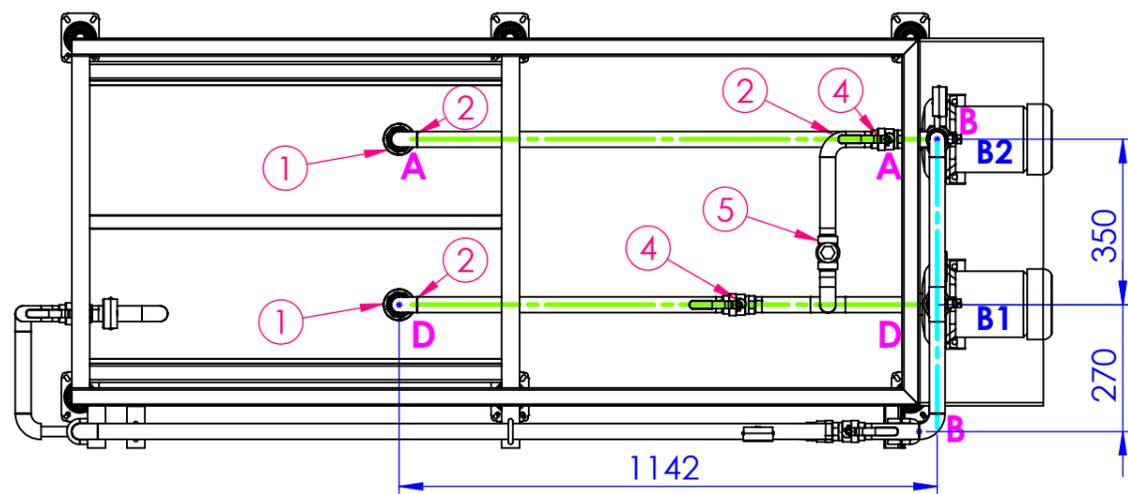


VISTA LATERAL
ESCALA 1 : 15



ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION	MATERIAL
01	2	Valvula de pie 1"	Inoxidable 304
02	4	Codo 1" - Soldable	Inoxidable 304
03	1	Tee 1" - Soldable	Inoxidable 304
04	3	Valvula de bola 1"	Inoxidable 304
05	1	Valvula antiretorno 1" - Roscable	F.Negro
06	8	Niple 1"x2"	F.Negro
07	2	Union universal	F.Negro
08	1	Codo 1" - Roscable	F.Negro
09	2	Tee 1" - Roscable	F.Negro
10	2	Manometro	-

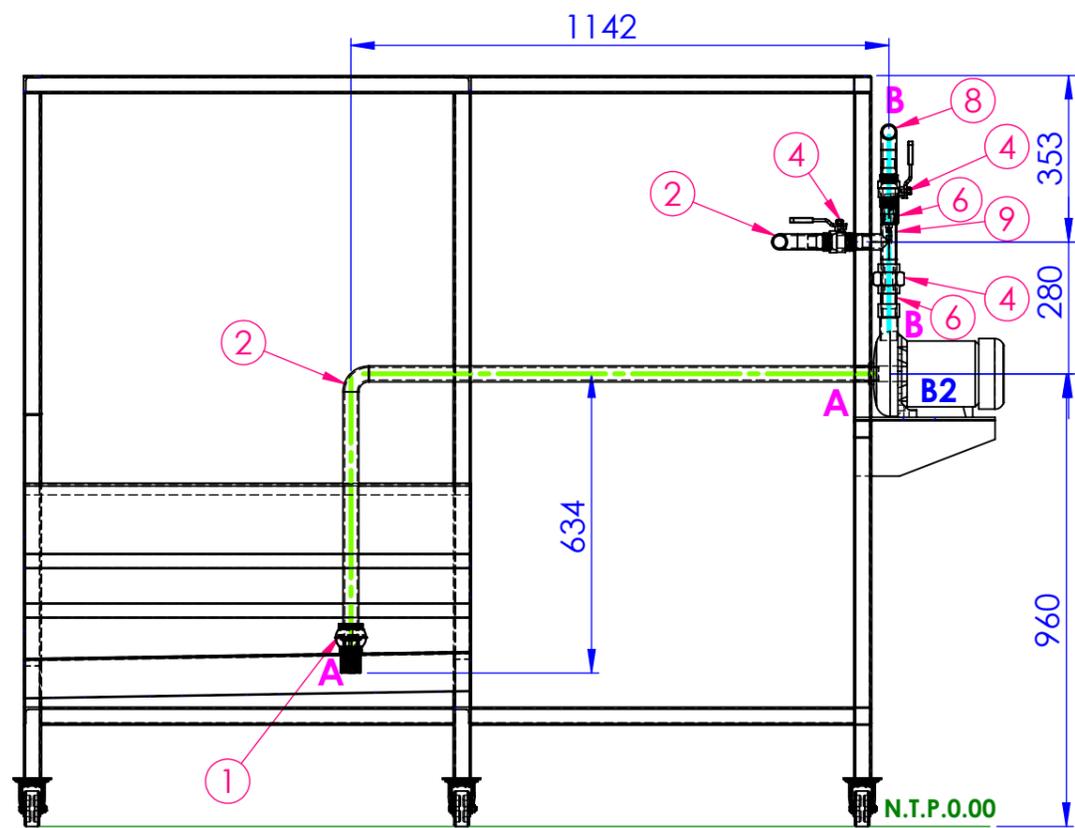
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA	LONGITUD	min	0	6	30	120	315	1000	2000	4000	8000	12000	TAMAÑO DE FORMATO: A3
	max	6	30	120	315	1000	2000	4000	8000	12000	15000		
	TOLERANCIA (mm)	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2	±3	±4	±5	FECHA DE REALIZACION: 08/10/2024	
	CLASE DE RUGOSIDAD	N12	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3		N2
	VALOR DE LA RUGOSIDAD (MICRAS)	50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	.05	.025
DIBUJADO : KAC	REVISADO : NEE	Escala : 1:5	NOMBRE: DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN MODULO INTERACTIVO, DE UN SISTEMA DE BOMBAS CENTRIFUGAS INSTALADOS EN SERIE Y PARALELO										NUMERO DE PLANO: 2 de 6



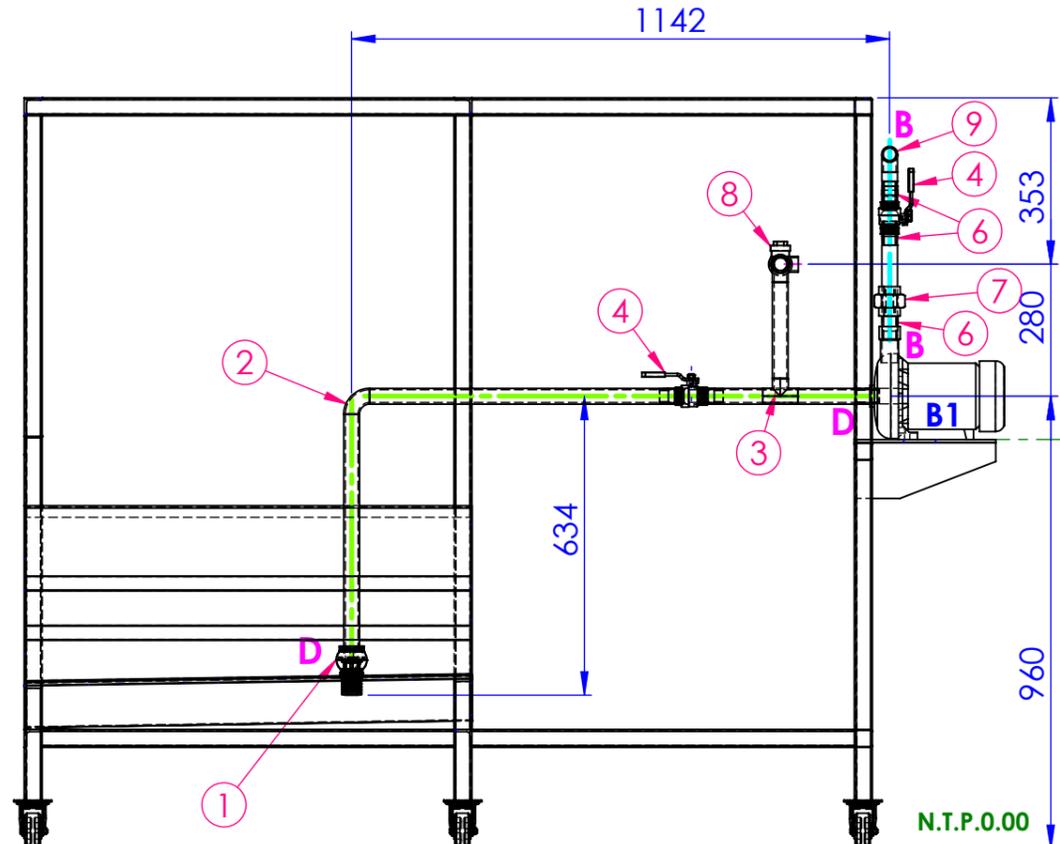
VISTA PLANTA
ESCALA 1 : 15

LEYENDA - BOMBAS CONECTADAS EN PARALELO	
	Tuberia Inoxidable
	Tuberia F.Negro
TRAMO A-A	Succion Bomba 2
TRAMO B-B	Red Sistema de Tuberia - Descarga ASTM A53 1"
TRAMO D-D	Succion Bomba 1

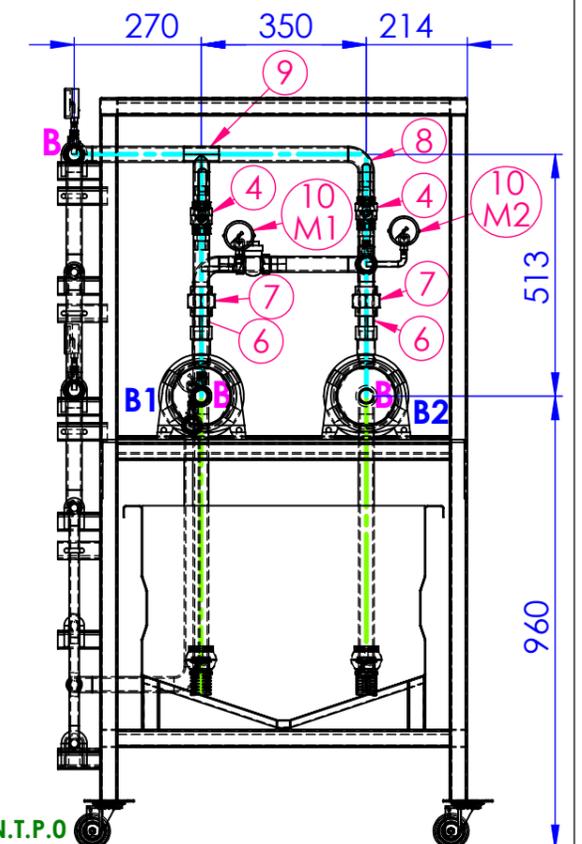
SUCCION - DESCARGA BOMBAS CONECTADAS EN PARALELO



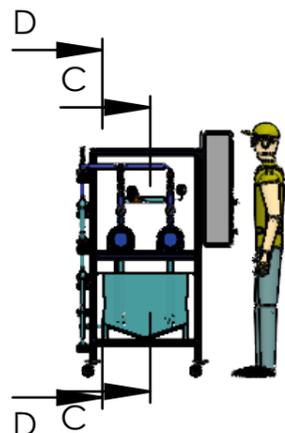
SECCIÓN C-C
ESCALA 1 : 15



SECCIÓN D-D
ESCALA 1 : 15



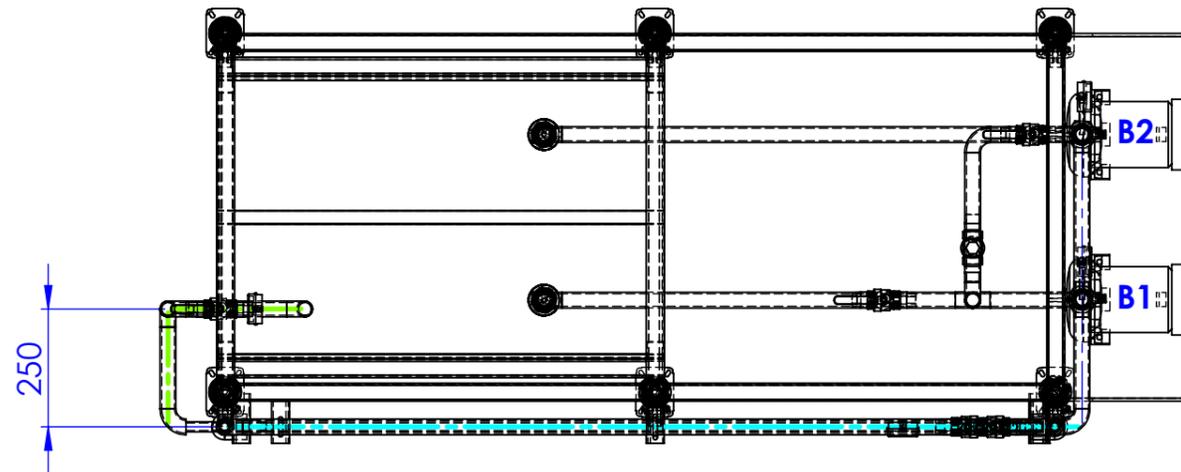
VISTA LATERAL
ESCALA 1 : 15



ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION	MATERIAL
01	2	Valvula de pie 1"	Inoxidable 304
02	4	Codo 1" - Soldable	Inoxidable 304
03	1	Tee 1" - Soldable	Inoxidable 304
04	3	Valvula de bola 1"	Inoxidable 304
05	1	Valvula antiretorno 1" - Roscable	F.Negro
06	8	Niple 1"x2"	F.Negro
07	2	Union universal	F.Negro
08	1	Codo 1" - Roscable	F.Negro
09	2	Tee 1" - Roscable	F.Negro
10	2	Manometro	-

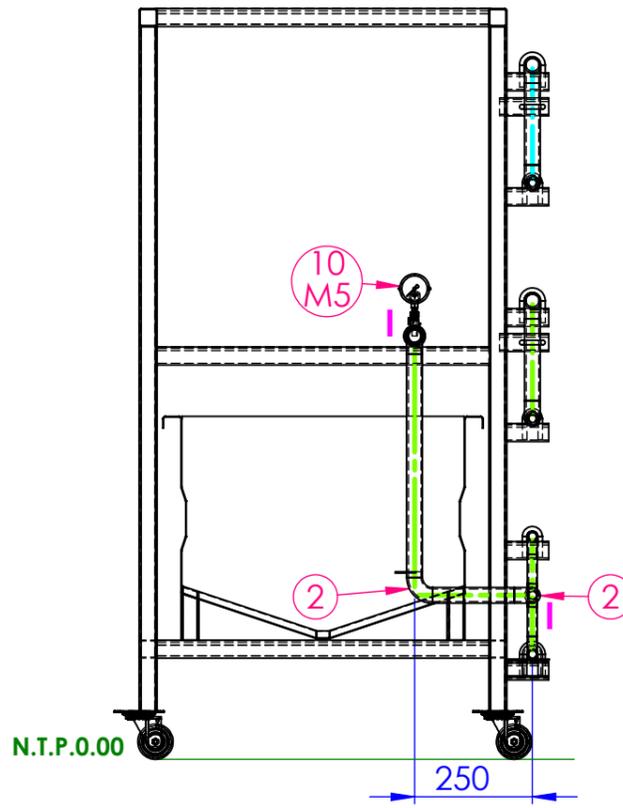
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA	LONGITUD	min	0	6	30	120	315	1000	2000	4000	8000	12000	15000	TAMAÑO DE FORMATO:
	max	6	30	120	315	1000	2000	4000	8000	12000	15000		A3	
	TOLERANCIA (mm)	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2	±3	±4	±5			FECHA DE REALIZACION:
	CLASE DE RUGOSIDAD	N12	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1	08/10/2024
	VALOR DE LA RUGOSIDAD (MICRAS)	50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	.05	.025	NUMERO DE PLANO:
	DIBUJADO :	KAC	REVISADO :	NEE	Escala :	1:5	NOMBRE: DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN MODULO INTERACTIVO, DE UN SISTEMA DE BOMBAS CENTRIFUGAS INSTALADOS EN SERIE Y PARALELO						3 de 6	

IMPULSION RED DE TUBERIA

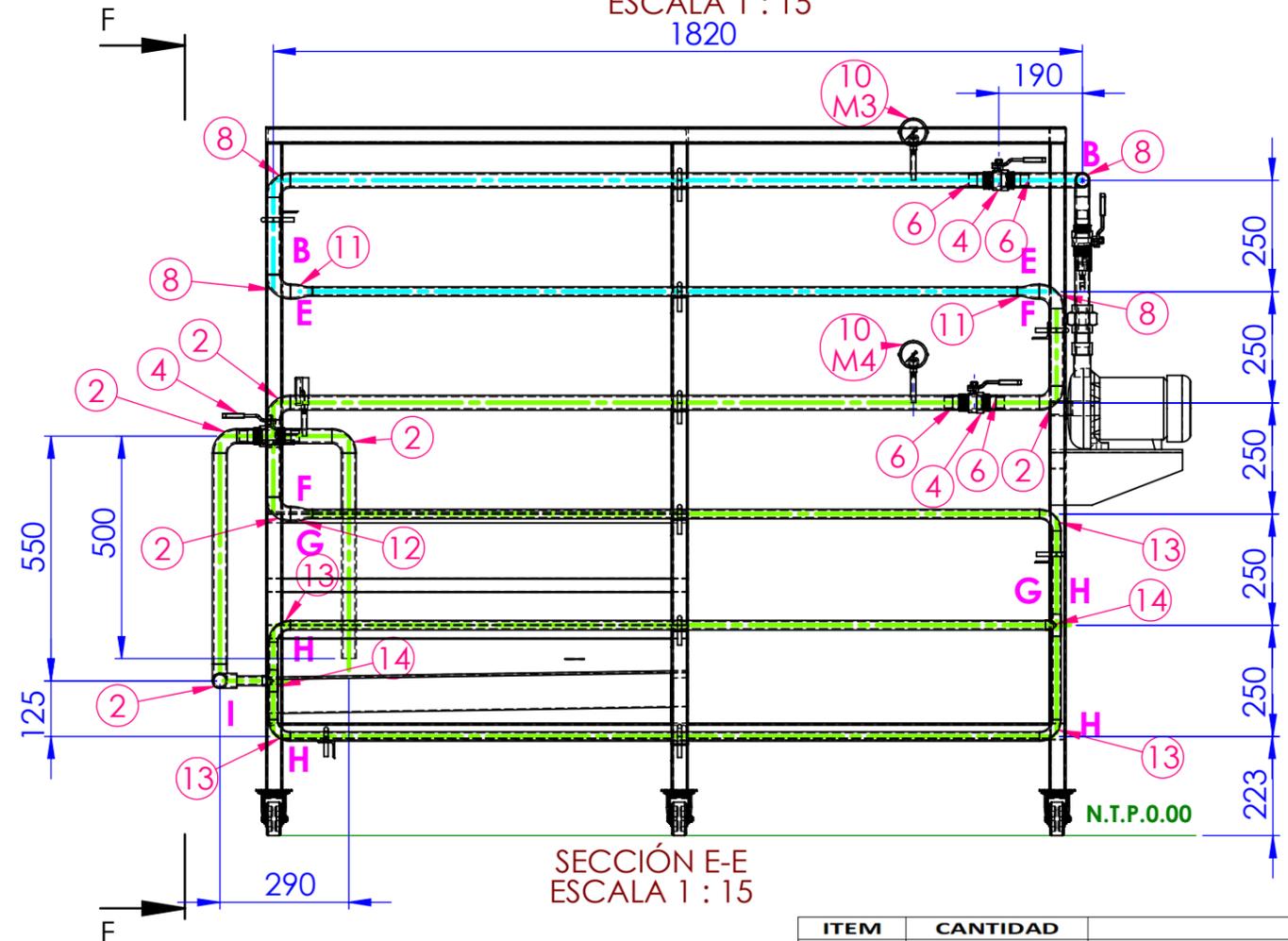


VISTA PLANTA
ESCALA 1 : 15
1820

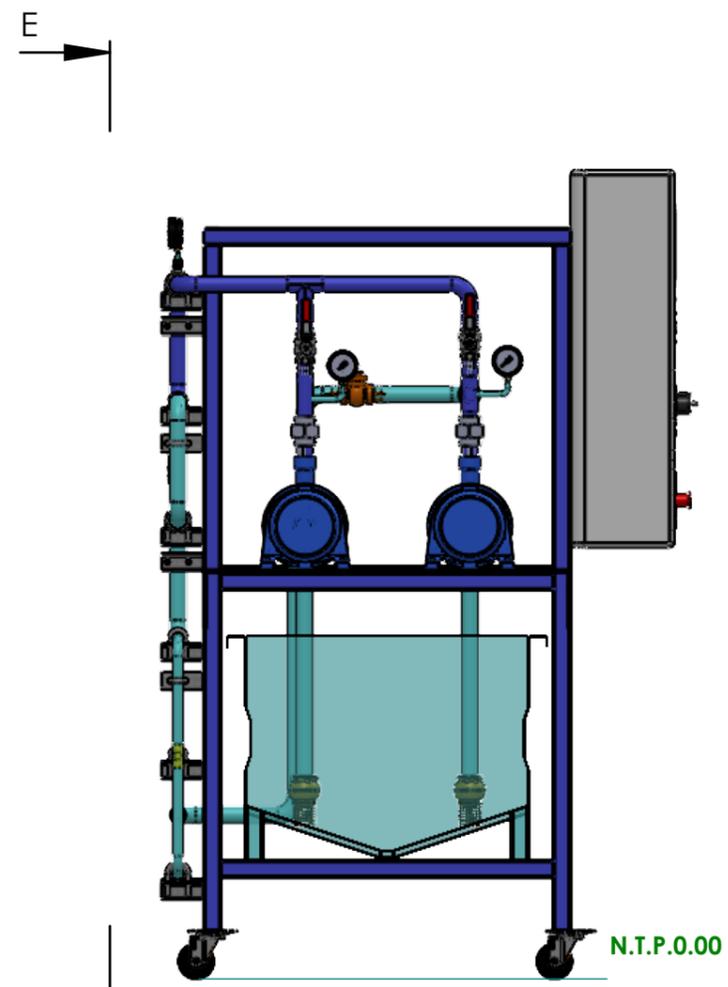
LEYENDA - IMPULSION	
	Tuberia Inoxidable
	Tuberia F.Negro
TRAMO B-B	Red Sistema de Tuberia - Descarga ASTM A53 1"
TRAMO E-E	Sistema de Red Tubería - Descarga ASTM A53 1/2"
TRAMO F-F	Sistema de Red Tubería - Descarga inoxidable 304L 1" SCH 40
TRAMO G-G	Sistema de Red Tubería - Descarga inoxidable 304L 1/2" SCH 40
TRAMO H-H	Sistema de Red Tubería - Descarga ramal inoxidable 304L 1/2" SCH 40
TRAMO I-I	Sistema de Red Tubería - Descarga inoxidable 304L 1" SCH 40 a Deposito



SECCIÓN F-F
ESCALA 1 : 15



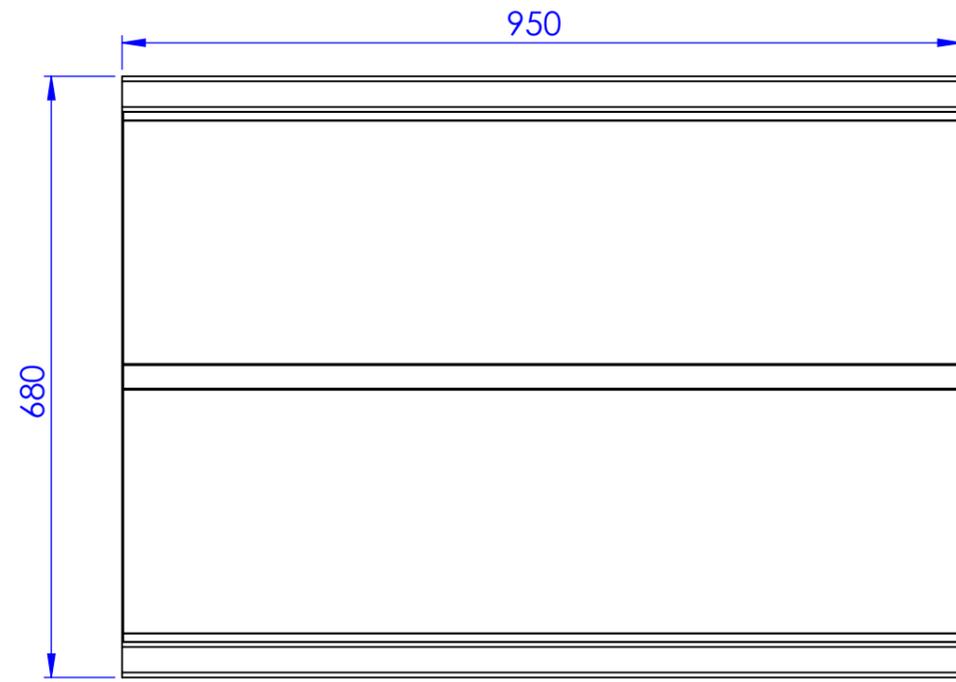
SECCIÓN E-E
ESCALA 1 : 15



VISTA LATERAL
ESCALA 1 : 15

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION	MATERIAL
02	7	Codo 1" - Soldable	Inoxidable 304
04	3	Valvula de bola 1"	Inoxidable 304
06	4	Niple 1"x2"	F.Negro
08	4	Codo 1" - Roscable	F.Negro
10	3	Manometro	-
11	2	Reduccion 1"-1/2"	F.Negro
12	1	Reduccion 1"-1/2"	Inoxidable 304
13	4	Codo 1/2" - Roscable	Inoxidable 304

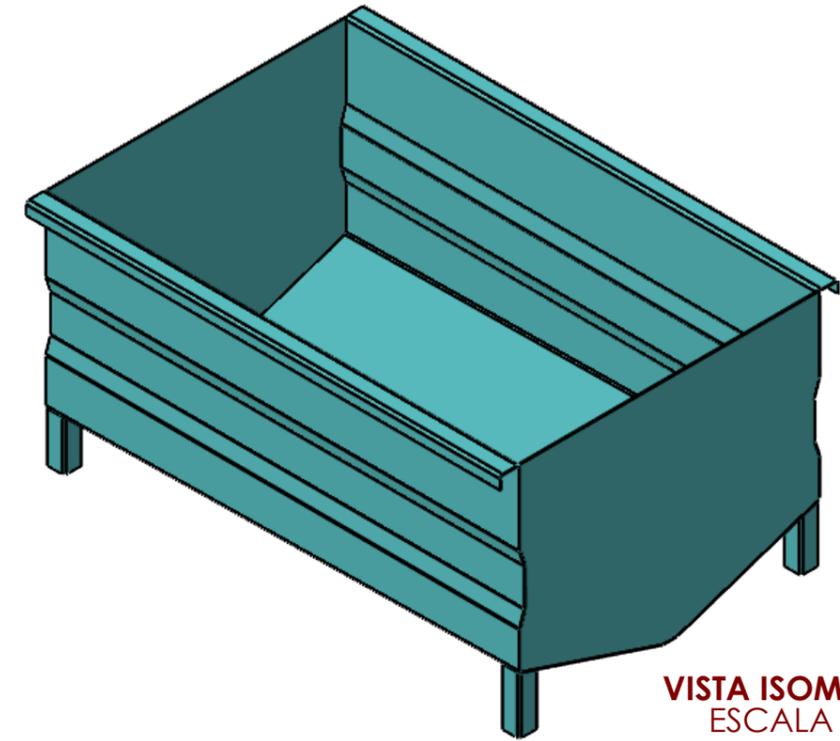
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA	LONGITUD	0	6	30	120	315	1000	2000	4000	8000	12000	15000	TAMAÑO DE FORMATO: A3
	min	0	6	30	120	315	1000	2000	4000	8000	12000	15000	
	max	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2	±3	±4	±5		
	TOLERANCIA (mm)												FECHA DE REALIZACION: 08/10/2024
	CLASE DE RUGOSIDAD	N12	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2	
	VALOR DE LA RUGOSIDAD (MICRAS)	50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	.05	.025
	DIBUJADO :	KAC	REVISADO :	NEE	Escala :	1:5	NOMBRE: DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN MODULO INTERACTIVO, DE UN SISTEMA DE BOMBAS CENTRIFUGAS INSTALADOS EN SERIE Y PARALELO						NUMERO DE PLANO: 4 de 6



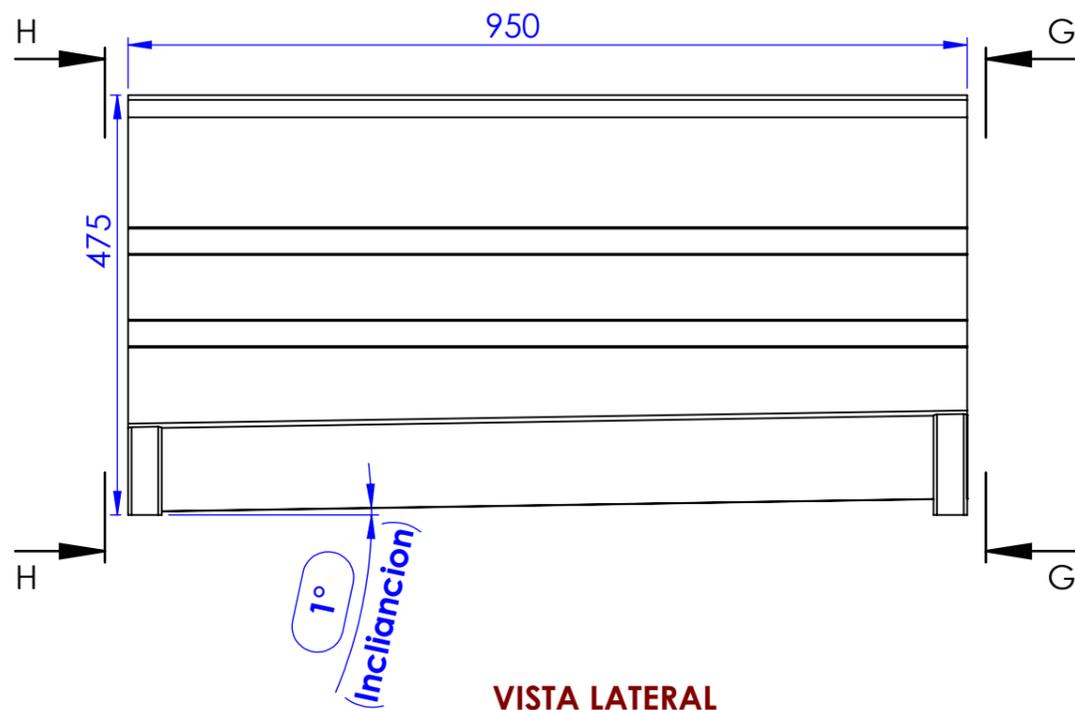
VISTA PLANTA
ESCALA 1 : 8

DEPOSITO DE MODULO INTERACTIVO

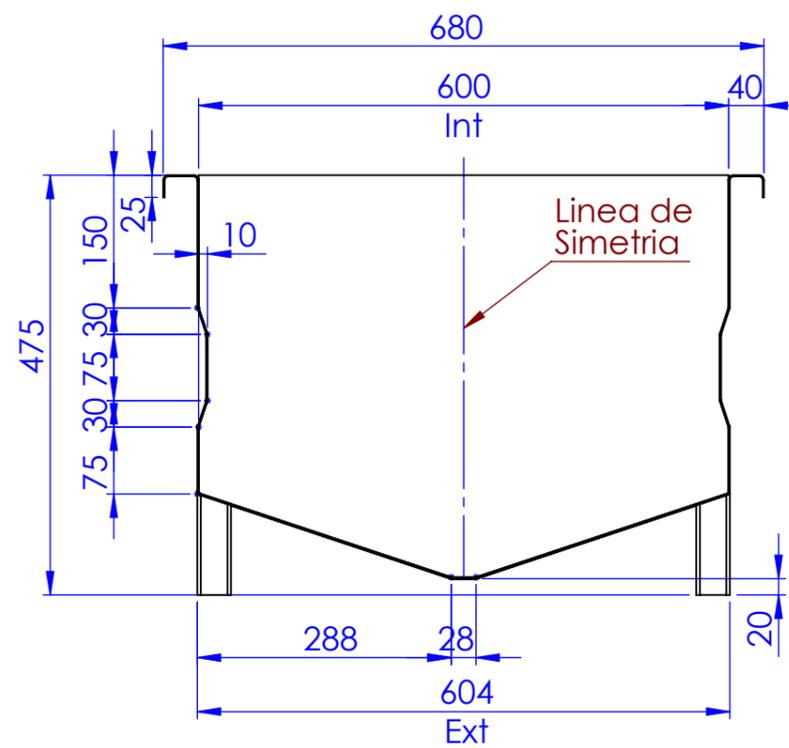
MATERIAL :INOXIDABLE 304
PLANCHA :2mm
CANTIDAD:01 PIEZA



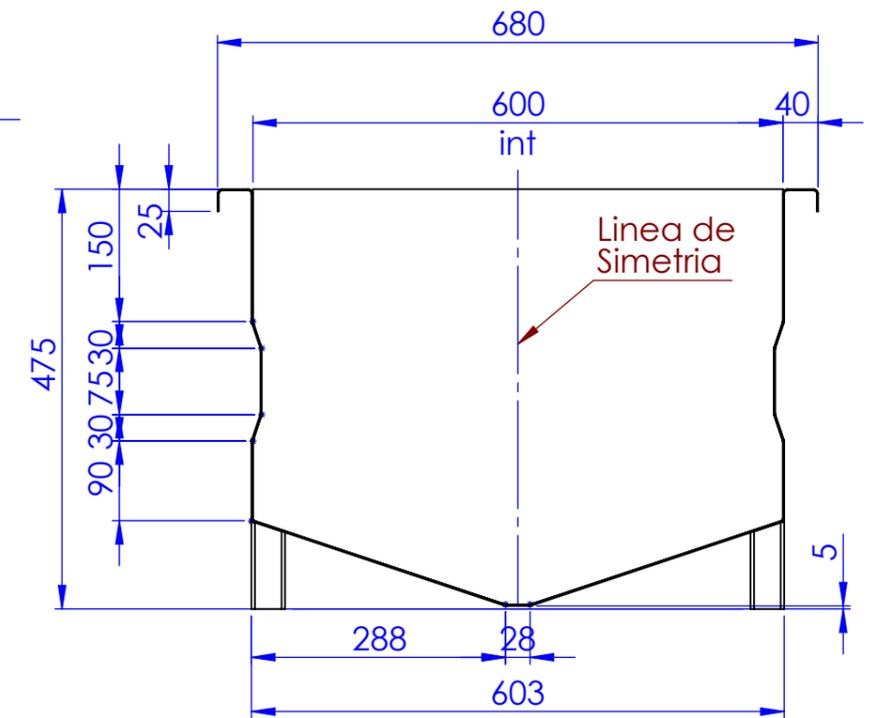
VISTA ISOMETRICA
ESCALA 1 : 8



VISTA LATERAL
ESCALA 1 : 8

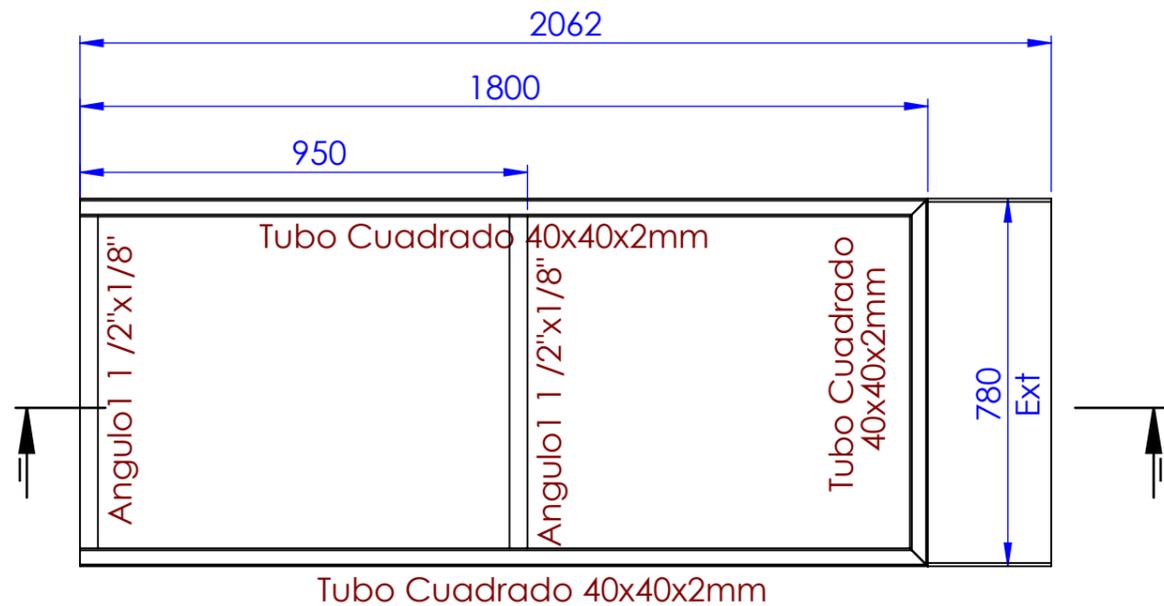


SECCIÓN G-G
ESCALA 1 : 8



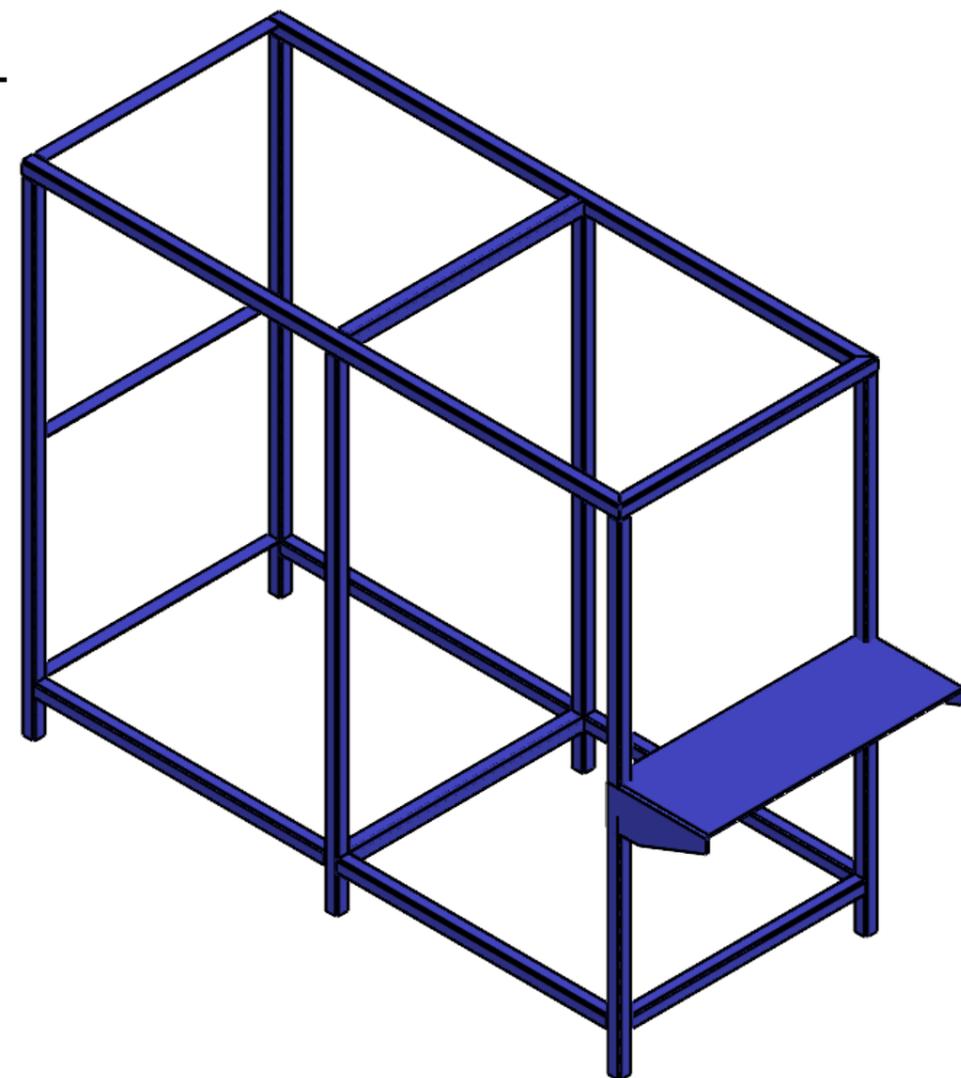
SECCIÓN H-H
ESCALA 1 : 8

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA		LONGITUD	min	0	6	30	120	315	1000	2000	4000	8000	12000	15000	TAMAÑO DE FORMATO:
		max		6	30	120	315	1000	2000	4000	8000	12000	15000		A3
		TOLERANCIA (mm)		±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2	±3	±4	±5		FECHA DE REALIZACION:
ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERIA MECANICA		CLASE DE RUGOSIDAD		N12	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1
		VALOR DE LA RUGOSIDAD (MICRAS)		50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	.05	.025
DIBUJADO : KAC	REVISADO : NEE	Escala : 1:5	NOMBRE: DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN MODULO INTERACTIVO, DE UN SISTEMA DE BOMBAS CENTRIFUGAS INSTALADOS EN SERIE Y PARALELO											NUMERO DE PLANO: 5 de 6	

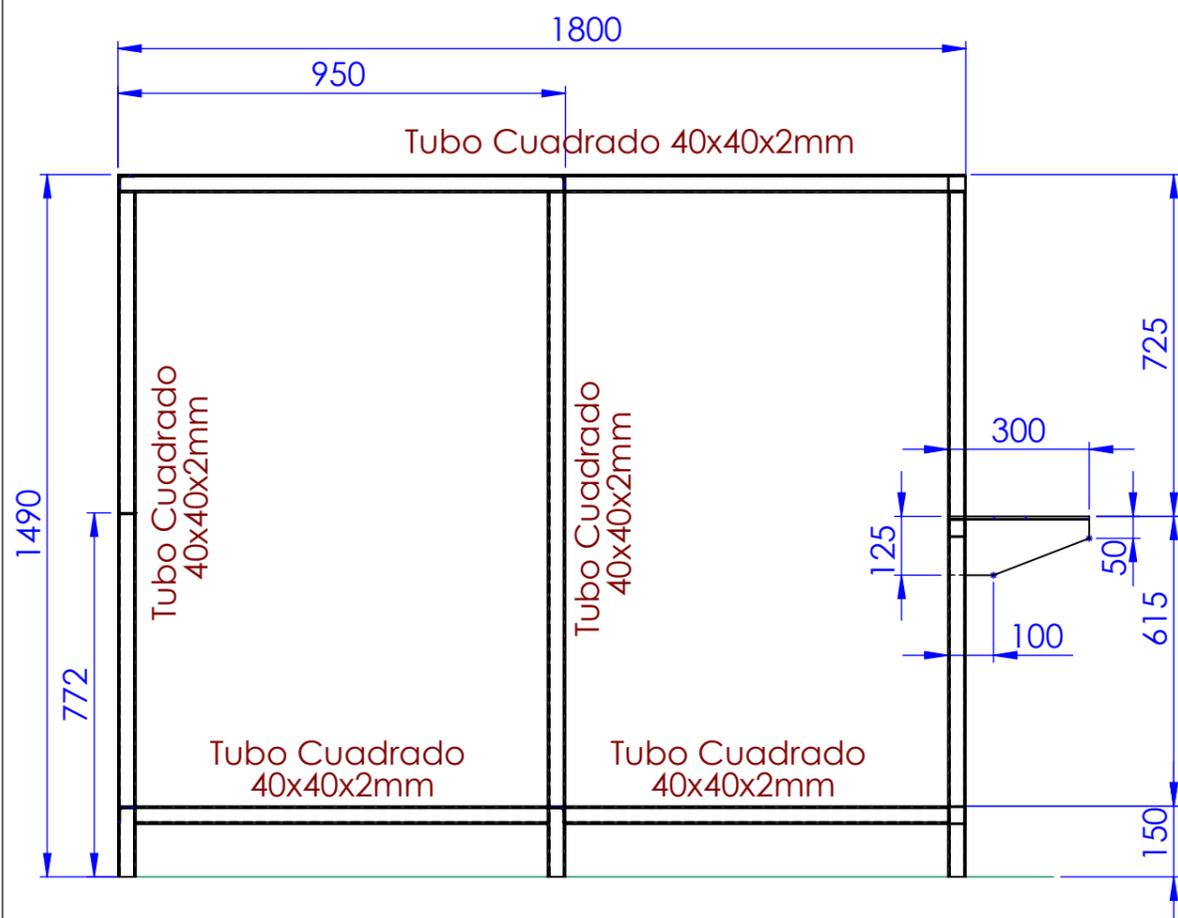


ESTRUCTURA DE MODULO INTERACTIVO

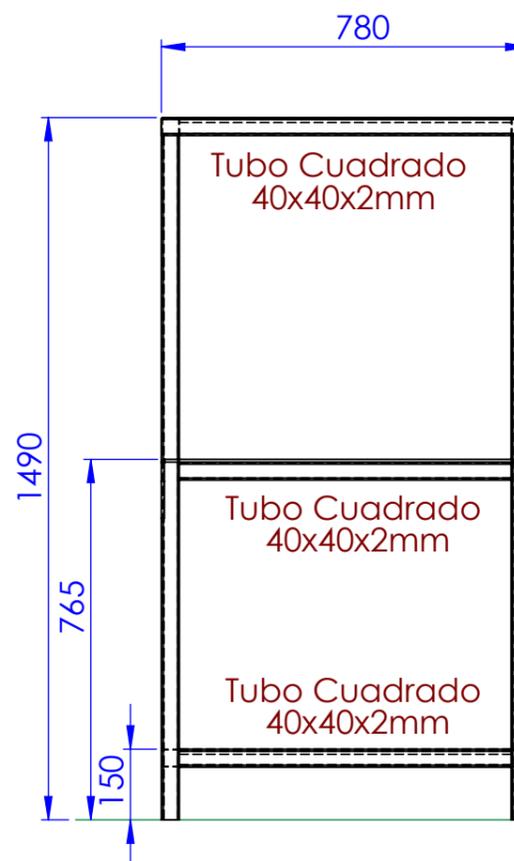
MATERIAL :F.Negro
Tubo cuadrado + Angulo
CANTIDAD:01 CONJUNTO



VISTA ISOMETRICA
ESCALA 1 : 15



SECCIÓN I-I
ESCALA 1 : 15



VISTA LATERAL
ESCALA 1 : 15

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA		LONGITUD	min	0	6	30	120	315	1000	2000	4000	8000	12000	15000	TAMAÑO DE FORMATO:	
		max		6	30	120	315	1000	2000	4000	8000	12000	15000		A3	
		TOLERANCIA (mm)		±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2	±3	±4	±5			
	ESCUELA PROFESIONAL:	CLASE DE RUGOSIDAD		N12	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1	FECHA DE REALIZACION:
	INGENIERIA MECANICA	VALOR DE LA RUGOSIDAD (MICRAS)		50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	.05	.025	08/10/2024
DIBUJADO :	REVISADO :	Escala :	NOMBRE:	DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN MODULO INTERACTIVO, DE UN SISTEMA DE BOMBAS CENTRIFUGAS INSTALADOS EN SERIE Y PARALELO											NUMERO DE PLANO:	
KAC	NEE	1:5													6 de 6	