



Universidad
Nacional de
Ingeniería

Área de Conocimiento de Ingeniería y Afines

Diseño y Construcción de Banco de Ensayo Fuerza Hidrostática en Líquidos sobre superficies planas y curvas, Fuerzas ejercidas por un chorro, para la realización de prácticas didácticas en el Laboratorio de Turbomáquinas; UNI- RUPAP

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Mecánico

Elaborado por:

Br. Federico José
Gutiérrez Gutiérrez
Carnet. 2016-0455U

Br. Carlos Alberto
Altamirano López
Carnet. 2016-0020U

Tutor:

Ing. Silvio Ramón
Solórzano Moody

18 de junio del 2024
Managua, Nicaragua



Facultad de
Tecnología de
la Industria



Managua, 03 de febrero de 2023

Brs. Carlos Alberto Altamirano López
Federico José Gutiérrez Gutiérrez

Por este medio hago constar que el protocolo de su trabajo monográfico titulado **Diseño y Construcción de Banco de Ensayo Fuerza Hidrostática en Líquidos sobre superficies Planas y Curvas, fuerzas ejercidas por un chorro, para la realización de prácticas didácticas en el Laboratorio de Turbomáquinas; UNI-RUPAP**, para obtener el título de **Ingeniero Mecánico** y que contará con el **Ing. Silvio Ramón Solórzano Moody** como tutor, ha sido aprobado por esta Decanatura.

Cordialmente,

MSc Luis Alberto Chavarría Valverde
Decano



C/c Archivo
LACH/art



(505) 2240 1653 - (505) 3 8479
(505) 2251 8371 - (505) 2251 5276



Recinto Universitario Pedro Arraiz Delgado
Calle Mario Samayoa y La Progreso
Managua, Nicaragua



Facultad de
Tecnología de
la Industria

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

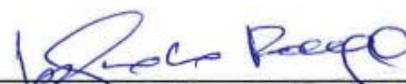
El Suscrito Secretario de la **FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA** hace constar que:

GUTIÉRREZ GUTIÉRREZ FEDERICO JOSÉ

Carné: **2016-0455U** Turno: **Diurno** Plan de Asignatura: **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERÍA MECÁNICA**, y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los veinte y dos días del mes de agosto del año dos mil veinte y dos.

Atentamente,


Msc. Juan Oswaldo Blandino Rayo
Secretario de Facultad



0502 2251 2271 - 0502 2251 2272
0502 2251 2271 - 0502 2251 2272



Recinto Universitario Pedro Anaco, Pasadizo
Callejón Sur de 15ta Progreso,
Managua, Nicaragua



Facultad de
Tecnología de
la Industria

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

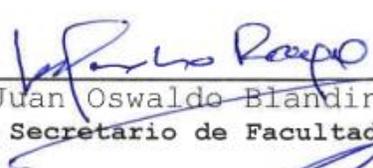
El Suscrito Secretario de la **FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA** hace constar que:

ALTAMIRANO LÓPEZ CARLOS ALBERTO

Carné: **2016-0020U** Turno: **Diurno** Plan de Asignatura: **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERÍA MECANICA**, y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los ocho días del mes de septiembre del año dos mil veinte y dos.

Atentamente,


Msc. Juan Oswaldo Blandino Rayo
Secretario de Facultad



TEL: 2240 1844 - 2240 1240 5077
2240 2351 2271 - 2240 2351 5176



Boleto Inmigratorio: Pasa Ajustada
Calle de San de Villa Zaragoza,
Edificio 200-0000

Managua, 20 de marzo de 2024.

MSc.Ing. Luis Alberto Chavarría Valverde.
Director del Área de Conocimiento de Ingeniería y Afines.
DACIA.
UNI – RUPAP.
Su despacho.

Estimado Msc. Chavarría:

Por medio de la presente me dirijo a Usted, con el fin de comunicarle que los Brs: Federico José Gutiérrez Gutiérrez y Carlos Alberto Altamirano López, han finalizado la elaboración de su trabajo monográfico titulado: "Diseño y Construcción de Banco de Ensayo Fuerza Hidrostática en Líquidos sobre superficies planas y curvas, Fuerzas ejercidas por un chorro, para la realización de prácticas didácticas en el Laboratorio de Turbomáquinas; UNI-RUPAP", a través del cual y de su correspondiente defensa optarían al título de Ingeniero Mecánico.

El mencionado trabajo fue realizado llenando los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Ingeniería y los formulados en su protocolo, presentado ante la Facultad de Tecnología de la Industria.

Extiendo la presente a solicitud de las partes interesadas, como requisito para realizar su defensa monográfica.

Sin otra razón, reciba usted mis respetuosos y atentos saludos.

Atentamente,



Ing. Silvio R. Solórzano Moody.
Docente
UNI-RUPAP
Tutor

Agradecimientos

Agradezco primeramente a Dios por haberme permitido poder culminar todos mis estudios, infinitamente gracias le doy por haberme protegido y guiado todo este tiempo. A mi tutor de tesis, por haberme guiado, a mis diferentes maestros por compartir sus conocimientos y haberme brindado el apoyo para desarrollarme y A la Universidad Nacional de Ingeniería, por haberme brindado tantas oportunidades.

Principalmente le dedico esto a mis dos madres Martha Lorena Gutiérrez y Bridy de los Ángeles Picado que siempre han estado para mí en todo momento apoyándome y guiándome con amor y sabiduría. Simplemente le doy gracias por todo el sacrificio que han hecho por mí. También a mi padre Federico Gutiérrez por ser pilar fundamental. Y Eder Pineda por haberme ayudado a iniciar mis estudios universitarios.

Br. Federico Jose Gutierrez Gutierrez

Agradecer primeramente a Dios por permitirme tener la salud, fortaleza y las habilidades requeridas para culminarla, al Ing. Moody Solorzano por guiarme en todo el proceso de elaboración de la tesis, y cada maestro que con dedicación compartió sus conocimientos a través de los años.

Dedicada principalmente a mi madre Miriam del Socorro López y mi padre Carlos Altamirano cuyo amor y sacrificio fueron mi mayor motivación para seguir superándome y plantearme nuevas metas. También quiero reconocer el apoyo incondicional de mis hermanos, Milton Flores y Jesús López.

Br. Carlos Alberto Altamirano López

Resumen

El presente estudio tiene como propósito la construcción de un banco de ensayo donde se apliquen los principios de mecánica de fluidos sobre fuerza hidrostática ejercida sobre superficies y un banco sobre fuerza ejercida por un chorro, para la realización de prácticas en el laboratorio de Turbomáquinas.

El proceso de estudio se centró en el dimensionamiento de cada uno de los elementos que componen los bancos. Se llevaron a cabo cálculos detallados para determinar las dimensiones adecuadas de los elementos, como deflectores, ejes y pesas, y se generaron los correspondientes planos mecánicos para cada banco.

Además, se llevó a cabo una cuidadosa selección de materiales para la fabricación de los componentes, teniendo en cuenta el entorno húmedo al que estarán expuestos. Se detalló minuciosamente el proceso de fabricación de cada elemento para garantizar su adecuado funcionamiento y durabilidad.

Posteriormente se realizó la toma de datos, donde se compararon los resultados obtenidos con los resultados teóricos determinando el error relativo de cada medición para evaluar la precisión de los bancos de ensayos

Finalmente, se elaboraron guías de laboratorio detalladas que describen los pasos a seguir para la realización de las prácticas, facilitando así su ejecución y asegurando la correcta interpretación de los resultados obtenidos.

ÍNDICE.

1.	Introducción.....	1
2.	Antecedentes.....	2
3.	Justificación.....	4
4.	Objetivos.....	5
4.1	Objetivo General.....	5
4.2.	Objetivos Específicos.....	5
5.	Marco Teórico.....	6
5.1	Generalidades de la Mecánica de Fluidos.....	6
5.1.1	Presión.....	6
5.1.2	Presión en un punto.....	6
5.2	Variación de la presión con la profundidad.....	8
5.3	Hidrostática.....	10
5.4	Fuerzas hidrostáticas sobre superficies planas sumergidas.....	10
5.4.1	Caso especial: Placa rectangular sumergida.....	17
5.4.2	Fuerzas hidrostáticas sobre superficies curvas sumergidas.....	18
5.5	Ecuación de Cantidad de Movimiento Lineal.....	21
5.6	Factor de corrección del flujo de la cantidad de movimiento, β	24
5.6.1	Flujo estacionario.....	25
5.6.2	Flujo estacionario con una entrada y una salida.....	26
6.	Elaboración de las guías de Laboratorio.....	28
7.	Hipótesis y Variables.....	29
8.	Diseño Metodológico.....	30

9.	Cronograma de Ejecución.....	33
10.	Fase de diseño del Banco de Ensayo fuerza ejercida por un chorro.....	34
10.1	Aplicación del teorema de cantidad de movimiento.....	35
10.2	Aplicación de la ecuación de cantidad de movimiento para los deflectores:	36
10.3	Modelado 3D mediante inventor.....	40
10.4	Mecanismo de equilibrio.....	42
10.5	Construcción de piezas por mecanizado.....	43
10.6	Montaje.....	46
10.7	Pruebas y Resultados.....	51
11.	Diseño del Banco de Ensayo para Fuerza Hidrostática.....	66
11.1	Depósito de agua.....	66
11.2	Cálculo del centro de gravedad (centroide).....	67
11.3	Cálculo de momento ejercido por suma total de las pesas.....	71
11.4	Diseño de Base.....	72
11.5	Diseño de eje pivote.....	73
11.6	Diseño de las pesas.....	77
12.	Proceso de fabricación del banco de ensayo para presión hidrostática.....	84
13.	Pruebas y Resultados.....	91
15.	Conclusiones.....	102
16.	Recomendaciones.....	113
17.	Bibliografía.....	104
18.	Anexo.....	105

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1. El esfuerzo normal (o presión)	6
Figura 2. Fuerza que actúan sobre un elemento de fluido con forma de cuña	8
Figura 3. Variación de la presión con la profundidad	8
Figura 4. Diagrama de un cuerpo libre de un elemento de fluido rectangular en equilibrio.	9
Figura 5. Presión atmosférica actuando a ambos lados de la estructura	11
Figura 6. Fuerza hidrostática sobre la superficie de un plano inclinado sumergido totalmente en un líquido	12
Figura 7. Presión en el centroide de una superficie equivale a la presión promedio sobre esta.....	13
Figura 8. Fuerza de resultante que actúa sobre una superficie plana	13
Figura 9. Centroides y momentos centroidales de inercia para algunas configuraciones geométricas comunes	16
Figura 10. Las fuerzas hidrostáticas que actúan sobre una superficie plana forman un volumen cuya base (cara izquierda) es la superficie y cuya altura es la presión.....	17
Figura 11. Fuerza hidrostática que actúa sobre la superficie superior de una placa rectangular sumergida, para los casos inclinada, vertical, horizontal.	17
Figura 12. Fuerza hidrostática que actúa sobre una superficie curva sumergida	18
Figura 13. Cuando una superficie está arriba del líquido, el peso del líquido y la componente vertical de la fuerza hidrostática actúan en direcciones opuestas.....	20
Figura 14. Fuerza hidrostática que actúa sobre una superficie rectangular	20
Figura 15. En la mayoría de los sistemas de flujo, la fuerza F consta de fuerzas de peso, de presión y de reacción.....	23
Figura 16. Ejemplos de entradas o salidas en las cuales la aproximación de flujo uniforme.	24
Figura 17. La fuerza neta que actúa sobre el volumen de control en caso de flujo estacionario	25
Figura 18. Un volumen de control con sólo una entrada y una salida.. ..	26

Figura 19. Determinación por adición vectorial de la fuerza de reacción sobre el soporte causada por un cambio de dirección del agua.	27
Figura 20. Bomba centrífuga marca Trupper modelo BOAC-1/2.	34
Figura 21. Diagrama de impacto de un chorro sobre una superficie.	35
Figura 22. Deflector 180°.	36
Figura 23. Deflector 90°.	37
Figura 24. Deflector 135°.	38
Figura 25. Esquema del banco de ensayo.....	40
Figura 26. Base del banco de ensayo 3d.....	40
Figura 27. Tapa superior y tapa inferior.	41
Figura 28. Inyector.....	41
Figura 29. Deflector recto, oblicuo, semicircular.	42
Figura 30. Mecanismo de equilibrio.	43
Figura 31. Indicador de equilibrio.....	44
Figura 32. Eje de acero.	44
Figura 33. Guía para el eje soporte	44
Figura 34. Descripción del juego de pesas.	45
Figura 35. Pesas fabricadas de acero al carbón.	46
Figura 36. Base fabricada de acero	47
Figura 37. Varias roscada de $\frac{1}{4}$ ".....	47
Figura 38. Medidor de nivel (puntero) posicionado en el eje guía	48
Figura 39. Conjunto armado del eje de deflectores, la tapa superior, muelle y porta pesas.	49
Figura 40. Muelle.....	49
Figura 41. Manómetro	50
Figura 42. Montaje de todo el conjunto.	50
Figura 43. Vista en 3D del depósito de acrílico.....	66

Figura 44. Determinación del área interna del contenedor.....	68
Figura 45. Ubicación del centroide del área A1	69
Figura 46. Ubicación del centroide del área A2	70
Figura 47. Ubicación del centroide del contenedor de acrílico	71
Figura 48. Vista en 3D del brazo.....	72
Figura 49. Vista en 3D de la bancada.....	73
Figura 50. Diagrama de cuerpo libre del eje	73
Figura 51. Diagrama de Cortante Máximo y Momento Máximo	74
Figura 52. Diagrama de Deflexión	74
Figura 53. Esquema del diseño de contrapesos	78
Figura 54. Dimensiones de peso de 1,0 N.....	79
Figura 55. Diagrama de sumatorias de volúmenes	80
Figura 56. Dimensiones de peso de 2,5 N.....	82
Figura 57. Dimensiones de peso de 2,0 N.....	83
Figura 58. Dimensiones de peso de 0,5 N.....	83
Figura 59. Escuadras con cojinetes y pin de nivel	84
Figura 60. Plataforma de acero inoxidable.....	85
Figura 61. Brazo con contrapeso ajustable en la parte superior	86
Figura 62. Soporte de inclinación del depósito.....	86
Figura 63. Visor de nivelación.....	87
Figura 64. Porta pesas	87
Figura 65. Soporte para pesos	88
Figura 66. Eje de acero inoxidable.....	89
Figura 67. Contenedor de acrílico de 3 mm de espesor.....	90
Figura 68. Ensamble completo de banco de ensayo presión Hidrostática	90

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. Cálculo de la velocidad máxima de salida del chorro	39
Tabla 2. Comparación de las pesas con el valor exacto	45
Tabla 3. Aforo de caudal con el deflector de 90°.....	51
Tabla 4. Aforo de caudal con el deflector de 135°.....	51
Tabla 5. Aforo de caudal con el deflector de 180°.....	52
Tabla 6. Resultado y comparación de la fuerza del chorro obtenida en el banco de ensayo con el deflector de 90°.....	53
Tabla 7. Resultado y comparación de la fuerza del chorro obtenida en el banco de ensayo con un deflector de 135°.....	54
tabla 8. resultado y comparación de la fuerza de chorro obtenida en el banco de ensayo con un deflector de 180°.....	55
Tabla 9. Rangos de permisibles de deflexiones transversales-Diseño en ingeniería mecánica de Shigley.....	75
Tabla 10. Rangos de ángulo de torsión por unidad de longitud - Diseño en ingeniería mecánica de Shigley.....	77
Tabla 11. Comparativa de pesos obtenidos variando la altura para peso de 2,5 N.....	82
Tabla 12. Comparativa de pesos obtenidos variando la altura para peso de 2,0 N.....	82
Tabla 13. Comparativa de pesos obtenidos variando la altura para peso de 0,5 N.....	83
Tabla 14. Pesos Obtenidos.....	88
Tabla 15. Comparativa de pesos Obtenidos VS pesos Teóricos	91
Tabla 16. Resultados obtenidos a un nivel de líquido de 25 mm - 50 mm e inclinación de superficie de 0°.....	91
Tabla 17. Resultados obtenidos a un nivel de líquido de 75 mm e inclinación de superficie de 0°	92
Tabla 18. Resultados obtenidos a un nivel de líquido de 100 mm e inclinación de superficie de 0°.....	92

Tabla 19. Resultados obtenidos a un nivel de líquido de 125 mm - 195 mm e inclinación de superficie de 0°93

Tabla 20. Resultados obtenidos a un nivel de líquido de 100 mm e inclinación de superficie de 50°93

Tabla 21. Resultados obtenidos a un nivel de líquido de 150 mm y 200 mm con inclinación de superficie de 50°94

Tabla 22. Resultados obtenidos a un nivel de líquido de 60 mm e inclinación de superficie de 90°94

Tabla 23. Resultados obtenidos a un nivel de líquido de 100 mm e inclinación de superficie de 90°95

Tabla 24. Resultados obtenidos a distintos niveles de líquido y diferentes ángulos de inclinación.....96

1. Introducción.

En el curso de Mecánica de Fluidos, las sesiones prácticas en el laboratorio son fundamentales para reforzar los conocimientos adquiridos en las clases teóricas de ingeniería. Estas prácticas involucran análisis matemático y experimentación en el laboratorio, para demostrar y validar los teoremas que gobiernan el comportamiento de los fluidos, tanto en estado estático como en movimiento. Con el objetivo de ampliar el aprendizaje, se propone desarrollar dicho trabajo de titulación que proporciona a los estudiantes las herramientas para aplicar los conocimientos adquiridos acerca de la fuerza ejercida por un líquido en reposo sobre una superficie sumergida y el estudio de las fuerzas generadas por el impacto de un chorro sobre una superficie. La finalidad es presentar dos nuevas prácticas que contengan toda la información necesaria para que los estudiantes aprendan, comprendan y realicen ensayos sobre estos teoremas.

En el primer apartado, se desarrollarán los planos de cada una de las piezas que conforman los bancos. Esto se llevará a cabo utilizando herramientas de diseño en 3D y sus respectivos cálculos. En el segundo apartado, se seleccionarán los materiales necesarios para la fabricación de las piezas, teniendo en cuenta la función que desempeñarán y la accesibilidad de los mismos. Posteriormente, se procederá a la fabricación y ensamblaje de los componentes. Seguidamente se realizará pruebas para determinar el margen de error de los bancos. Finalmente, se desarrollarán y proporcionarán las guías de laboratorio que los estudiantes utilizarán como apoyo para llevar a cabo las prácticas correspondientes.

2. Antecedentes.

En el Recinto Universitario Pedro Aráuz Palacios (RUPAP), La Facultad Tecnología de la Industria (F.T.I) posee el laboratorio de Turbomáquinas en donde se han desarrollado tres monografías con el fin de que el estudiante compruebe y lleve a la práctica los conocimientos adquiridos, lo que se pretende con el presente trabajo.

Se ha indagado que estos bancos de ensayos referentes de las magnitudes antes mencionadas existieron, así como otros bancos de ensayos a inicios de la creación de la UNI, que formaban parte de lo que era el Instituto Tecnológico Superior Pedro Arauz Palacios (ITESPAP) y que con el tiempo se fueron deteriorando sin lograr su reposición, fue en el periodo de 1985 a 1987, la última vez que se utilizó un banco de ensayo enfocado en el principio de la presión hidrostática y fuerza ejercida por un chorro.

En el 2011, se propuso el diseño de un entrenador para bombas centrífugas con la intención de rehabilitar el laboratorio de Turbomáquinas, permitiendo a los estudiantes del programa de Ingeniería Mecánica realizar prácticas, se concluyó que su modelo era factible económicamente para su construcción. (González Obando, 2011)

En el año 2017, se realizó la restauración del banco de ensayo para bombas en serie y paralelo con arreglos de tuberías en serie y paralelo, equipo que se encontraba deteriorado y carente de algunos componentes, ubicado actualmente en el laboratorio de Turbomáquinas. (García Baltodano , Auxiliadora Méndez, & Lazo Rodriguez, 2017)

A finales del 2022, se realizó la construcción del banco de ensayo para una bomba centrífuga, mediante el cual se obtienen las curvas características de una bomba de 1 hp, prácticas que los estudiantes pueden lograr, impulsando la rehabilitación del laboratorio antes mencionado. (Dávila Uriarte, Urroz Sevilla, & Reyes Díaz,2022)

Actualmente los estudiantes de ingeniería mecánica no llevan la teoría a la práctica en los cursos de Mecánica de Fluidos I y Turbomáquinas con el uso de bancos de ensayo para su comprobación. Por otra parte, los profesores no cuentan con una herramienta didáctica práctica, lo que genera un obstáculo a la hora de afianzar los conocimientos que se requieren. Por tal razón el proyecto nace de esa necesidad, implementar dos bancos de ensayo.

3. Justificación.

En las prácticas de laboratorio se fortalecen los conocimientos que el estudiante de ingeniería adquiere en las clases teóricas, ya que por medio de la realización de estas se pueden demostrar los teoremas y ecuaciones que rigen los comportamientos de los fluidos. Los bancos de pruebas brindan una forma de comprobación rigurosa, transparente y repetible de teorías científicas, elementos computacionales, y otras nuevas tecnologías.

El laboratorio de Turbomáquinas actualmente carece de los equipos necesarios para la realización de prácticas sobre los fundamentos teóricos de la hidrostática e hidrodinámica. En la práctica, la presión hidrostática es un efecto que se considera en el diseño en las distintas áreas de la ingeniería, por ejemplo: la construcción de compuertas utilizadas en canales, presas, tanques de almacenamiento y la construcción naval. Además, la fuerza ejercida por un chorro posee diferentes aplicaciones en especial, la generación de energía eléctrica, por medio de la transformación de energía cinética en trabajo al momento de impactar en los álabes de una turbina, por ejemplo, la turbina tipo Pelton.

Se tiene por finalidad construir dos bancos de ensayo con fines didácticos para la determinación de los efectos de la presión hidrostática en superficies planas o curvas, y un segundo acerca de la fuerza que genera el impacto de un chorro sobre diferentes superficies deflectoras, a su vez se realizarán las guías de laboratorio que indicarán el procedimiento al estudiante para la realización de prácticas didácticas en el laboratorio de Turbomáquinas. Estos bancos de ensayos les permitirán a los estudiantes de 3^{er} año de la carrera de Ingeniería Mecánica tener una mejor comprensión de los conocimientos teóricos adquiridos en la materia de Mecánica de Fluidos I mediante la comparación de las magnitudes reales y la determinación de las magnitudes adquiridas según fórmulas.

4. Objetivos.

4.1 Objetivo General.

Construir banco de ensayo fuerza hidrostática en líquidos sobre superficies planas y curvas, y fuerzas ejercidas por un chorro con fines didácticos para el laboratorio de Turbomáquinas.

4.2. Objetivos Específicos.

1. Realizar los planos del banco de ensayo de fuerza hidrostática de líquidos sobre superficies planas y curvas, y la fuerza ejercida por un chorro a través de las herramientas de diseño como lo es AutoCAD e Inventor.

2. Seleccionar los materiales a utilizar de acuerdo a los parámetros operativos de los bancos de ensayos, implementando cálculo de resistencia de materiales y buscar materiales comerciales para que sea de fácil mantenimiento.

3. Montar los componentes del banco de ensayo de fuerza hidrostática de líquidos sobre superficies planas y curvas, y la fuerza ejercida por un chorro, realizando ajustes, acabados y pruebas para que funcione adecuadamente.

4. Efectuar pruebas en los bancos para la calibración de los equipos, comparando los resultados obtenidos mediante ensayos y los teóricos.

5. Elaborar guía de laboratorio, para que los estudiantes puedan desarrollar paso a paso el procedimiento que conlleva determinar la fuerza hidrostática sobre superficies planas y curvas, la fuerza ejercida por un chorro sobre diferentes superficies deflectoras.

5. Marco Teórico.

En ambos bancos, se llevará a cabo un proceso de diseño, incluyen la creación de planos detallados para cada pieza utilizando herramientas de diseño, la selección de los materiales apropiados para la fabricación, el ensamblaje de los componentes, la realización de ajustes necesarios, y la realización de pruebas para identificar errores potenciales.

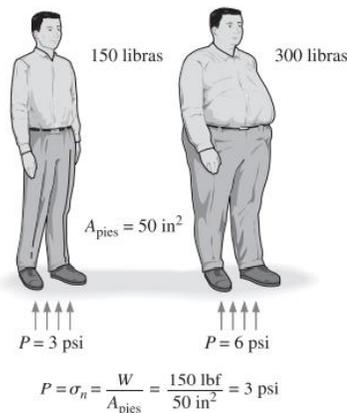
5.1 Generalidades de la Mecánica de Fluidos.

5.1.1 Presión.

Se define como una fuerza normal ejercida por un fluido por unidad de área. Se habla de presión sólo cuando se trata de un gas o un líquido. La contraparte de la presión en los sólidos es el esfuerzo normal. Puesto que la presión se define como fuerza por unidad de área, tiene la unidad de Newton por metro cuadrado (N/m^2), la cual se llama Pascal (Pa); es decir, $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ (Cengel & Cimbala, 2020)

Figura 1

El esfuerzo normal (o presión) sobre los pies de una persona obesa es mucho mayor que sobre los de una persona delgada (Cengel & Cimbala, 2020)



5.1.2 Presión en un punto.

La presión es la fuerza de compresión por unidad de área y da la impresión de ser un vector. Sin embargo, la presión en cualquier punto en un fluido es la misma en todas direcciones, es decir, tiene magnitud, pero no una dirección específica y, en consecuencia, es

una cantidad escalar. Esto se puede demostrar cuando se considera un pequeño elemento de fluido con forma de cuña de longitud unitaria ($\Delta y = 1$ hacia el interior de la página) en equilibrio, como se muestra en la Figura 2. Las presiones medias en las tres superficies son P_1 , P_2 y P_3 , y la fuerza que actúa sobre cada una de las superficies es el producto de la presión media y el área superficial. Según la segunda ley de Newton, un balance de fuerza en las direcciones x , y , z da

$$\sum F_x = ma_x = 0: \quad P_1 \Delta y \Delta z - P_3 \Delta y l \sin \theta = 0 \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\sum F_z = ma_z = 0: \quad P_2 \Delta y \Delta x - P_3 \Delta y l \cos \theta - \frac{1}{2} \rho g \Delta x \Delta y \Delta z = 0 \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde ρ es la densidad y $w = mg = \rho g \Delta x \Delta y \Delta z / 2$ es el peso del elemento de fluido. Nótese que la cuña es un triángulo rectangular, se tiene $x = l \cos \theta$ y $\Delta z = l \sin \theta$, si se sustituyen estas relaciones geométricas y se divide la ecuación 1 entre $\Delta y \Delta z$ y ecuación 2 entre $\Delta x \Delta y$, se obtiene

$$P_1 - P_3 = 0$$

$$P_2 - P_3 - \frac{1}{2} \rho g \Delta z = 0$$

El último término de la ecuación se cancela cuando $\Delta z \rightarrow 0$ y la cuña se vuelve infinitesimal y, por lo tanto, el elemento del fluido se contrae hasta un punto. La combinación de los resultados de estas dos relaciones da

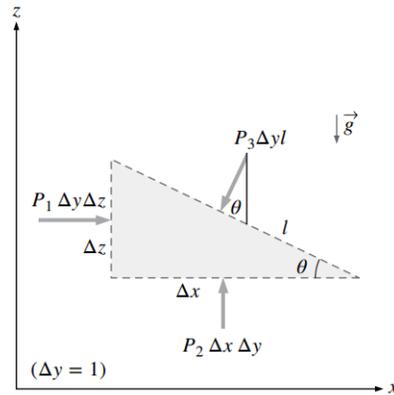
$$P_1 = P_2 = P_3 = P$$

Sin importar el ángulo θ , se puede repetir el análisis para un elemento en el plano yz y obtener un resultado semejante. De donde se llega a la conclusión que la presión en un punto de fluido tiene la misma magnitud en todas direcciones. Este resultado se puede aplicar a fluido

en movimiento o en reposo dado que la presión es escalar no vectorial. (Yunus A. Cengel, 2020).

Figura 2

Fuerza que actúan sobre un elemento de fluido con forma de cuña (Cengel & Cimbala, 2020)

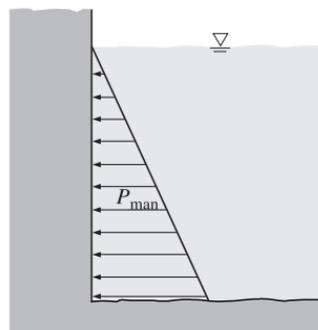


5.2 Variación de la presión con la profundidad.

No sorprenderá al lector observar que la presión en un fluido en reposo no cambia en la dirección horizontal. Esto se puede demostrar con facilidad cuando se considera una delgada capa horizontal de un fluido y se realiza un balance de fuerzas en cualquier dirección horizontal. Sin embargo, éste no es el caso en la dirección vertical en un campo de gravedad. La presión en un fluido aumenta con la profundidad porque descansa más fluido sobre las capas más profundas, y el efecto de este "peso adicional" sobre una capa más profunda se equilibra por un aumento en la presión (Figura 3).

Figura 3

Variación de la presión con la profundidad (Cengel & Cimbala, 2020)



Para obtener una relación para la variación de la presión con la profundidad, considérese un elemento rectangular de fluido de altura Δz , longitud Δx y profundidad unitaria ($\Delta y = 1$ hacia el interior de la página) en equilibrio, como se muestra en la Figura 4. Suponga que la densidad del fluido ρ sea constante, un balance de fuerzas en la dirección z vertical da

$$\sum F_z = m_z = 0: \quad P_1 \Delta x \Delta y - P_2 \Delta x \Delta y - \rho g \Delta x \Delta y \Delta z = 0$$

donde $w = mg = \rho g \Delta x \Delta y \Delta z$ es el peso del elemento del fluido y $\Delta z = z_2 - z_1$ dividiendo entre $\Delta x \Delta y$ y reacomodando se obtiene:

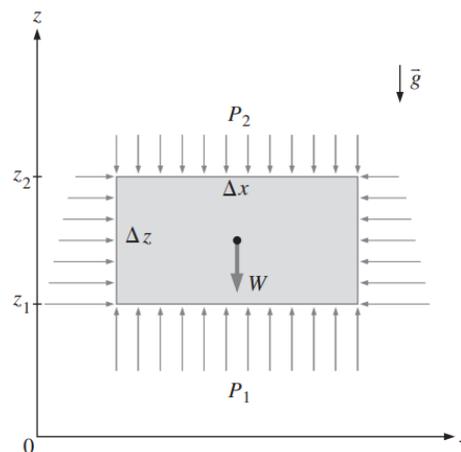
La ecuación fundamental de la hidrostática

$$\Delta P = P_2 - P_1 = - \rho g \Delta z = - \gamma_s \Delta z \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde $\gamma_s = \rho g$, es el peso específico del fluido. Por lo tanto, se llega a la conclusión que la diferencia de presión entre dos puntos en un fluido de densidad constante es proporcional a la distancia vertical Δz entre esos puntos y a la densidad ρ del fluido, en otras palabras, tomando en cuenta el signo negativo, se puede afirmar que la presión de un fluido aumenta de manera lineal con la profundidad. (Cengel & Cimbala, 2020)

Figura 4

Diagrama de un cuerpo libre de un elemento de fluido rectangular en equilibrio.



5.3 Hidrostática.

La estática de fluido trata de los problemas relacionados con los fluidos en reposo. El fluido puede ser gas o líquido. En general, la estática de fluidos se llama Hidrostática cuando el fluido es un líquido y Aeroestática, cuando el fluido es un gas. En la estática de fluidos no se tiene movimiento relativo entre capas adyacentes del fluido y, por lo tanto, no se tienen esfuerzos cortantes (tangenciales) en éste que traten de deformarlo. El único esfuerzo que se trata en la estática de fluidos es el esfuerzo normal, el cual es la presión, y la variación de ésta sólo se debe al peso del fluido. Por lo tanto, el tema de la estática de fluidos únicamente tiene significado en campos de gravedad y las relaciones de fuerzas que se formaron de manera natural incluyen la aceleración gravitacional g . La fuerza que se ejerce sobre una superficie por un fluido en reposo es normal a esa superficie en el punto de contacto, puesto que no existe movimiento relativo entre el fluido y la superficie sólida y como consecuencia, no pueden actuar fuerzas cortantes paralelas a la superficie.

La estática de fluidos se utiliza para determinar las fuerzas que actúan sobre cuerpos flotantes o sumergidos y las fuerzas que generan algunos dispositivos como las prensas hidráulicas y los gatos para automóvil. El diseño de muchos sistemas de ingeniería, como las presas para almacenamiento de agua y los tanques de almacenamiento de líquidos, exige determinar las fuerzas que actúan sobre las superficies aplicando la estática de fluidos. La descripción completa de fuerza hidrostática resultante que actúa sobre una superficie sumergida demanda determinar la magnitud, la dirección y la línea de acción de la fuerza. En las siguientes dos secciones consideramos las fuerzas que actúan sobre superficies tanto planas como curvas de cuerpos sumergidos, debidas a la presión. (Cengel & Cimbala, 2020)

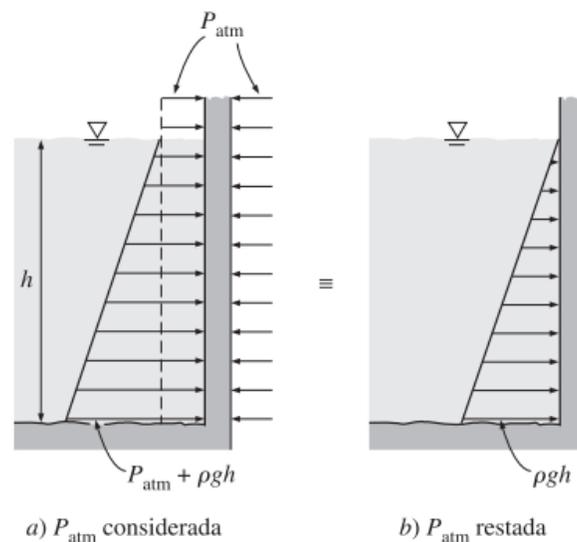
5.4 Fuerzas hidrostáticas sobre superficies planas sumergidas.

Una placa expuesta a un líquido, (como una válvula de compuerta en una presa, la pared de un tanque de almacenamiento de líquidos o el casco de un barco en reposo), queda

sometida a la presión del fluido distribuida sobre su superficie. Sobre una superficie plana las fuerzas hidrostáticas forman un sistema de fuerzas paralelas y, a menudo, se necesita determinar la magnitud de la fuerza y su punto de aplicación, el cual se llama centro de presión. En la mayoría de los casos, el otro lado de la placa está abierto a la atmósfera (como el lado seco de una compuerta) y, donde, la presión atmosférica actúa sobre los dos lados de la placa y conduce a una resultante cero. En esos casos conviene restar la presión atmosférica y trabajar sólo con la presión manométrica (Figura 5). Por ejemplo, $P_{\text{man.}} = \rho gh$ en el fondo de un lago.

Figura 5

Presión atmosférica actuando a ambos lados de la estructura (Cengel & Cimbala, 2020)



Considérese la superficie superior de una placa plana de forma arbitraria, sumergida totalmente en un líquido, como se muestra en la Figura 6, junto con su vista desde arriba. El plano de esta superficie (normal al plano de la página) se interseca con la superficie libre horizontal y forma un ángulo Θ , y la línea de intersección se toma como el eje x (fuera del plano). La presión absoluta arriba del líquido es P_o , la cual es la presión atmosférica local P_{atm} si ese líquido está abierto a la atmósfera (pero P_o puede ser diferente de P_{atm} si se crea un

vacío en el espacio que está arriba del líquido o se presuriza). Entonces la presión absoluta en cualquier punto de la placa es

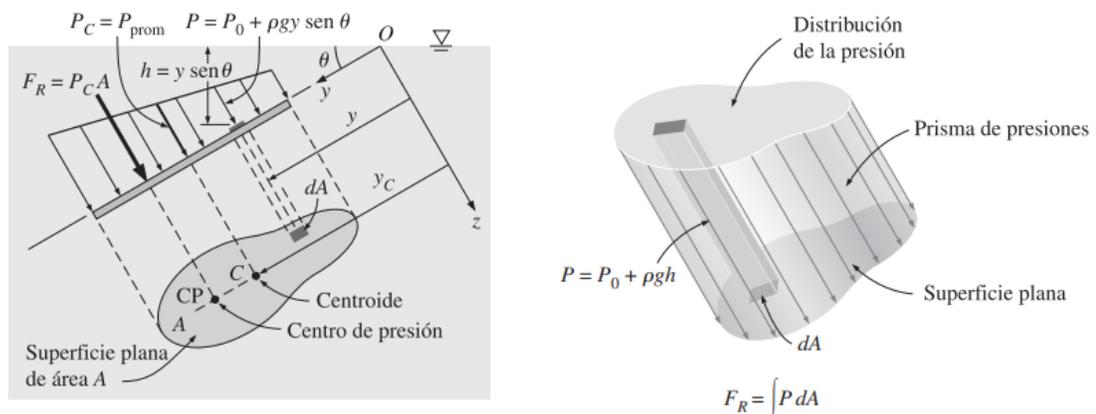
$$P = P_0 + \rho gh = P_0 + \rho gy \text{ sen } \theta \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde h es la distancia vertical del punto a la superficie libre y “ y ” es la distancia del punto al eje x (al punto O en la Figura 6) la fuerza hidrostática resultante F_R que actúa sobre la superficie se determina cuando se integra la fuerza PdA que actúa sobre un área diferencial dA sobre toda el área superficial.

$$F_R = \int_A P dA = \int_A (P_0 + \rho gy \text{ sen}\theta) dA = P_0 A + \rho g \text{ sen}\theta \int_A y dA \quad \text{Ecuación 5}$$

Figura 6

Fuerza hidrostática sobre la superficie de un plano inclinado sumergido totalmente en un líquido (Cengel & Cimbala, 2020)



Pero el primer momento de área $\int_A y dA$ está relacionado por la coordenada y del centroide (O centro) de la superficie por

$$y_c = \frac{1}{A} \int_A y dA \quad \text{Ecuación 6}$$

Se efectúan las sustituciones

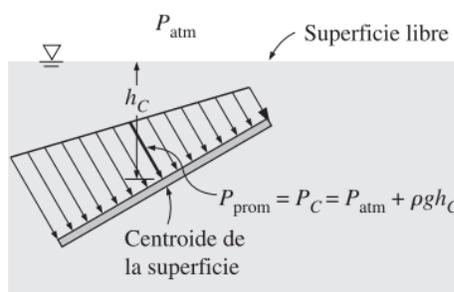
$$F_R = (P_0 + \rho g y_c \text{sen}\theta)A = (P_0 + \rho g h_c)A = P_c A = P_{prom} A$$

Ecuación 7

Donde $P_c = P_0 + \rho g h_c$ es la presión en el centroide de la superficie, la cual equivale a la presión promedio P_{prom} sobre la superficie, y $h_c = y_c \text{sen}\theta$ es la distancia vertical del centroide a la superficie libre de líquido (Figura 7).

Figura 7

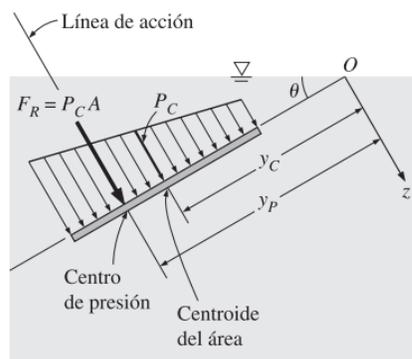
Presión en el centroide de una superficie equivale a la presión promedio sobre esta. (Cengel & Cimbala, 2020)



De ello se llega a la conclusión, que la magnitud de la fuerza resultante que actúa sobre una superficie plana de una placa totalmente sumergida en un fluido homogéneo (de densidad constante) es igual al producto de la presión P_c en el centroide de la superficie y el área A de esta (Figura 8).

Figura 8

Fuerza de resultante que actúa sobre una superficie plana (Cengel & Cimbala, 2020)



La presión P_0 suele ser la atmosférica, la cual, en la mayoría de los casos, se puede ignorar, ya que actúa sobre los dos lados de la placa. Cuando éste no es el caso, una manera práctica de tomar en cuenta la contribución de P_0 a la fuerza resultante es sencillamente sumar una profundidad equivalente $h_{equiv} = P_0/\rho g$ a h_c ; es decir, suponer la presencia de una capa adicional de líquido de espesor h_{equiv} sobre la parte superior del líquido, con un vacío absoluto encima.

En seguida, se necesita determinar la línea de acción de la fuerza resultante F_R . Dos sistemas de fuerza son equivalentes si tienen la misma magnitud y el mismo momento alrededor de cualquier punto. En general, la línea de acción de la fuerza hidrostática resultante no pasa por el centroide de la superficie (está debajo, en donde la presión es más alta). El punto de intersección de la línea de acción de la fuerza resultante y la superficie es el centro de presión. La ubicación vertical de la línea de acción se determina cuando se iguala el momento de la fuerza resultante al momento de la fuerza de presión distribuida, respecto al eje x. Esto da

$$y_p F_R = \int_A y P dA =$$

$$\int_A y (P_0 + \rho g y \sin\theta) dA = P_0 \int_A y dA + \rho g \sin\theta \int_A y^2 dA \quad \text{Ecuación 8}$$

$$y_p F_R = P_0 Y_C A + \rho g \sin\theta I_{xx,0} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde y_p es la distancia del centro de presión al eje x (el punto 0 de la Figura 8) e $I_{xx,0} = \int_A y^2 dA$ es el segundo momento del área (llamado también momento de inercia de área) respecto al eje x, en los manuales de la ingeniería se cuenta con amplitud los segundos momentos de área para formas comunes, pero suelen darse con respecto a los ejes que pasan por el centroide del área, por fortuna, los segundos momentos de área respecto a dos ejes

paralelos están interrelacionados por el teorema de los ejes paralelos, el cual en este caso se expresa como

$$I_{XX,0} = I_{XX,C} + y_c^2 A \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde $I_{XX,C}$ es el segundo momento de área respecto al eje x que pasa por el centroide del área y y_c (la coordenada “y” del centroide) es la distancia entre los dos ejes paralelos. Si se sustituye la relación de F_R dada por la ecuación 8 y la relación $I_{XX,0}$ dada por la ecuación 10 y se despeja y_p da

$$y_p = y_c + \frac{I_{XX,C}}{\left(y_c + \frac{P_0}{\rho g \operatorname{sen}\theta}\right) A} \quad \text{Ecuación 11}$$

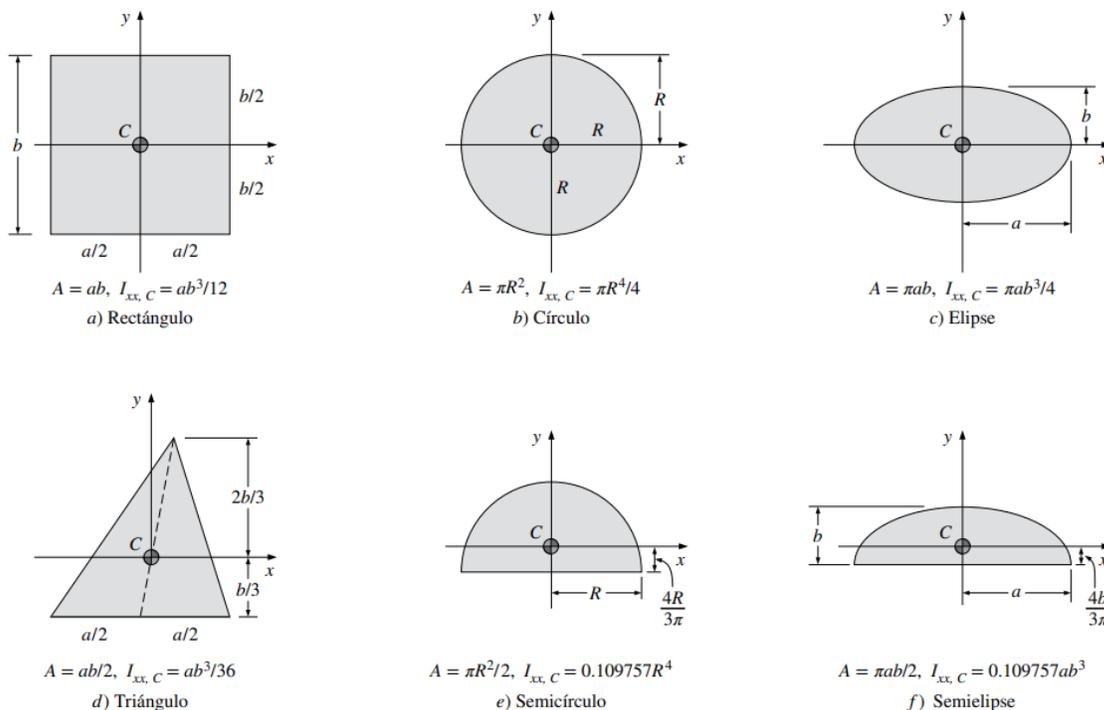
Para $P_0 = 0$ que suele ser el caso cuando se ignora la presión atmosférica se simplifica

$$y_p = y_c + \frac{I_{XX,C}}{y_c A} \quad \text{Ecuación 12}$$

Si se conoce y_p , la distancia vertical del centro de presión a la superficie libre se determina a partir de $h_p = y_p \operatorname{sen} \theta$. En la Figura 9, se dan los valores de $I_{XX,C}$ para algunas áreas comunes, para estas y otras áreas que tienen simetría respecto al eje “y”, el centro de presión esta sobre este eje directamente debajo del centroide. En esos casos, la ubicación del centro de presión es, sencillamente, el punto de la superficie del plano vertical de simetría a una distancia h_p hasta la superficie libre.

Figura 9

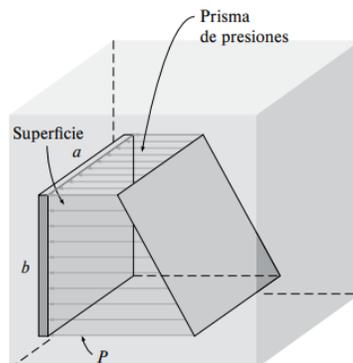
Centroide y momentos centroidales de inercia para algunas configuraciones geométricas comunes (Cengel & Cimbala, 2020)



La presión actúa normal a la superficie y la fuerza hidrostática que interviene sobre una placa plana de cualquier configuración forma un volumen cuya base es el área de la placa y la longitud es la presión de variación lineal; como se muestra en la Figura 10. Este prisma virtual de presiones tiene una interpretación física interesante: su volumen es igual a la magnitud de la fuerza hidrostática resultante que actúa sobre la placa, ya que $F_R = \int P dA$, y la línea de acción de esta fuerza pasa por el centroide del prisma homogéneo. La proyección del centroide sobre la placa es el centro de presión. Por lo tanto, con el concepto de prisma de presiones, el problema de describir la fuerza hidrostática resultante sobre una superficie plana se reduce a encontrar el volumen y las dos coordenadas del centroide de este prisma. (Cengel & Cimbala, 2020)

Figura 10

Las fuerzas hidrostáticas que actúan sobre una superficie plana forman un volumen cuya base (cara izquierda) es la superficie y cuya altura es la presión. (Cengel & Cimbala, 2020)

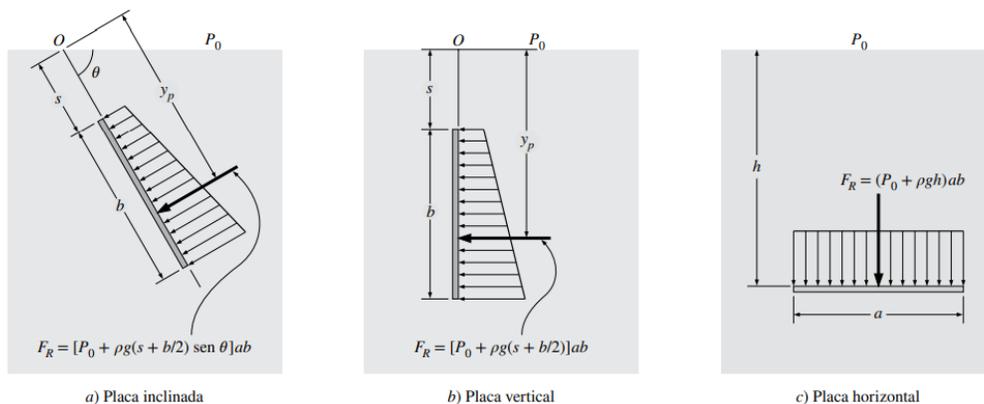


5.4.1 Caso especial: Placa rectangular sumergida.

Considere una placa plana rectangular totalmente sumergida de altura b y ancho a , que está inclinada, forma un ángulo Θ respecto a la horizontal y cuyo borde superior está horizontal y se encuentra a una distancia S de la superficie libre, a lo largo del plano de la placa, como se muestra en la Figura 11(a). La fuerza hidrostática resultante sobre la superficie superior es igual a la presión promedio, la cual es la presión en el punto medio de esa superficie, multiplicada por el área superficial A . (Cengel & Cimbala, 2020)

Figura 11

Fuerza hidrostática que actúa sobre la superficie superior de una placa rectangular sumergida, para los casos inclinada, vertical, horizontal.



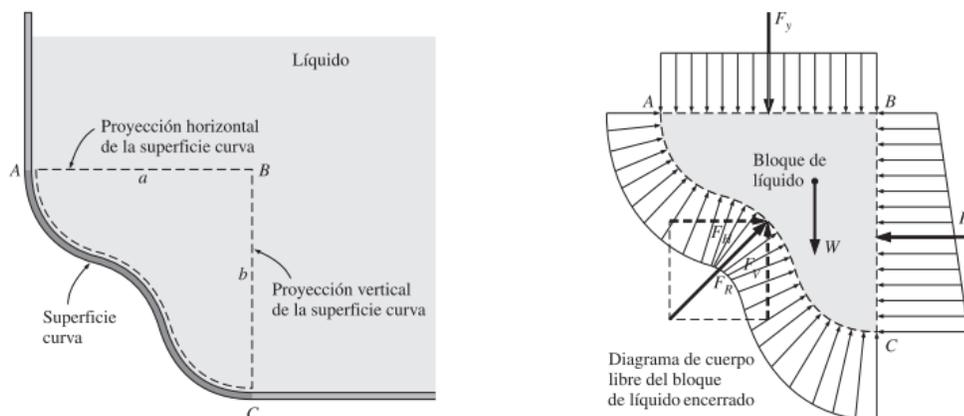
5.4.2 Fuerzas hidrostáticas sobre superficies curvas sumergidas.

Para una superficie curva sumergida, la determinación de la fuerza hidrostática resultante es más complicada, en virtud de que es común que se necesite la integración de las fuerzas de presión que cambian de dirección a lo largo de la superficie curva. En este caso, el concepto de prisma de presiones tampoco es de mucha ayuda debido a las configuraciones complicadas con las que se trata.

La manera más fácil de determinar la fuerza hidrostática resultante F_R que actúa sobre una superficie curva bidimensional es determinar las componentes horizontal y vertical F_H , y F_V por separado. Esto se realiza cuando se considera el diagrama de cuerpo libre del bloque de líquido encerrado por la superficie curva y las dos superficies planas (una horizontal y la otra vertical) que pasan por los dos extremos de la superficie curva, como se muestra en la Figura 12. Note que la superficie vertical del bloque de líquido considerado es sencillamente la proyección de la superficie curva sobre un plano vertical, y la horizontal es la proyección de la superficie curva misma sobre un plano horizontal. La fuerza resultante que actúa sobre la superficie sólida curva es igual y opuesta a la que actúa sobre la superficie líquida curva (tercera ley de Newton).

Figura 12

Fuerza hidrostática que actúa sobre una superficie curva sumergida (Cengel & Cimbala, 2020)



Se puede determinar la fuerza que actúa sobre la superficie plana imaginaria, horizontal o vertical, y su línea de acción. El peso del bloque de líquido de volumen V es sencillamente $W = \rho g V$, y actúa hacia abajo pasando por el centroide de este volumen. Cuando se observa que el bloque de fluido está en equilibrio estático, los balances de las fuerzas en las direcciones horizontal y vertical dan

Componente horizontal de la fuerza sobre la superficie curva:

$$F_H = F_X \quad \text{Ecuación 13}$$

Componente vertical de la fuerza sobre la superficie curva:

$$F_V = F_Y \pm w \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde, la suma $F_Y \pm w$ es una adición vectorial (es decir, se suman las magnitudes si las dos actúan en la misma dirección y se restan si actúan en direcciones opuestas). Por lo tanto, se infiere que:

1. La componente horizontal de la fuerza hidrostática que actúa sobre una superficie curva es igual (en magnitud y respecto a la línea de acción) a la fuerza hidrostática que actúa sobre la proyección vertical de esa superficie curva.

2. La componente vertical de la fuerza hidrostática que actúa sobre una superficie curva es igual a la fuerza hidrostática que actúa sobre la proyección horizontal de esa superficie curva, más (menos, si actúa en la dirección opuesta) el peso del bloque de fluido.

La magnitud de la fuerza hidrostática resultante que actúa sobre la superficie curva es

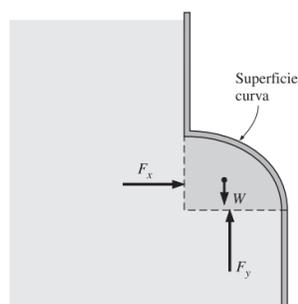
$$F_R = \sqrt{F_H^2 + F_V^2}, \text{ la tangente del ángulo que forma con la horizontal es } \tan \alpha = F_V/F_H. \text{ Se}$$

puede determinar la localización exacta de la línea de acción de la fuerza resultante (por ejemplo, su distancia a uno de los puntos extremos de la superficie curva) tomando un

momento respecto a un punto apropiado. Estas observaciones son válidas para todas las superficies curvas, sin importar si se encuentran arriba o abajo del líquido. Note que en el caso de una superficie curva que está arriba de un líquido, el peso del líquido se resta de la componente vertical de la fuerza hidrostática, porque actúan en direcciones opuestas, (Figura.13).

Figura 13

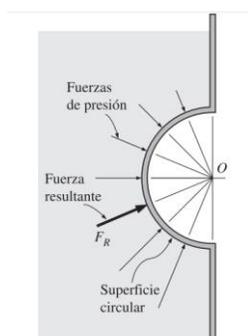
Cuando una superficie está arriba del líquido, el peso del líquido y la componente vertical de la fuerza hidrostática actúan en direcciones opuestas. (Cengel & Cimbala, 2020)



Cuando la superficie curva es un arco circular (círculo completo o cualquier parte de él), la fuerza hidrostática resultante que actúa sobre la superficie siempre pasa por el centro del círculo. Esto se debe a que las fuerzas de presión son normales a la superficie, y todas las líneas normales a la superficie de un círculo pasan por el centro del mismo. De este modo, las fuerzas de presión forman un sistema de fuerzas concurrentes en el centro, el cual se puede reducir a una sola fuerza equivalente en ese punto (Figura 14).

Figura 14

Fuerza hidrostática que actúa sobre una superficie rectangular (Cengel & Cimbala, 2020)



Por último, se pueden determinar las fuerzas hidrostáticas que actúan sobre un plano o superficie curva sumergidos en un fluido de capas múltiples de densidades diferentes, cuando se consideran las distintas partes de la superficie que se encuentran en los diferentes fluidos como superficies distintas, y al encontrar la fuerza sobre cada una de las partes, y a continuación se suman aplicando la adición vectorial. (Cengel & Cimbala, 2020)

5.5 Ecuación de Cantidad de Movimiento Lineal.

La segunda ley de Newton para un sistema de masa m sometido a una fuerza neta F se expresa como

$$\vec{F} = m\vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d}{dt}(m\vec{v}) \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde, $m\vec{v}$ es la cantidad de movimiento lineal del sistema, note que tanto la densidad como la velocidad pueden cambiar de punto a punto dentro del sistema, la segunda ley de Newton se puede expresar de manera más general como:

$$\sum \vec{F} = \frac{d}{dt} \int_{sist} \rho \vec{v} dV \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde $\rho \vec{v} dV$ es la cantidad de movimiento de un elemento diferencial de volumen dV , que tiene una masa $dm = \rho dV$. La suma de fuerzas $\sum \vec{F}$ consiste, en la mayoría de los casos, en pesos, fuerzas de presión y fuerzas de reacción. Por lo tanto, la segunda ley de Newton puede enunciarse como la suma de todas las fuerzas externas que actúan sobre un sistema es igual a la razón de cambio respecto al tiempo de la cantidad de movimiento lineal de ese sistema. Este enunciado es válido para un sistema de coordenadas que esté en reposo o se mueva con velocidad constante, conocido como sistema inercial de coordenadas o marco inercial de referencia.

La ecuación 16 es para una masa dada de un sólido y es de uso limitado en la mecánica de fluidos, ya que la mayoría de los sistemas de flujo se analizan con el uso de volúmenes de control. El teorema del transporte de Reynolds proporciona las herramientas necesarias para pasar de la formulación de sistema a la de volumen de control.

$$\frac{d(B)_{SIST}}{dt} = \frac{d}{dt} \int_{VC} \rho b dV + \int_{SC} \rho b (\vec{V}_r \cdot \vec{n}) dA \quad \text{teorema de Reynolds VC no fijo}$$

Si se hace $B = m\vec{V}$ (propiedad extensiva) entonces $b = \vec{V}$ (propiedad intensiva) y, el teorema del transporte de Reynolds puede expresarse para la cantidad de movimiento lineal como:

$$\frac{d(m\vec{V})_{SIST}}{dt} = \frac{d}{dt} \int_{VC} \rho \vec{V} dV + \int_{SC} \rho \vec{V} (\vec{V}_r \cdot \vec{n}) dA \quad \text{Ecuación 17}$$

Pero por la ecuación 15, la parte izquierda de esta ecuación es $\sum \vec{F}$, cuando se sustituye se obtiene la fórmula general de la ecuación de cantidad de movimiento lineal que se aplica a los volúmenes de control fijos, en movimiento o en deformación, es:

General:

$$\sum \vec{F} = \frac{d}{dt} \int_{VC} \rho \vec{V} dV + \int_{SC} \rho \vec{V} (\vec{V}_r \cdot \vec{n}) dA \quad \text{Ecuación 18}$$

La cual se puede enunciar como

La suma de todas las fuerzas externas que actúan sobre un VC	=	La razón de cambio con respecto al tiempo de la cantidad de movimiento lineal del contenido de VC	+	El flujo neto del momento lineal hacia afuera de la superficie de control por el flujo de masa
--	---	---	---	--

En este caso $\vec{V}_r = \vec{V} - \vec{V}_{sc}$, es la velocidad (relativa) del fluido con relación a la superficie de control para usarse en los cálculos de flujo de masa en todos los lugares por donde el fluido cruza la superficie de control y \vec{V} es la velocidad del fluido como se ve desde un marco inercial de referencia. El producto $\rho (\vec{V}_r \cdot \vec{n}) dA$ representa el flujo de masa que pasa por el elemento de área dA hacia adentro o hacia afuera del volumen de control. Para un volumen fijo de control (no hay movimiento ni deformación del volumen de control), $\vec{V}_r = \vec{V}$ y la ecuación de cantidad de movimiento queda:

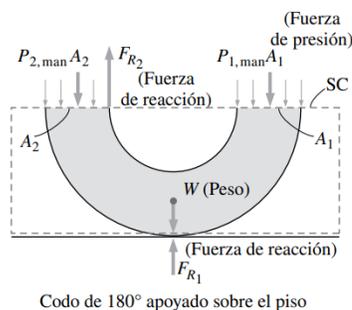
VC fijo

$$\sum \vec{F} = \frac{d}{dt} \int_{VC} \rho \vec{V} dV + \int_{SC} \rho \vec{V} (\vec{V} \cdot \vec{n}) dA \quad \text{Ecuación 19}$$

Note que la ecuación de la cantidad de movimiento es una ecuación vectorial, y donde cada término debe tratarse como un vector. Asimismo, por conveniencia, las componentes de esta ecuación pueden resolverse a lo largo de coordenadas ortogonales (como x, y, z en el sistema de coordenadas cartesianas). La suma de fuerzas $\sum \vec{F}$ consiste, en la mayoría de los casos, en pesos, fuerzas de presión y fuerzas de reacción (Figura 15). La ecuación de la cantidad de movimiento es de uso común para calcular las fuerzas (por lo general sobre los sistemas o conectores) inducidas por el flujo (Cengel & Cimbala, 2020)

Figura 15

En la mayoría de los sistemas de flujo, la fuerza $\sum \vec{F}$ consta de fuerzas de peso, de presión y de reacción. En este caso, se usan presiones manométricas, porque la presión atmosférica se cancela sobre todos los lados de la superficie de control. (Cengel & Cimbala, 2020).



5.6 Factor de corrección del flujo de la cantidad de movimiento, β .

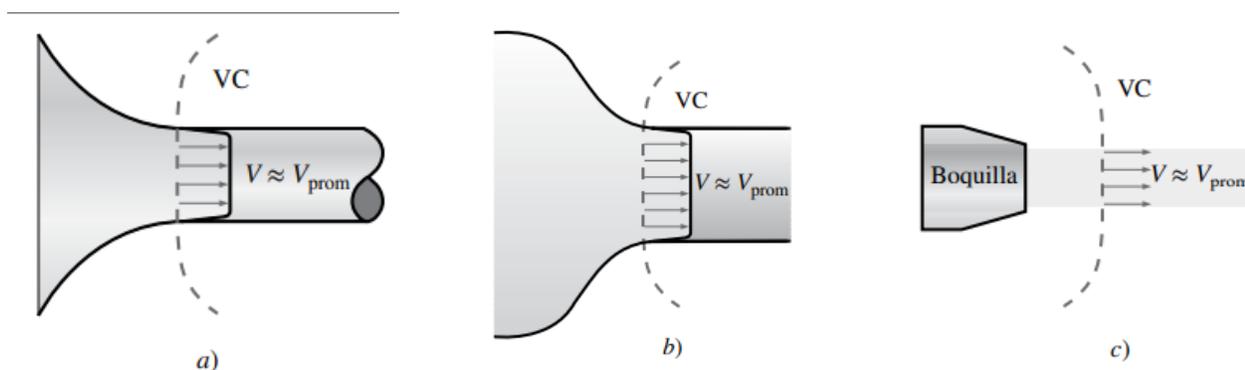
Por desgracia, la velocidad a través de la mayoría de las entradas y salidas de interés para la ingeniería práctica no es uniforme. Sin embargo, resulta que, puede convertirse la integral de la superficie de control de la ecuación 19 en una forma algebraica, pero se necesita un factor adimensional de corrección β , llamado factor de corrección del flujo de la cantidad de movimiento, según lo demostró por primera vez el científico francés Joseph Boussinesq (1842-1929). Entonces, la forma algebraica de la ecuación 19 para un volumen de control fijo se escribe como:

$$\Sigma \vec{F} = \frac{d}{dt} \int_{VC} \rho \vec{V} dV + \Sigma_{sal} \beta \dot{m} \vec{V}_{prom} - \Sigma_{ent} \beta \dot{m} \vec{V}_{prom} \quad \text{Ecuación 20}$$

Donde, se aplica un valor único del factor de corrección del flujo de la cantidad de movimiento a cada entrada y cada salida en la superficie de control. Note que $\beta = 1$ para el caso de flujo uniforme sobre una entrada o salida, como en la figura 16. Para el caso general, se define β de tal manera que la forma integral del flujo de la cantidad de movimiento hacia adentro o hacia afuera de la superficie de control, en una entrada o salida con área A_c de la sección transversal, se pueda expresar en términos de la tasa de flujo de masa \dot{m} a través de esa entrada o salida, y la velocidad promedio \vec{V}_{prom} a través de éstas.

Figura 16

Ejemplos de entradas o salidas en las cuales la aproximación de flujo uniforme es razonable: a) la entrada redondeada a un tubo, b) la entrada a la sección de pruebas de un túnel de viento y c) un corte a través de un chorro de agua en el aire. (Cengel & Cimbala, 2020).



Flujo de la cantidad de movimiento a través de una entrada o salida

$$\int_{A_c} \rho \vec{V} (\vec{V} \cdot \vec{n}) dA_c = \beta \dot{m} \vec{V}_{prom} \quad \text{Ecuación 21}$$

Factor de corrección de flujo de cantidad de movimiento

$$\beta = \frac{1}{A_c} \int_{A_c} \left(\frac{v}{V_{prom}} \right)^2 dA_c \quad \text{Ecuación 22}$$

Se puede demostrar que β , siempre es mayor que la unidad o igual a ésta.

5.6.1 Flujo estacionario.

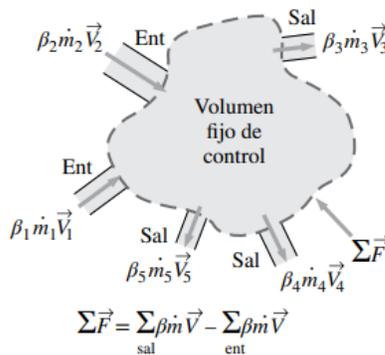
Si el flujo es estacionario, el término de la derivada respecto al tiempo de la ecuación 20 se anula y queda:

$$\Sigma \vec{F} = \Sigma_{sal} \beta \dot{m} \vec{V} - \Sigma_{ent} \beta \dot{m} \vec{V} \quad \text{Ecuación 23}$$

Donde se ha eliminado el subíndice “prom” de la velocidad promedio. La ecuación 23 expresa que la fuerza neta que actúa sobre el volumen de control en el caso de flujo estacionario es igual a la diferencia entre las razones de los flujos entrantes y salientes de la cantidad de movimiento. En la figura 17 se ilustra este enunciado. También puede expresarse en cualquier dirección, ya que la ecuación 23 es una ecuación vectorial.

Figura 17

La fuerza neta que actúa sobre el volumen de control en caso de flujo estacionario es igual a la diferencia entre los flujos de la cantidad de movimientos salientes y entrantes. (Cengel & Cimbala, 2020).



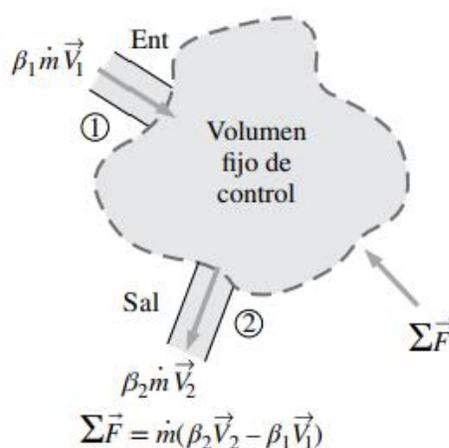
5.6.2 Flujo estacionario con una entrada y una salida.

En muchos problemas prácticos intervienen sólo una entrada y una salida (Figura 18). El flujo de masa para esos sistemas de una sola corriente se mantiene constante y la ecuación 23 se reduce a:

$$\Sigma \vec{F} = \dot{m}(\beta_2 \vec{V}_2 - \beta_1 \vec{V}_1) \quad \text{Ecuación 23}$$

Figura 18

Un volumen de control con sólo una entrada y una salida. (Cengel & Cimbala, 2020).



Donde se ha adoptado de que el subíndice 1 implica la entrada y el 2 la salida, y \vec{V}_1 y \vec{V}_2 denotan las velocidades promedio a través de la entrada y de la salida, respectivamente. Se enfatiza una vez más que todas las relaciones antes dadas son ecuaciones vectoriales y, donde, todas las adiciones y sustracciones son vectoriales. Recuerde que restar un vector equivale a sumarlo después de invertir su dirección (Figura 19). Asimismo, cuando se escribe la ecuación de la cantidad de movimiento a lo largo de una coordenada especificada (como el eje x), se usan las proyecciones de los vectores sobre ese eje. Por ejemplo, la ecuación 23 puede escribirse a lo largo de la coordenada x como

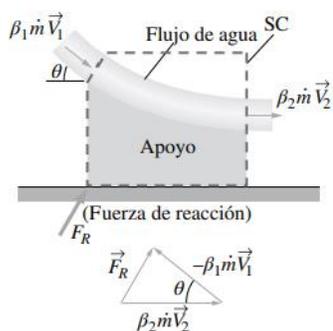
A lo largo de la coordenada x:

$$\Sigma F_x = \dot{m}(\beta_2 V_{2,x} - \beta_1 V_{1,x}) \quad \text{Ecuación 24}$$

Donde $\sum F_x$ es la suma vectorial de las componentes en x de las fuerzas, y $V_{1,x}$ y $V_{2,x}$ son las componentes en x de las velocidades de entrada y salida de la corriente de fluido, respectivamente. Las componentes de la fuerza o de la velocidad en la dirección x positiva son cantidades positivas y aquellas en la dirección x negativa son cantidades negativas. También, es una práctica adecuada tomar la dirección de las fuerzas desconocidas en las direcciones positivas (a menos que el problema sea muy directo). Un valor negativo que se obtenga para una fuerza desconocida indica que la dirección supuesta no es la correcta y debe invertirse.

Figura 19

Determinación por adición vectorial de la fuerza de reacción sobre el soporte causada por un cambio de dirección del agua. (Cengel & Cimbala, 2020).



Nota: $\vec{V}_2 \neq \vec{V}_1$ inclusive si $|\vec{V}_2| = |\vec{V}_1|$

6. Elaboración de las guías de laboratorio.

“Es importante que existan mecanismos de comprobación de la efectividad de la metodología de la enseñanza-aprendizaje, a través de un análisis y evaluación de forma colegiada, de la efectividad de la metodología de la enseñanza-aprendizaje” (Agencia Centroamericana de Acreditación de Arquitectura y de Ingeniería, 2012).

“En el caso de las áreas científicas, tecnológicas y de diseño, es importante que existan actividades de trabajo grupal que van más allá del aprendizaje de conceptos y que permite integrar teoría y práctica en laboratorios, talleres o centros de prácticas, congruentes con los objetivos académicos del Programa” (Agencia Centroamericana de Acreditación de Arquitectura y de Ingeniería, 2012).

Según los requerimientos de calidad mencionados en el Manual de Acreditación se utilizará de referencia la siguiente estructura para la elaboración de la guía evaluativa para la realización de las prácticas de laboratorio. (Agencia Centroamericana de Acreditación de Arquitectura y de Ingeniería, 2012).

- a. Objetivo general.
- b. Objetivos específicos.
- c. Metas.
- d. Contenidos principales.
- e. Organización de los grupos de trabajo.
- f. Metodología.
- g. Evaluación.
- h. Recursos.
- i. Bibliografía.

7. Hipótesis y Variables.

Dado el diseño, con la selección de materiales y costos se obtendrá la viabilidad de la construcción de los dos bancos de ensayos.

Variable.

➤ Independiente.

Densidad: Es la cantidad de masa por unidad de volumen de una sustancia, en este caso se considera constante solo se estará utilizando agua como fluido de trabajo.

Altura: Distancia desde la superficie libre del líquido, esta variable afecta de manera directa a la presión ejercida por el fluido sobre las superficies. Se realizará el ensayo a diferentes distancias entre la superficie del líquido y el área comprendida por la superficie.

Área de la superficie: Esta propiedad está definida por el diseño geométrico de la superficie, será la misma durante todos los ensayos.

Caudal: Es el volumen de fluido que circula en una sección por unidad de tiempo.

➤ Dependiente.

Presión Hidrostática: Esta magnitud es resultante de la densidad del líquido, y la distancia o profundidad a la que se encuentre la superficie y a su vez de la geometría de la misma.

Fuerza del chorro: Esta variable es dependiente del caudal o de la velocidad con la que el fluido sale de la boquilla.

8. Diseño Metodológico.

Alcance.

Se dispone a proveer dos bancos de ensayo uno de hidrostática y otro de fuerza ejercida por un chorro (cantidad de movimiento), se espera que este proyecto sea un aporte orientado a que los estudiantes puedan complementar su conocimiento teórico con la parte práctica, y por ende comprobar dichas teorías.

Tipo de investigación.

Esta investigación será de índole descriptiva y correlacional. Descriptiva, porque conlleva a describir y caracterizar los fenómenos presentes tal como son en nuestro estudio, sin necesidad de establecer relaciones casuales entre variables.

Es correlacional ya que se analizará la relación de dos o más variables y la influencia que tiene una sobre la otra, ya que en estos bancos de ensayo se pretende variar parámetros para ver cómo es el comportamiento de la variable a evaluar, la que trabajaremos en las prácticas de laboratorio.

Diseño de la investigación.

El tipo de investigación a realizar es de carácter experimental, ya que se manipularán una o más variables independientes intencionalmente, para analizar la consecuencia que tiene sobre las variables dependientes.

Tipo de enfoque.

Esta investigación que tiene como tema “Diseño y Construcción de Banco de Ensayo Fuerza Hidrostática en Líquidos sobre superficies planas y curvas y Fuerzas ejercidas por un chorro para la realización de prácticas didácticas en el Laboratorio de Turbomáquinas; UNI-RUPAP” será de tipo cuantitativo debido a que se tomaron en cuenta variables como: el caudal

que será determinado con un recipiente graduado con respecto al tiempo de llenado, la distancia del nivel de fluido que se medirá con una regla graduada y la fuerza a través de un mecanismo de contrapeso.

Población y Muestra.

La población está conformada por todos los datos posibles que se pueden recoger de los bancos de ensayo de hidrostática y fuerza ejercida por un chorro

La muestra es de carácter probabilístico aplicado a un muestreo estratificado. Se seleccionó debido que permite una mejor representación de los diferentes escenarios experimentales y proporcionará datos más robustos para el análisis de correlaciones entre variables.

Técnica de recopilación de datos.

Los datos se obtuvieron de diferentes fuentes bibliográficas (libros, tesis, catálogos) y de modelos de bancos de ensayos existentes de empresas que se dedican a la elaboración de estos.

Técnica para el procesamiento de información.

En el presente se utilizó el software de diseño como AutoCAD y SolidWorks para la realización del diseño de ambos equipos, además se utilizó Excel, para la realización de los cálculos de resistencia, a su vez se procesó, analizo y se representó los datos obtenidos durante los ensayos

Instrumentos

Regla Graduada de precisión: utilizada para medir el nivel de agua contenido en el recipiente.

Brazo Graduado: permite medir la distancia del peso con respecto al punto de pivote.

Pesos: calibrados mediante una báscula electrónica certificada para medir la fuerza ejercida.

Cronometro: Utilizado medir el tiempo de llenado del recipiente graduado para determinar el caudal

10. Fase de diseño del Banco de Ensayo fuerza ejercida por un chorro.

Esta sección abarcó todo lo relacionado con la primera etapa del proyecto, la etapa de diseño, se han tomado en cuenta las características de la bomba disponible más común en el mercado nacional para su uso en este proyecto, en nuestro caso una bomba marca Trupper de ½ hp.

Características de la bomba a utilizar.

Figura 20

Bomba centrífuga marca Trupper modelo BOAC-1/2.

Bombas centrífugas, modelo europeo, ½ HP y ¼

- Profundidad máxima de succión: **8 m**
- Velocidad: 3,450 rpm
- Tensión / Frecuencia: 127 V / 60 Hz

- Compactas y s
- Motor cerrado ayudan a una r



Motor con bobinas de COBRE

2x Mayor durabilidad que las de aluminio



Capacitor para mayor potencia al arranque



Impulsor de latón



Balero metálico



½ HP



Código:	10072
Clave:	■ BOAC-1/2
Consumo:	5 A
Altura máxima:	23 m
Flujo máximo:	90 L/min
Ø Entrada / salida:	1" NPT
Ciclo de trabajo:	50 min. de trabajo x 20 min. de de
Dimensiones:	B 17 x A 22 x F 28 cm
Peso:	7.4 kg

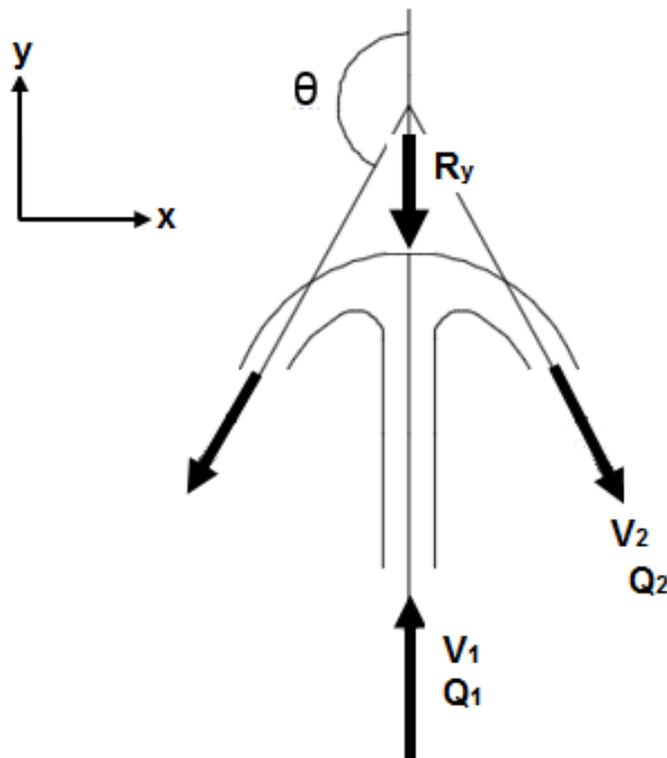
10.1 Aplicación del Teorema de Cantidad de Movimiento.

Para determinar la expresión que define el comportamiento en esta práctica partimos de la ecuación obtenida en el apartado anterior (cantidad de movimiento) y la aplicamos al caso bidimensional, ya que todos los deflectores son piezas de revolución. Se consideró un chorro de agua que golpea una placa fija como se muestra a continuación.

El chorro se desvía mediante el intercambio de impulso. Según la segunda ley del movimiento de Newton, el flujo de impulso en el volumen de control es igual a la magnitud de la reacción neta ejercida por la placa.

Figura 21

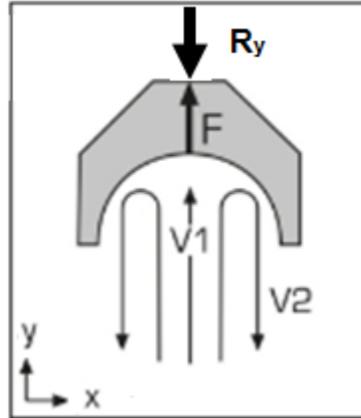
Diagrama de impacto de un chorro sobre una superficie.



10.2 Aplicación de la ecuación de cantidad de movimiento para los deflectores:

Figura 22

Deflector 180°.



Aplicando ecuación 23 (una salida, una entrada):

$$\sum \vec{F} = \dot{m}(\beta_2 \vec{V}_2 - \beta_1 \vec{V}_1)$$

$\Sigma F_x = 0$, no hay componentes de velocidad en la dirección x

$$\Sigma F_y = \dot{m}(\beta_2 V_{2y} - \beta_1 V_{1y})$$

$$\dot{m} = \rho Q$$

$$-R_y = \rho Q(\beta_2 V_2 \cos 180^\circ - \beta_1 V_1 \cos 0^\circ)$$

$\beta = 1$, asumiendo flujo uniforme en la entrada y la salida.

$$w = mg = R_y$$

$$-mg = \rho Q(\beta_2 V_2 \cos 180^\circ - \beta_1 V_1 \cos 0^\circ)$$

$$-mg = \rho Q(V_2 \cos 180^\circ - V_1)$$

$$Q_2 = Q_1 = Q \quad \text{Ecuación de Continuidad.}$$

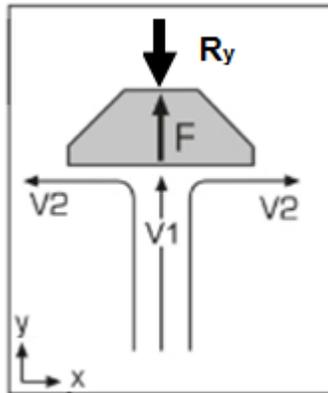
$$V_2 = V_1 = V \quad \text{No hay pérdidas por fricción.}$$

$$Q_1 = V_1 * A_1 \rightarrow V_1 = Q_1/A_1, \quad \text{donde: } A_1 = A = \text{área de la boquilla.}$$

$$-mg = \rho Q \left(-\frac{Q}{A} - \frac{Q}{A} \right)$$

$$R_y = mg = \frac{2\rho Q^2}{A}$$

Figura 23
Deflector 90°.



$\Sigma F_x = 0$, hay componentes de velocidad en la dirección x, pero fuerza resultante es cero

$$\Sigma F_y = \dot{m}(\beta_2 V_{2y} - \beta_1 V_{1y})$$

$$\dot{m} = \rho Q$$

$\beta = 1$, asumiendo flujo uniforme en la entrada y la salida.

$$V_{2y} = 0$$

$$w = mg = R_y$$

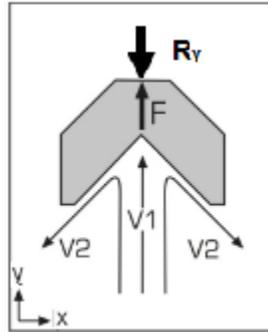
$$-R_y = \rho Q(-V_1 \cos 0^\circ)$$

$$-mg = -\rho Q(V_1)$$

$$Q = Q_1 = V_1 * A_1 \rightarrow V_1 = Q_1/A_1, \quad \text{donde: } A_1 = A = \text{área de la boquilla.}$$

$$R_y = mg = \frac{\rho Q^2}{A}$$

Figura 24
Deflector 135°



$\Sigma F_x = 0$, hay componentes de velocidad en la dirección x, pero fuerza resultante es cero

$$\Sigma F_y = \dot{m}(\beta_2 V_{2y} - \beta_1 V_{1y})$$

$$\dot{m} = \rho Q$$

$\beta = 1$, asumiendo flujo uniforme en la entrada y la salida.

$$w = mg = R_y$$

$$-mg = \rho Q(\beta_2 V_2 \cos 135^\circ - \beta_1 V_1 \cos 0^\circ)$$

$$-mg = \rho Q(V_2 \cos 135^\circ - V_1)$$

$$Q_2 = Q_1 = \quad \text{Ecuación de Continuidad.}$$

$$Q_1 = V_1 * A_1 \rightarrow V_1 = Q_1/A_1, \quad \text{donde: } A_1 = A = \text{área de la boquilla.}$$

$$V_2 = V_1 = V \quad \text{No hay pérdidas por fricción.}$$

$$-mg = \rho Q \left(-\frac{\sqrt{2}Q}{2A} - \frac{Q}{A} \right)$$

$$R_y = mg = \frac{(2 + \sqrt{2})\rho Q^2}{2A}$$

Estas fórmulas se usaron como referencia para el diseño de las partes no estructurales, las que influirán en el flujo del agua, en este caso la boquilla. Además, calcular la velocidad máxima del chorro que para ello se mantiene fijo el diámetro de salida y se varía el caudal mediante válvulas, como se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 1

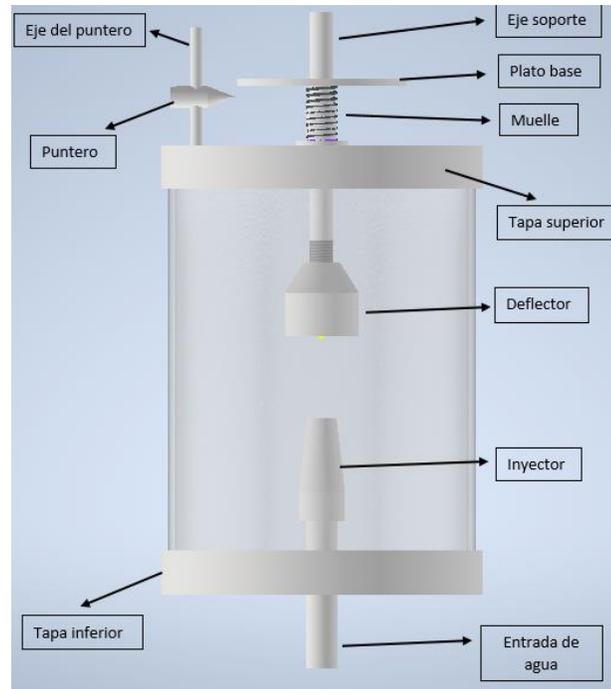
Cálculo de la velocidad máxima de salida del chorro

Área de salida (m ²)	Caudal (l/min)	Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)
7,85423E-05	20	0,0003334	4,24484911
7,85423E-05	30	0,0005001	6,367273665
7,85423E-05	40	0,0006668	8,48969822
7,85423E-05	50	0,0008335	10,61212277
7,85423E-05	60	0,0010002	12,73454733
7,85423E-05	70	0,0011669	14,85697188
7,85423E-05	80	0,0013336	16,97939644
7,85423E-05	90	0,0015003	19,10182099

Nota. El diámetro de salida del inyector es de 10 mm.

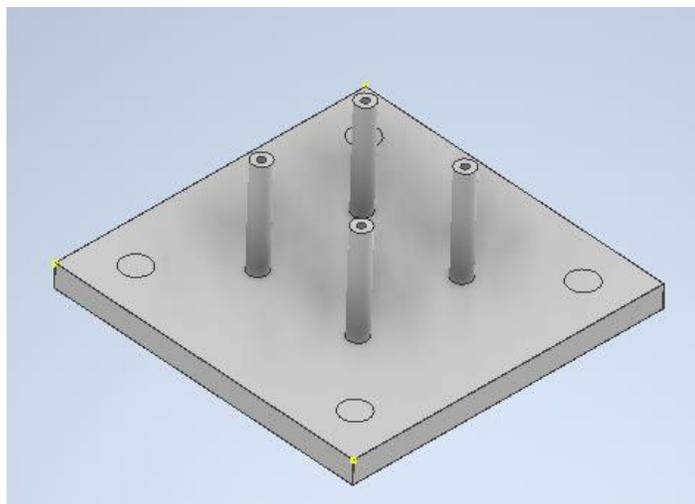
10.3 Modelado 3D mediante inventor

Figura 25
Esquema del banco de ensayo



Se construyó primero la base o estructura donde va montado nuestro proyecto para poder realizar el diseño de las tapaderas del cilindro que van unidas con éste por cuatro espárragos que se sujetan a la base.

Figura 26
Base del banco de ensayo 3d.



Medidas de la base

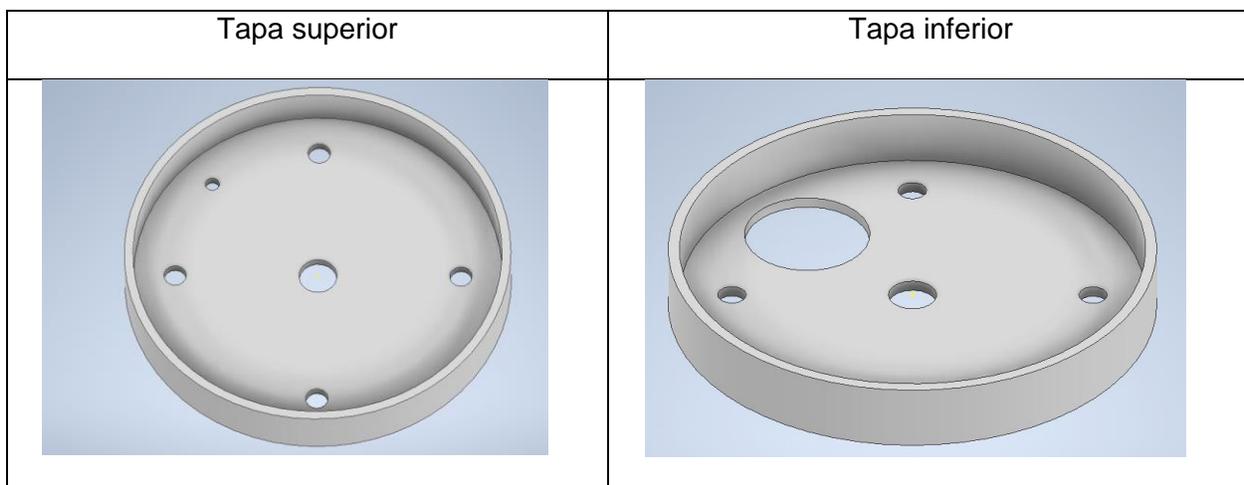
Dimensiones 340 mm x 340 mm con un grosor de lámina de $\frac{1}{4}$ de pulgada.

Elaboración de las tapas

Con una extensión a partir del diámetro interno del cilindro (208 mm) para evitar así que el agua salga por la parte superior y la parte inferior. Se fabricaron de madera y aplicándoles un sellador para impermeabilizar la superficie que estará en contacto con el agua.

Figura 27

Tapa superior y tapa inferior.

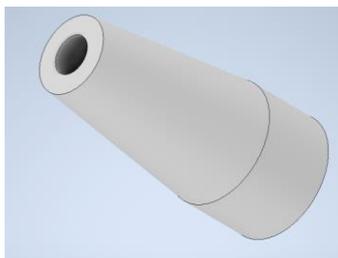


Inyector.

La salida del chorro en la boquilla o inyector se definió en 10 mm, unida ésta a un tubo de PVC de 22 milímetros de diámetro estándar.

Figura 28

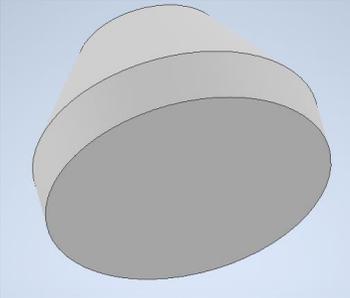
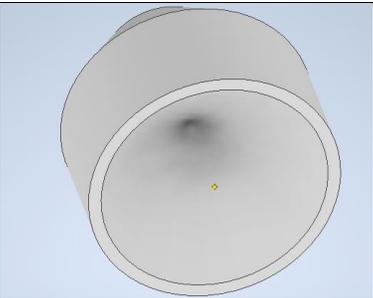
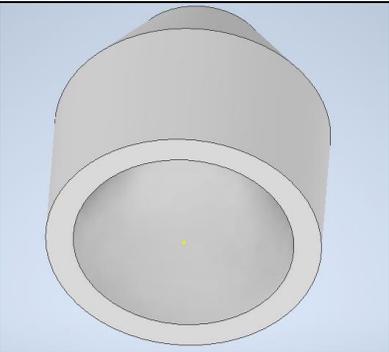
Inyector.



Deflectores de impacto de chorro.

Figura 29

Deflector recto, oblicuo, semicircular.

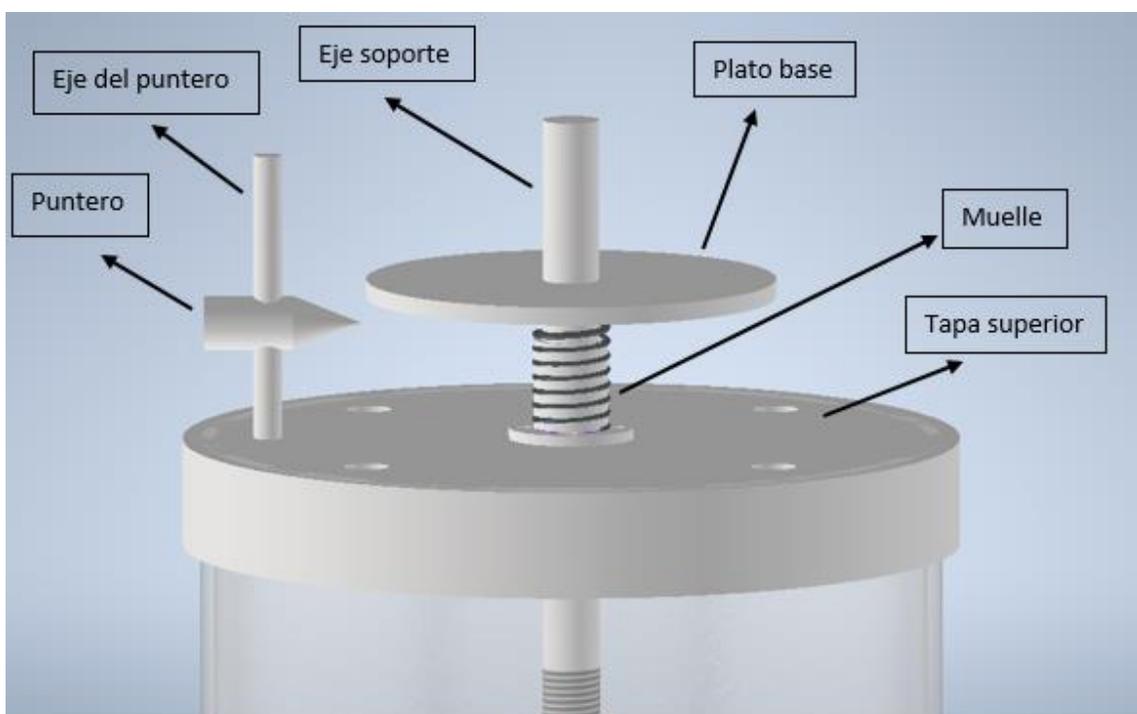
	<p>Con ángulo de deflexión de 90°.</p>
	<p>Con ángulo de deflexión de 135°.</p>
	<p>Con ángulo de deflexión 180°.</p>

10.4 Mecanismo de equilibrio.

Es el sistema que permitirá al referenciar la posición de inicio y posteriormente auxiliarse de esta posición para ajustar el caudal, haciendo así que varíe la fuerza y llegar al punto de inicio (equilibrio) y poder obtener experimentalmente la fuerza (adición de pesas) que ejerce el chorro y compararlo con el resultado teórico. Un mecanismo muy fácil de usar, en el que por un lado cuenta con el eje que soporta en uno de sus extremos el deflector (roscado),

desplazándose por el agujero central de la tapa superior, luego se posiciona un muelle y encima de este un plato, este plato sirve de base de las pesas calibradas, permitiendo un movimiento ascendente-descendente por efecto de las pesas y la fuerza que ejerce el chorro sobre el deflector. Por otra parte, se fija sobre la tapa un eje paralelo al anterior alejado de éste, en el que se posiciona un puntero referencial que se ajusta a la altura deseada. El esquema de lo descrito es el siguiente:

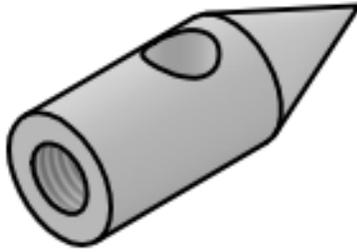
Figura 30
Mecanismo de equilibrio.



10.5 Construcción de piezas por mecanizado.

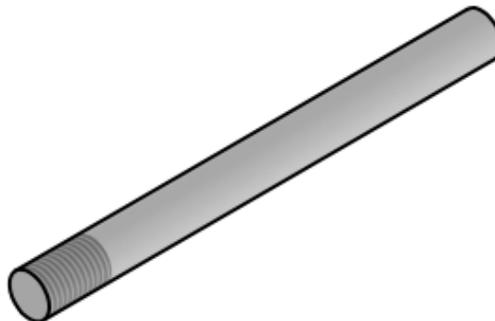
Varias de las piezas debido a que no entran en contacto con el agua se elaboraron en acero. Un ejemplo es el puntero que se utiliza para referenciar el plato en la posición inicial con un tornillo prisionero para fijarlo a lo largo del eje.

Figura 31
Indicador de equilibrio.



Además, se elaboró el eje sobre el que se desliza el puntero y el eje central donde el deflector recibe el impacto del chorro de un material que resistiera la oxidación ya que estos van a estar expuestos a la humedad en nuestro caso acero inoxidable.

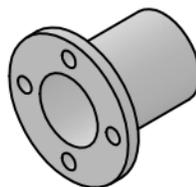
Figura 32
Eje de acero.



Guía de eje soporte.

Se diseñó una guía (buje) para el eje soporte, con el fin de que éste se desplace sin inclinación, se elaboró con un material que reduzca la fricción y no se oxide (teflón).

Figura 33
Guía para el eje soporte.



Juego de pesas.

Se elaboró un juego de pesas de acero al carbón, descrito en la figura siguiente (34).

Figura 34

Descripción del juego de pesas.

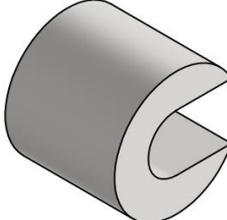
Cantidad de piezas	Pieza	Descripción
2		1 Newton
2		2 Newton
2		5 Newton

Tabla 2

Comparación de las pesas con el valor exacto.

Pesas	Peso exacto (g)	Peso real (g)	Error absoluto	Error relativo (%)
1 N	101,9	102	0,1	0,09814
2 N	203,8	203	0,8	0,39254
5 N	509,6	509	0,6	0,11774

Figura 35

Pesas fabricadas de acero al carbón.

**10.6 Montaje.**

En esta sección se describe la manera en la que se montó el banco de ensayo de fuerza ejercida por un chorro, el proceso y las dificultades que se presentaron además de las razones que las causaron. Debido a que la mayor parte de los componentes han sido comprados en diferentes lugares, así como la elaboración de las diferentes piezas, la instalación se ha hecho en el momento en que se tenía la disposición de estos.

La base: se realizó dicha base con una placa con sobre medida para luego doblarla y soldarla esto con el fin de darle una mejor rigidez a la misma. También se tuvo en cuenta la posición de los tubos donde se colocan las varillas de sujeción de las tapas y el cilindro visor contra salpicadura de agua, para tener una mejor visión de lo que ocurre dentro del cilindro se ha posicionado la base de manera que no interfiera, se hicieron agarraderas para su mejor manipulación, además lleva unas patas ajustables para su nivelación.

Figura 36
Base fabricada de acero.



Varillas de sujeción de las tapas y cilindro a la base.

Con el fin de dar firmeza y hermeticidad a la unión entre la base, la tapa inferior, el cilindro visor y la tapa superior, se utilizan cuatro varillas roscadas de $\frac{1}{4}$ " con una longitud de 460 mm, con juego de tuercas y arandelas.

Figura 37
Varias roscada de $\frac{1}{4}$ ".



Eje del medidor de nivel (puntero).

Para el eje guía del medidor de nivel (puntero) se ha utilizado un eje de 8 mm de diámetro y 90 mm de longitud. Una vez sujeto el eje a la tapa mediante dos tuercas se coloca el puntero y se ajusta a la posición deseada mediante un tornillo. La disposición en la Figura 38.

Figura 38

Medidor de nivel (puntero) posicionado en el eje guía.



Una vez cortadas las varillas roscadas en la longitud correcta y montado el medidor de nivel se ensambló todo el conjunto quedando solamente por añadir el eje que sujeta el deflector y el plato porta pesas.

Montaje del eje soporte de los deflectores.

El eje utilizado es de 16 mm de diámetro y con uno de los extremos roscado (métrico) para el montaje de los deflectores. Se introduce en el buje guía (ya montado en la tapa superior) y se coloca el muelle sobre el que descansa el plato porta pesas. El ensamble completo se muestra en la Figura 39.

Figura 39

Conjunto armado del eje de deflectores, la tapa superior, muelle y porta pesas.

**Muelle**

Se adquirió un muelle helicoidal con una longitud de 50mm, un diámetro externo 25mm y un diámetro de alambre de 1.5mm, se sometió a prueba de laboratorio para determinar su módulo de elasticidad (ley de Hooke) con un valor de 640 N/m, este muelle estará apoyado en la tapadera superior, se someterá a compresión por las pesas y retornará a su estado normal por el impacto del chorro.

Figura 40

muelle

**Manómetro**

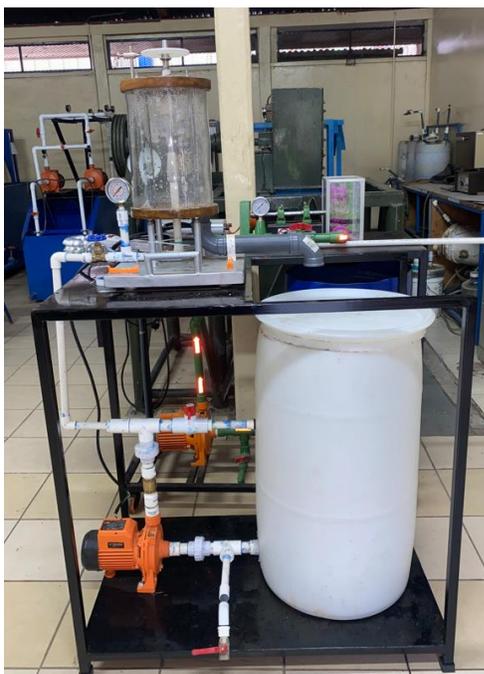
Se instaló un manómetro marca BOSHART con glicerina en la salida de la bomba, después de la válvula de gaveta, con un rango de 0 a 200 psi, esto de forma adicional para lectura de presión de la bomba.

Figura 41
manómetro



Montaje final.

Figura 42
Montaje de todo el conjunto.



Se instaló un by pass con una válvula de bola en la descarga de la bomba para la derivación del caudal esto con la finalidad de regular el caudal de todo el sistema, con la instalación de una válvula de gaveta ubicada en la parte superior se regulará el caudal que ingrese al inyector.

10.7 Pruebas y Resultados.

Una vez terminado el montaje se procedió a comprobar el buen funcionamiento sin fugas. Logrado esto se comenzó con las pruebas pertinentes para la comparación de los resultados experimentales con los teóricos.

Tabla 3

Aforo de caudal con el deflector de 90°.

Deflector de 90°										
Fuerza (N)	Tiempo de llenado en segundos (s)				Tiempo prom (s)	Volumen (l)	Volumen (m ³)	Caudal (m ³ /s)	Caudal (l/s)	Caudal (l/min)
1	6,2	6,3	6	6,19	6,1725	2	0,002	0,00032	0,3240	19,4411
2	4,2	4	4,1	3,97	4,0675	2	0,002	0,00049	0,4917	29,5022
3	4	3,9	4,1	4	4	2	0,002	0,00050	0,5000	30,0000
4	3,15	3,25	3,37	3,53	3,325	2	0,002	0,00060	0,6015	36,0902
5	2,91	2,84	2,87	2,99	2,9025	2	0,002	0,00069	0,6891	41,3437
6	2,84	2,79	2,95	2,69	2,8175	2	0,002	0,00071	0,7098	42,5909
7	2,49	2,48	2,6	2,61	2,545	2	0,002	0,00079	0,7859	47,1513
8	2,42	2,56	2,33	2,42	2,4325	2	0,002	0,00082	0,8222	49,3320
9	2,1	2,18	2,21	2,3	2,1975	2	0,002	0,00091	0,9101	54,6075
10	1,97	2,03	1,91	1,95	1,965	2	0,002	0,00102	1,0178	61,0687

Tabla 4

Aforo de caudal con el deflector de 135°

Deflector de 135°										
Fuerza (N)	Tiempo de llenado en segundos (s)				Tiempo prom (s)	Volumen (l)	Volumen (m ³)	Caudal (m ³ /s)	Caudal (l/s)	Caudal (l/min)
1	8,17	8,1	8,43	7,98	8,17	2	0,002	0,00024	0,2448	14,6879
2	5,3	5,7	5,29	5,55	5,46	2	0,002	0,00037	0,3663	21,9780
3	4,91	4,8	4,71	4,91	4,8325	2	0,002	0,00041	0,4139	24,8319
4	4,24	4,15	4,13	4,14	4,165	2	0,002	0,00048	0,4802	28,8115
5	3,64	3,79	3,6	3,97	3,75	2	0,002	0,00053	0,5333	32,0000
6	3,52	3,5	3,4	3,3	3,43	2	0,002	0,00058	0,5831	34,9854
7	3,36	3,11	3,19	3,13	3,1975	2	0,002	0,00063	0,6255	37,5293
8	3,08	3,1	2,97	3,09	3,06	2	0,002	0,00065	0,6536	39,2157
9	2,92	2,8	2,92	2,98	2,905	2	0,002	0,00069	0,6885	41,3081
10	2,65	2,77	2,55	2,6	2,6425	2	0,002	0,00076	0,7569	45,4115
11	2,55	2,6	2,48	2,7	2,5825	2	0,002	0,00077	0,7744	46,4666
12	2,44	2,49	2,33	2,37	2,4075	2	0,002	0,00083	0,8307	49,8442
13	2,3	2,35	2,33	2,28	2,315	2	0,002	0,00086	0,8639	51,8359
14	2,2	2,28	2,35	2,23	2,265	2	0,002	0,00088	0,8830	52,9801
15	2,09	2,18	1,99	2,02	2	2	0,002	0,00100	1,0000	60,0000
16	1,92	1,87	2,01	2,04	1,96	2	0,002	0,00102	1,0204	61,2245

Tabla 5

Aforo de caudal con el deflector de 180°.

Deflector de 180°										
Fuerza (N)	Tiempo de llenado en segundos (s)				Tiempo prom (s)	Volumen (l)	Volumen (m ³)	Caudal .(m ³ /s)	Caudal (l/s)	Caudal (l/min)
1	9,32	9,85	9,88	10,06	9,7775	2	0,002	0,00020	0,2046	12,2731
2	7	6,66	6,88	7,06	6,9	2	0,002	0,00029	0,2899	17,3913
3	6,08	6	5,9	5,92	5,975	2	0,002	0,00033	0,3347	20,0837
4	4,46	4,41	4,5	4,55	4,48	2	0,002	0,00045	0,4464	26,7857
5	3,89	4,2	4,21	4,15	4,1125	2	0,002	0,00049	0,4863	29,1793
6	3,71	3,8	3,75	3,95	3,8025	2	0,002	0,00053	0,5260	31,5582
7	3,54	3,6	3,8	2,95	3,4725	2	0,002	0,00058	0,5760	34,5572
8	3,33	3,5	3,35	3,53	3,4275	2	0,002	0,00058	0,5835	35,0109
9	3	3,36	3,14	2,99	3,1225	2	0,002	0,00064	0,6405	38,4307
10	2,7	2,78	2,76	2,5	2,685	2	0,002	0,00074	0,7449	44,6927
11	2,57	2,4	2,55	2,3	2,455	2	0,002	0,00081	0,8147	48,8798
12	2,44	2,35	2,5	2,44	2,4325	2	0,002	0,00082	0,8222	49,3320
13	2,26	2,3	2,36	2,23	2,2875	2	0,002	0,00087	0,8743	52,4590
14	2,19	2,1	2,19	2,18	2,165	2	0,002	0,00092	0,9238	55,4273

Comparación entre resultados teóricos y experimentales

El error relativo (%) se calcula como:

$$Er = \frac{|resultado\ teórico - resultado\ experimental|}{resultado\ teórico} \times 100$$

Tabla 6

Resultado y comparación de la fuerza del chorro obtenida en el banco de ensayo con el deflector de 90°

Fuerza teor(N)	Tiempo prom (s)	Vol (l)	Densidad (kg/m ³)	Area inyector (m ²)	Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Fuerza (N)	Error relativo %
1	6,0875	2	1000	7,9E-05	0,00032	4,1255	1,3367	34%
2	4,035	2	1000	7,9E-05	0,00040	5,0929	2,0372	2%
3	4,19	2	1000	7,9E-05	0,00050	6,3662	3,1831	6%
4	3,365	2	1000	7,9E-05	0,00060	7,6586	4,6067	15%
5	2,9025	2	1000	7,9E-05	0,00069	8,7734	6,0454	21%
6	2,8325	2	1000	7,9E-05	0,00071	9,0381	6,4157	7%
7	2,5475	2	1000	7,9E-05	0,00079	10,0058	7,8631	12%
8	2,441	2	1000	7,9E-05	0,00082	10,4685	8,6072	8%
9	2,195	2	1000	7,9E-05	0,00091	11,5880	10,5466	17%
10	1,97	2	1000	7,9E-05	0,00102	12,9592	13,1900	32%

Grafica de comparación de la fuerza teórica con la fuerza obtenida con nuestro banco de ensayo.

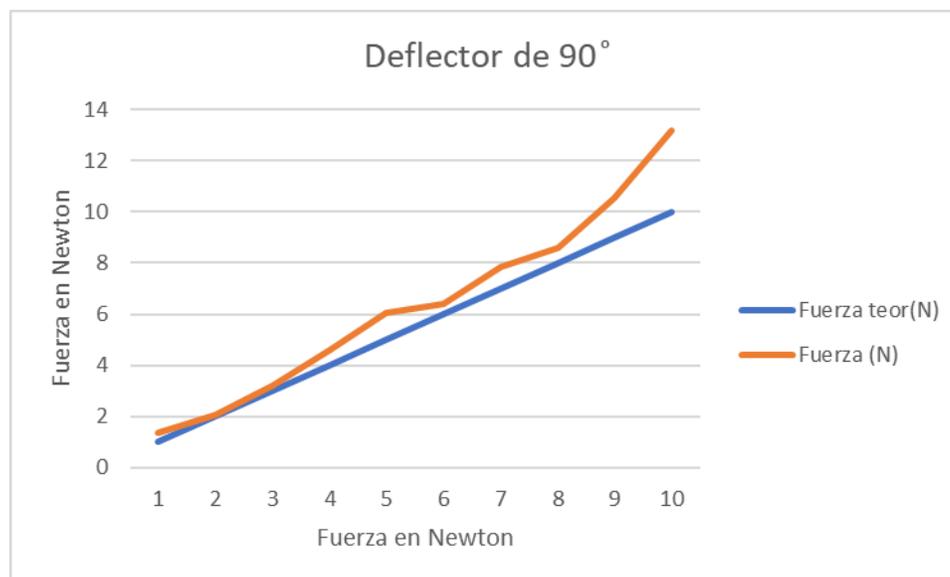


Tabla 7

Resultado y comparación de la fuerza del chorro obtenida en el banco de ensayo con un deflector de 135°

Fuerza teor(N)	Tiempo prom (s)	Vol (l)	Densidad (kg/m ³)	Area inyector (m ²)	Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Fuerza (N)	Error relativo %
1	7,1725	2	1000	7,85E-05	0,00028	3,5503	1,6900	69%
2	5,475	2	1000	7,85E-05	0,00037	4,6511	2,9004	45%
3	4,78	2	1000	7,85E-05	0,00042	5,3273	3,8052	27%
4	4,09	2	1000	7,85E-05	0,00049	6,2261	5,1974	30%
5	3,695	2	1000	7,85E-05	0,00054	6,8917	6,3680	27%
6	3,4225	2	1000	7,85E-05	0,00058	7,4404	7,4224	24%
7	3,1975	2	1000	7,85E-05	0,00063	7,9640	8,5037	21%
8	3,085	2	1000	7,85E-05	0,00065	8,2544	9,1352	14%
9	2,8125	2	1000	7,85E-05	0,00071	9,0541	10,9912	22%
10	2,565	2	1000	7,85E-05	0,00078	9,9278	13,2146	32%
11	2,455	2	1000	7,85E-05	0,00081	10,3726	14,4254	31%
12	2,335	2	1000	7,85E-05	0,00086	10,9057	15,9462	33%
13	2,2625	2	1000	7,85E-05	0,00088	11,2551	16,9845	31%
14	2,12	2	1000	7,85E-05	0,00094	12,0117	19,3445	38%
15	2	2	1000	7,85E-05	0,00100	12,7324	21,7355	45%
16	1,98	2	1000	7,85E-05	0,00101	12,8610	22,1768	39%

Grafica de comparación de la fuerza teórica con la fuerza obtenida con nuestro banco de ensayo.

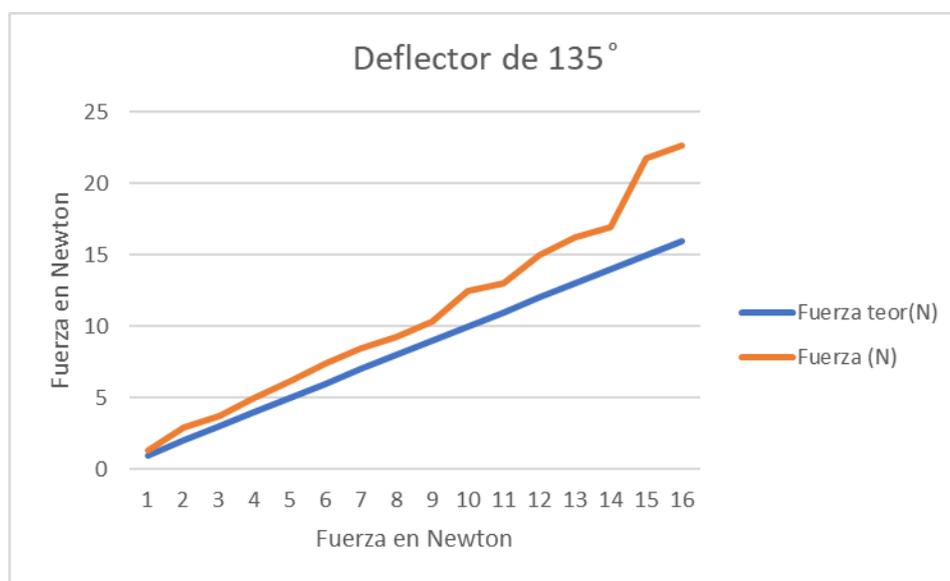
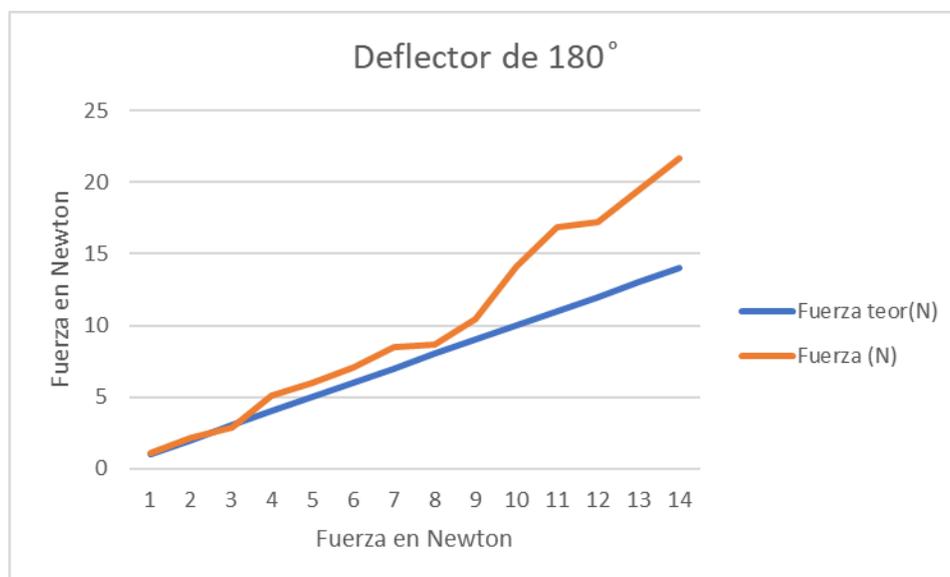


tabla 8

resultado y comparación de la fuerza de chorro obtenida en el banco de ensayo con un deflector de 180°

Fuerza teor(N)	Tiempo prom (s)	Vol (l)	Densidad (kg/m ³)	Area inyector (m ²)	Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Fuerza (N)	Error relativo %
1	7,28	2	1000	7,85E-05	0,00027	3,4979	1,9219	92%
2	5,3025	2	1000	7,85E-05	0,00038	4,8024	3,6227	81%
3	4,3675	2	1000	7,85E-05	0,00046	5,8305	5,3399	78%
4	3,9775	2	1000	7,85E-05	0,00050	6,4022	6,4384	61%
5	3,6225	2	1000	7,85E-05	0,00055	7,0296	7,7622	55%
6	3,27	2	1000	7,85E-05	0,00061	7,7874	9,5258	59%
7	3,0025	2	1000	7,85E-05	0,00067	8,4812	11,2988	61%
8	2,7675	2	1000	7,85E-05	0,00072	9,2013	13,2991	66%
9	2,6	2	1000	7,85E-05	0,00077	9,7941	15,0679	67%
10	2,455	2	1000	7,85E-05	0,00081	10,3726	16,9004	69%
11	2,295	2	1000	7,85E-05	0,00087	11,0957	19,3390	76%
12	2,29	2	1000	7,85E-05	0,00087	11,1200	19,4235	62%
13	2,165	2	1000	7,85E-05	0,00092	11,7620	21,7312	67%
14	2,01	2	1000	7,85E-05	0,00100	12,6690	25,2120	80%

Grafica de comparación de la fuerza teórica con la fuerza obtenida con nuestro banco de ensayo.



Conclusiones de los resultados

A partir de los resultados obtenidos en las tablas anteriores podemos observar el error relativo que existen entre el resultado teórico y el experimental del banco de ensayo fuerza ejercida por un chorro, esto empleando diferentes deflectores, dicho error puede estar asociado a la rapidez de con la que se tome el dato del caudal, se debe tener una buena calibración con lo que es la alineación del inyector y como se puede observar con las grafica a medida que se requiere más caudal se incrementa el error relativo esta causa puede estar asociada a la acumulación de flujo en la recamara de acrílico.



PRACTICA DE LABORATORIO

Objetivo de la práctica

- Determinar la fuerza ejercida por un chorro de agua de forma experimental y comparar esta fuerza con la obtenida mediante expresiones de cálculo.
- Comprender el uso de la energía transferida por un fluido en movimiento y como dicha energía disponible puede realizar un trabajo.

Fundamento teórico

- Aplicación del Principio de Cantidad de Movimiento.

Material a utilizar

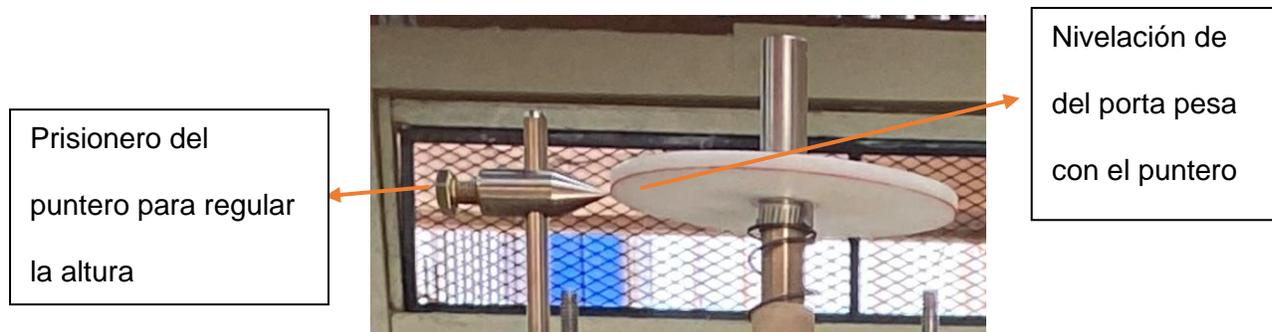
- Banco de ensayo de “fuerza ejercida por un chorro”.
- Deflectores de 90° , 135° y 180° .
- Un cronómetro.
- Juego de pesas.
- Recipiente graduado de 2 litros.

Procedimiento

1. Abrir la tapa superior con una llave número 10 y colocar uno de los deflectores disponibles, identificándolo mediante su ángulo de deflexión (90° , 135° , 180°). Una vez hecho esto, volver a cerrar la tapa superior en la posición marcada por una línea roja. Realizar un apriete moderado y parejo.

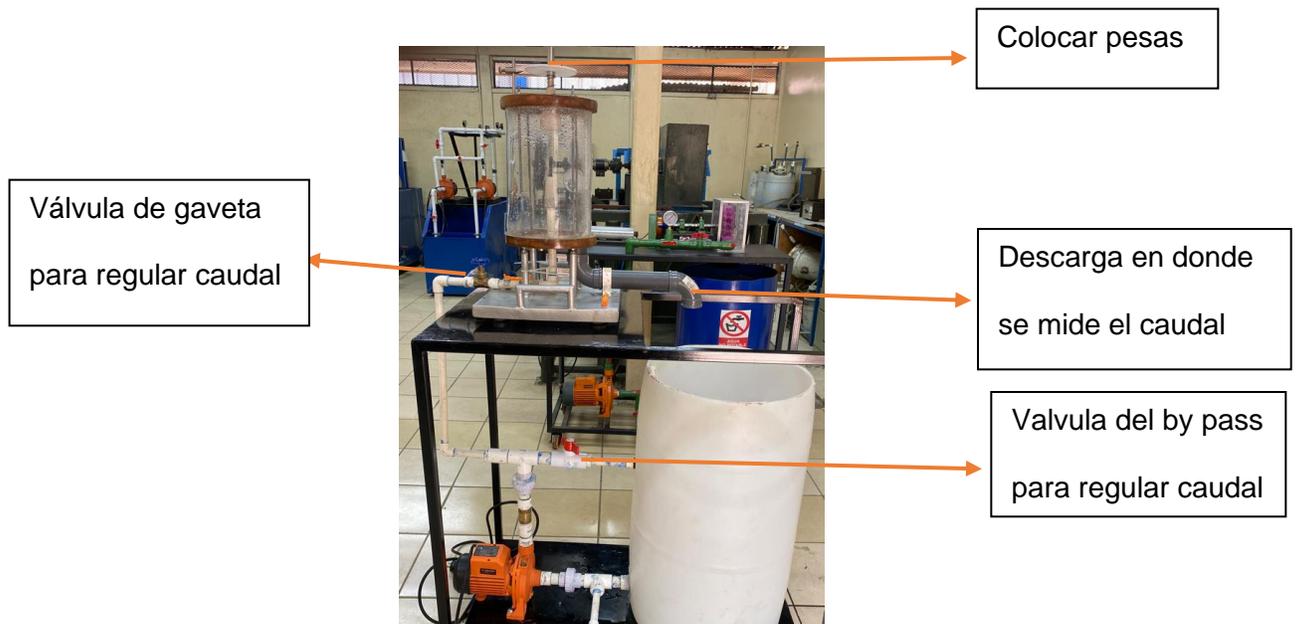


2. Ajustar la altura del puntero (medidor de nivel) mediante el tornillo prisionero (este apriete se realiza a mano) con el porta pesas, asegurándose de que se ha hecho bien, haciendo fluctuar el soporte verticalmente, y observando que se sigue manteniendo en la posición en la que se había colocado inicialmente el medidor de nivel.



3. Colocar un peso del juego de pesas, encender la bomba (asegurándose antes de que la válvula de regulación del inyector esté cerrada y la válvula del by pass abierta)

y abrir gradualmente la válvula de regulación del inyector, hasta que se logre el equilibrio estático (el medidor de nivel vuelve a estar alineado con la base porta pesas).

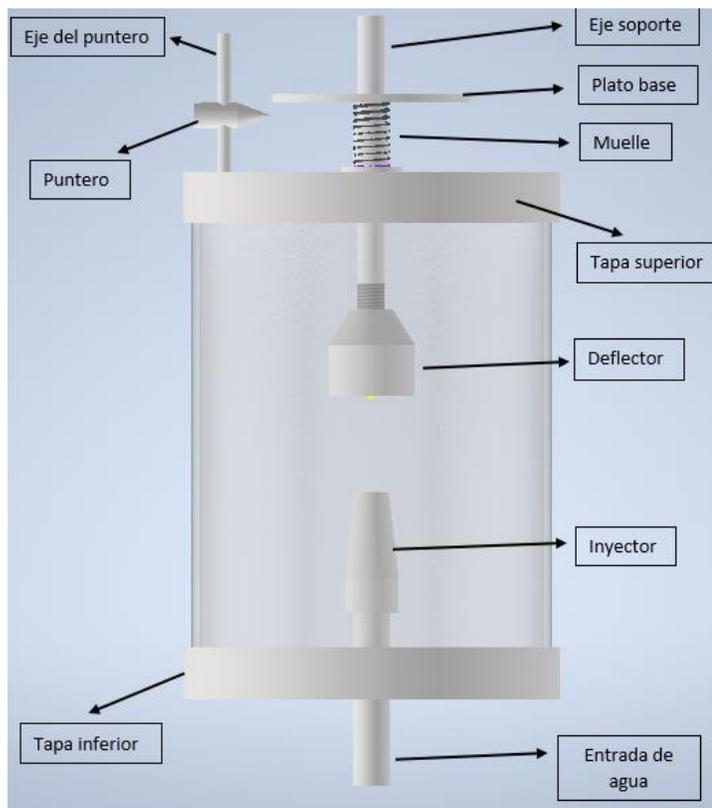


4. La determinación del caudal se realiza midiendo el volumen en litros con el recipiente graduado de 2 litros y tomando el tiempo de llenado con el cronómetro. Llenar tabla.

$$Q = \frac{VOLUMEN}{TIEMPO}$$

5. Repetir este procedimiento para los distintos pesos, y cambiando el deflector (hasta completar las tablas).

Esquema del banco de ensayo



Cálculos teóricos

La fuerza ejercida por el chorro sobre el deflector se obtiene aplicando la ecuación de cantidad de movimiento y desarrollándola para cada deflector.

$$\sum \vec{F} = \dot{m}(\beta_2 \vec{V}_2 - \beta_1 \vec{V}_1)$$

:

Datos del banco de ensayo	
Densidad	1000 kg/m^3
Juego de pesas	De 1N a 16N
Diámetro de salida del inyector	10 mm
Deflectores	90° , 135° , 180°

Tabla de toma de datos

	Deflector de 90°			Deflector de 135°		
	Volumen (l)	Tiempo de llenado (s)	Tiempo de llenado (s)	Volumen (l)	Tiempo de llenado (s)	Tiempo de llenado (s)
Fuerza teórica						
1 N						
2 N						
3 N						
4 N						
5 N						
6 N						
7 N						
8 N						
9 N						
10 N						

	Deflector de 180°		
Fuerza teórica (N)	Volumen (l)	Tiempo de llenado (s)	Tiempo de llenado (s)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Cálculo del caudal a partir del tiempo promedio de llenado.

11. Diseño del Banco de Ensayo para Fuerza Hidrostática.

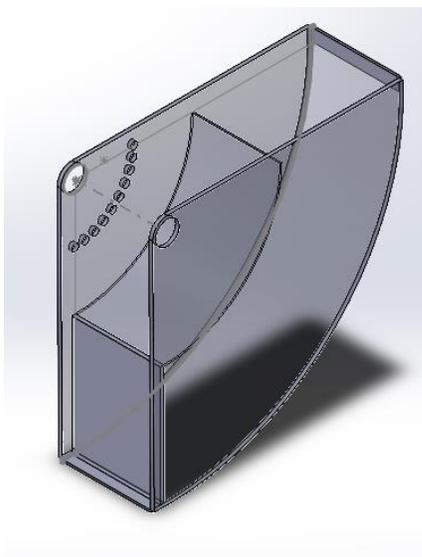
Para el diseño se tomó como referencia banco de ensayo de presión hidrostática Marca GUNT HAMBURG HM 150.05.

11.1 Depósito de agua.

El depósito permite inclinarse hasta 90° con respecto al plano horizontal, tiene un intervalo de ajuste cada 10°, a su vez el material utilizado es un acrílico de 3 mm de espesor y debido a su transparencia ayuda a una mejor visualización del nivel del líquido, el depósito estará montado sobre un eje de 20 mm de diámetro.

Figura 43

Vista en 3D del depósito de acrílico.



Dada la superficie efectiva mostrada en la figura 43, de 100 mm de altura se propone un cuarto de corona circular de radios $r_2 = 200$ mm y $r_1 = 100$ mm con una profundidad de 69 mm a continuación se calculó el área de la corona circular:

$$A_{\frac{1}{4}} = \frac{\pi}{4} (r_2^2 - r_1^2)$$

$$A_{\frac{1}{4}} = \frac{\pi}{4} (200 \text{ mm})^2 - (100 \text{ mm})^2$$

$$A_{\frac{1}{4}} = \frac{94247,7796}{4} \text{ mm}^2$$

$$A_{\frac{1}{4}} = 23,561.9449 \text{ mm}^2$$

$$23.561,9449 \text{ mm}^2 \sim 0,02356 \text{ m}^2$$

El volumen:

$$v = A * b$$

$$v = 0,02356 \text{ m}^2 * 0,069 \text{ m}$$

$$v = 1,6256 * 10^{-3} \text{ m}^3 \sim 1,62 \text{ l}$$

Se procedió a calcular el peso máximo del agua contenida en el recipiente, primero se determinó la cantidad de masa que contiene mediante la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{m}{v} \rightarrow m = \rho * v$$

$$m = 1,6256 * 10^{-3} \text{ m}^3 * 997 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$m = 1,62 \text{ kg}$$

Para calcular el peso se utilizó la siguiente ecuación:

$$w = m * g$$

$$w = 1,62 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 15,8922 \text{ N}$$

11.2 Cálculo del Centro de Gravedad (centroide).

Para determinar el centro de gravedad se utilizaron las siguientes fórmulas:

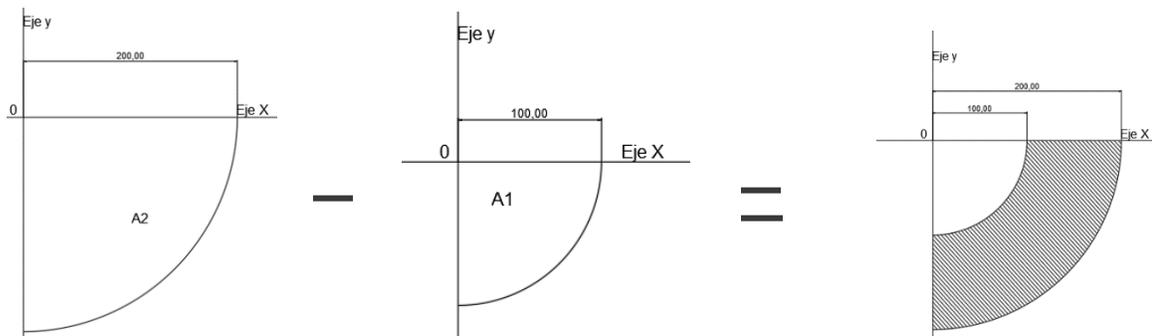
$$x_{c.g} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i x_{ci}}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

$$y_{c.g} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i y_{ci}}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

Para el cálculo sólo se consideró el área del recipiente que contiene al líquido, la que al ser un área compuesta se determina a como se muestra en la figura 44 ($\frac{1}{4}$ de circunferencia).

Figura 44

Determinación del área interna del contenedor



Resultando el centro de gravedad del área compuesta con respecto a los ejes x, y:

$$x_{c.g} = \frac{A_2 * x_2 - A_1 * x_1}{A_2 - A_1}$$

$$y_{c.g} = \frac{A_2 * y_2 - A_1 * y_1}{A_2 - A_1}$$

Debido a $y_{c.g} = x_{c.g}$

Para A_1 :

$$A_1 = \frac{\pi(r_1)^2}{4} = \frac{\pi(100mm)^2}{4}$$

$$A_1 = 7,8539 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

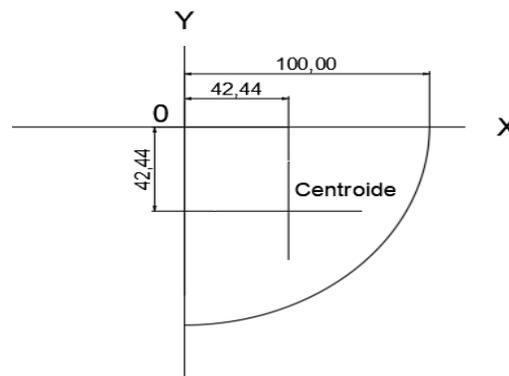
Distancia al centroide del área A_1 desde los ejes x , y (centro de gravedad):

$$\bar{x} = \bar{y} = \frac{4r}{3\pi}$$

$$\bar{x} = \bar{y} = \frac{4(100 \text{ mm})}{3\pi} = 42,44 \text{ mm}$$

Figura 45

Ubicación del centroide del área A_1



Para A_2 :

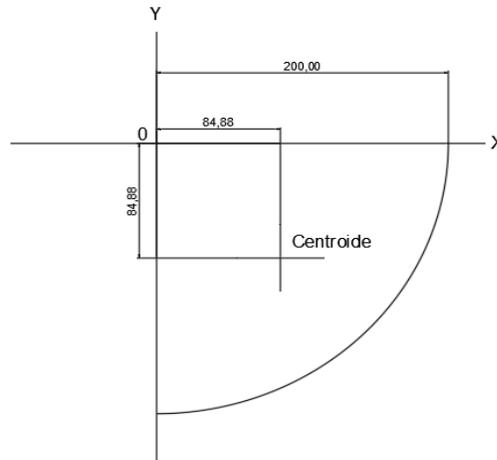
$$A_2 = \frac{\pi(r_2)^2}{4} = \frac{\pi(200\text{mm})^2}{4}$$

$$A_2 = 31,4159 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

Distancia al centroide del área A_2 desde los ejes x , y (centro de gravedad):

$$\bar{x} = \bar{y} = \frac{4r}{3\pi}$$

$$\bar{x} = \bar{y} = \frac{4(100 \text{ mm})}{3\pi} = 84,88 \text{ mm}$$

Figura 46Ubicación del centroide del área A_2 

Sustituyendo valores en la fórmula para determinar la coordenada x del centro de gravedad:

$$x_{c.g} = \frac{A_2 * x_2 - A_1 * x_1}{A_2 - A_1}$$

$$x_{c.g} = \frac{(31,4159 \times 10^3 \text{ mm}^2 * 84,88 \text{ mm}) - (7,8539 \times 10^3 \text{ mm}^2 * 42,44 \text{ mm})}{(31,4159 \times 10^3 \text{ mm}^2 - 7,8539 \times 10^3 \text{ mm}^2)}$$

$$x_{c.g} = \frac{(2,6640 \times 10^6 \text{ mm}^3) - (0,3330 \times 10^6 \text{ mm}^3)}{(23,562 \times 10^3 \text{ mm}^2)}$$

$$x_{c.g} = \frac{(2,3310 \times 10^6 \text{ mm}^3)}{(23,562 \times 10^3 \text{ mm}^2)}$$

$$x_{c.g} = 98,9333 \text{ mm}$$

La distancia del punto de pivote al centro de gravedad del área compuesta se calculó por:

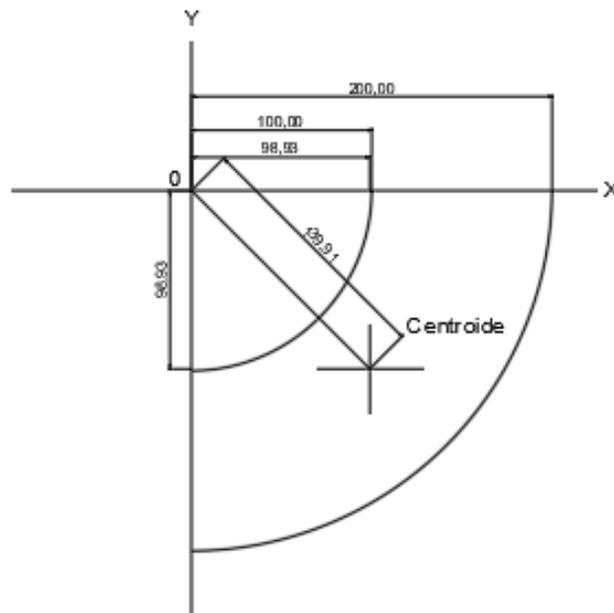
$$D = \sqrt{x_{c.g}^2 + y_{c.g}^2} = \sqrt{x_{c.g}^2 + x_{c.g}^2} = \sqrt{2x_{c.g}^2}$$

$$D = \sqrt{2 * (98,9333 \text{ mm})^2} = 139,9128 \text{ mm}$$

$$D = 139,9128 \text{ mm} \sim 13,99 \text{ cm} \sim 14 \text{ cm}$$

Figura 47

Ubicación del centroide del contenedor de acrílico



El momento máximo ejercido será con respecto al punto fijo del pivote debido al peso del agua.

$$M_{max} = w * D$$

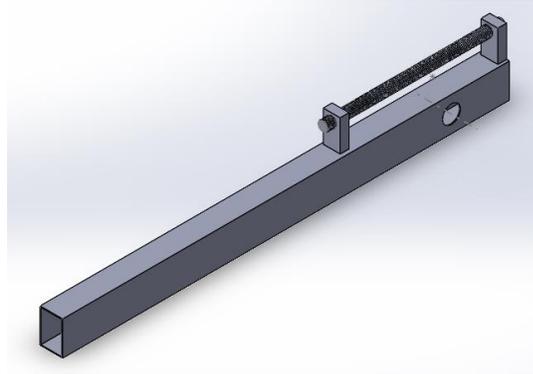
$$M_{max} = 15,8922 \text{ N} * 0,098 \text{ m}$$

$$M_{max} = 1,55743 \text{ N} * \text{m}$$

11.3 Cálculo de momento ejercido por suma total de las pesas.

El brazo tiene una palanca máxima de 0,3 m, en la parte superior tiene un contra peso de 0,65 kg ajustable a lo largo de un espárrago de 16 hilos por pulgada con una distancia de 16,5 cm fabricado en acero inoxidable, montado en un eje pivote de 20 mm de diámetro, como se muestra en la figura 48.

Figura 48
Vista en 3D del brazo



El máximo momento generado por la suma de todos los pesos multiplicado por la distancia correspondiente el entre centro del agujero de pivote al punto de máximo deslizamiento del porta pesas que nos permite la palanca (l):

$$M_{max} = w * l$$

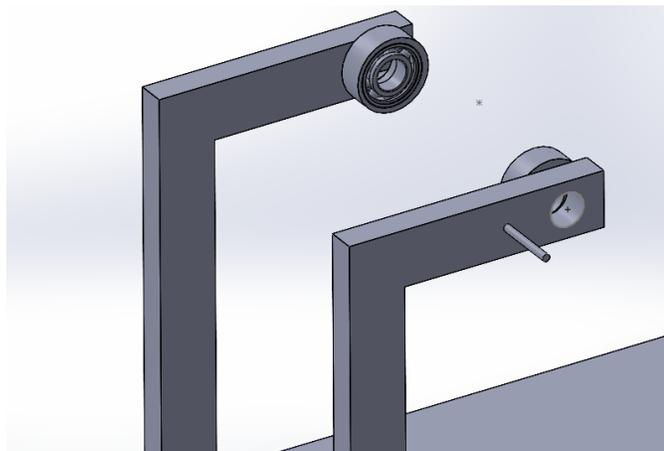
$$M_{max} = 6 N * 0,3 m$$

$$= 1,8 N * m$$

11.4 Diseño de Base.

La base está conformada por una lámina de acero inoxidable 500 mm x 400 mm de 3 mm de espesor con un marco de angular de 3/4" x 3/4" inoxidable, en dicha plataforma se encuentran dos escuadras con altura de 320 mm que cuentan con un cojinete de bolas cada una, para el eje pivote de 20 mm de diámetro.

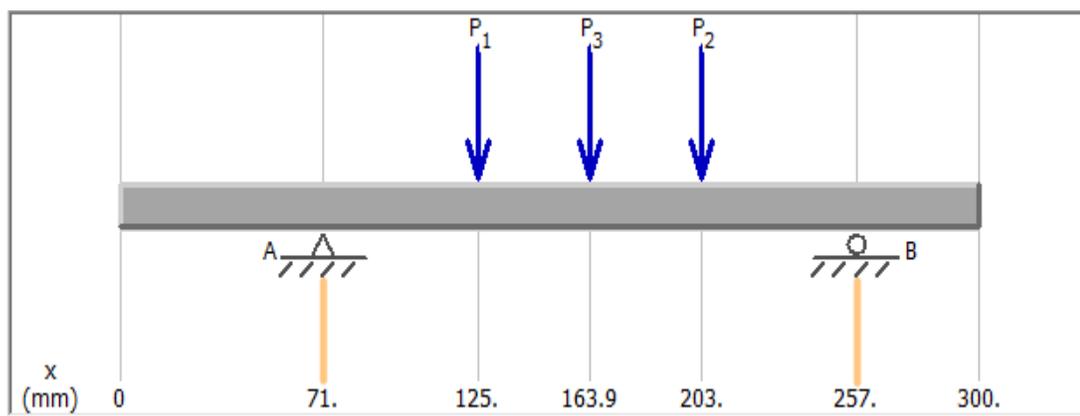
Figura 49
Vista en 3D de la bancada



11.5 Diseño de eje pivote.

Se utilizó un eje de 20 mm de diámetro con una longitud de 300 mm de acero inoxidable, el cual está sometido a esfuerzos de torsión, flexión y cortante. A continuación, se muestra el diagrama de cuerpo libre.

Figura 50
Diagrama de cuerpo libre del eje



Donde P_1 y P_2 son las fuerzas generadas por el peso del agua contenida en el recipiente de acrílico (dos puntos de apoyo), y P_3 es la sumatoria de todas las pesas soportadas en el brazo de palanca.

$$P_1 = 7,945 \text{ N}$$

$P_2 = 7,945 \text{ N}$

$P_3 = 14.37 \text{ N}$

A y B, son puntos de apoyo

Utilizando el Software MDSOLIDS se obtuvo el diagrama de fuerza cortante, momento flector y la deflexión.

Figura 51
Diagrama de Cortante Máximo y Momento Máximo

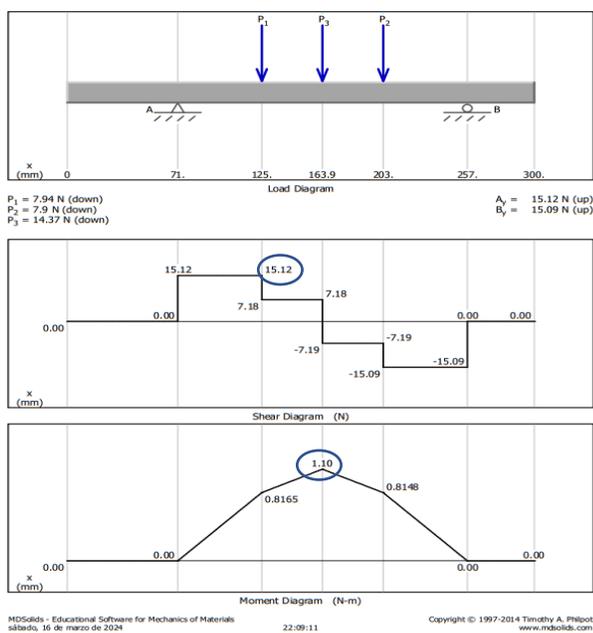
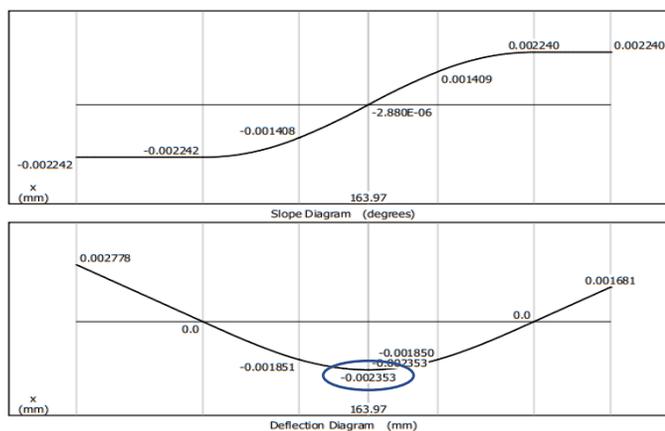


Figura 52
Diagrama de Deflexión



En los resultados se logra observar las reacciones, fuerza cortante máxima, momento flector máximo y la deflexión.

$$A = 15,12 \text{ N}$$

$$B = 15,09 \text{ N}$$

$$V_{max} = 15.12 \text{ N}$$

$$M_{max} = 1,10 \text{ Nm}$$

$$\vartheta_{max} = 0.002353 \text{ mm}$$

Debido a que la deflexión máxima del eje es de 0.2353 mm según la tabla 9, se clasifica como un eje de alta precisión ya que se encuentra en el rango (0.0003 mm a 0.003 mm).

Tabla 9

Rangos de permisibles de deflexiones transversales- (Budynas & Nisbett, 2008)

Deflexiones Transversales		
Engranés rectos con	$P \leq 10$ dientes/pulg	0.010 plg
	$m \geq 2.5$ mm	0.254 mm
Engranés rectos con	$10 < P \leq 20$ dientes/pulg	0.005 plg
	$2.5 > m \geq 1.2$ mm	0.127 mm
Engranés rectos con	$20 < P \leq 50$ dientes/pulg	0.03 plg
	$1.2 > m \geq 0.5$ mm	0.0762 mm
Partes de máquinas en general		(0.0005 a 0.003) * L
Precisión moderada		(0.00001 a 0.0005) * L
Alta precisión		(0.000001 a 0.00001) * L

Se procedió a realizar el cálculo de rigidez torsional mediante la siguiente ecuación:

$$\psi = \frac{TL}{JG} \leq [\psi]$$

Donde:

Ψ = ángulo de torsión en radianes.

T = par de torsión.

J = momento polar de inercia.

G = módulo de rigidez del material.

El par de torsión será el generado por el peso del volumen máximo de agua equivalente a $1,557 N * m$, el módulo de rigidez es 73.1 GPa y el momento polar de inercia para una barra de sección circular será:

$$J_G = \frac{\pi D^4}{32}$$

$$J_G = \frac{\pi(0.02 m)^4}{32}$$

$$J_G = 1.570 \times 10^{-8} m^4$$

Sustituyendo en la fórmula:

$$\Psi = \frac{1,55743 Nm * 0,3 m}{1,570 \times 10^{-8} m^4 * 73,1 \text{ Gpa}}$$

$$\Psi = 4,071 \times 10^{-4} rad$$

Debido a que el resultado fue menor a 0,0007 rad/m está en el rango de precisión moderada de torsión para partes de maquinaria en general como se muestra en la tabla 10.

Tabla 10

Rangos de ángulo de torsión por unidad de longitud - (Budynas & Nisbett, 2008)

Angulo de torsión por unidad de longitud [ψ / L]	
Grúas desplazables y portátiles	0.0045.....0.006 rad/m
Husillos de tornos y taladros	0.00175 rad/m
Eje de transmisión de destino general	0.009 rad/m
Ejes de cardanes de vehículos (d = 30.....50 mm)	0.005.....0.007 rad/m
Partes de máquinas en general	0.0007....0.007 rad/m
Precisión moderada	0.00001....0.0003 rad/m
Alta precisión	0.0000007.....0.000014 rad/m

Se comprobó la resistencia por cortante la cual se define por la siguiente fórmula:

$$\tau = \frac{v_{max}}{A}$$

$$\tau = \frac{v_{max}}{\pi r^2}$$

$$\tau = \frac{15,12 \text{ N}}{3,1415 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

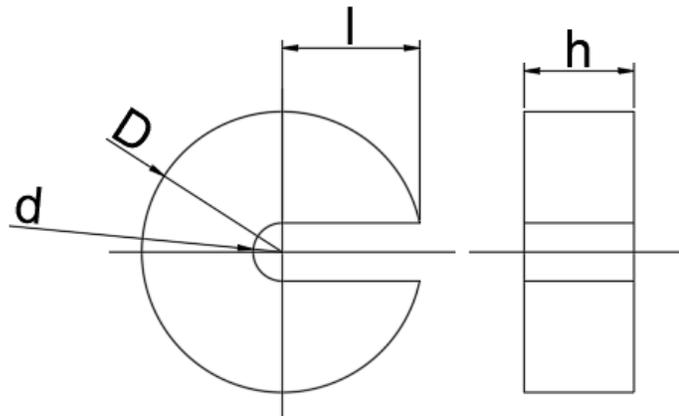
$$\tau = 48.129 \text{ Kpa}$$

11.6 Diseño de las Pesas.

Las pesas son de acero inoxidable 316L, material que posee una densidad de 8027 Kg/m^3 , geoméricamente está constituido por una circunferencia de diámetro D y espesor h, con un agujero en el centro diámetro d con profundidad h y ranurado hacia el centro con longitud l, ancho a y profundidad h el dimensionamiento, como se muestra en la figura 53, se calculará para los siguientes pesos 0.5 N, 1 N, 2 N y 2.5 N.

Figura 53

Esquema del diseño de contrapesos



El dimensionamiento se determinó usando como referencia la masa necesaria para obtener 0.5 N, 1 N, 2 N y 2.5 N.

$$w = m * g$$

m: masa (kg)

g: aceleración (9.81 m/s^2)

$$m = \frac{w}{g}$$

Pesa 1 N:

$$m_{1N} = \frac{w}{g} = \frac{1 \text{ N}}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$m_{1N} = 0,1019 \text{ kg}$$

Pesa 2.5 N:

$$m_{2.5N} = \frac{w}{g} = \frac{2.5 \text{ N}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$m_{2,5N} = 0,2549 \text{ kg}$$

Pesa 2 N:

$$m_{2N} = \frac{w}{g} = \frac{2 \text{ N}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$m_{2N} = 0,2039 \text{ kg}$$

Pesa 0.5 N:

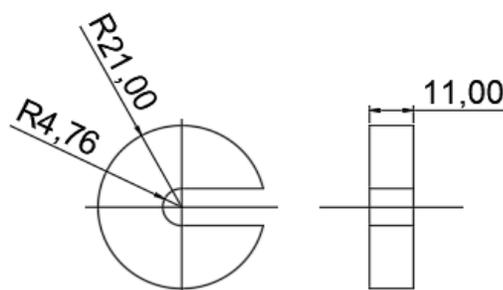
$$m_{0,5N} = \frac{w}{g} = \frac{0,5 \text{ N}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$m_{0,5N} = 0,0509 \text{ kg}$$

Para el dimensionamiento de la pesa de 1 N se consideró un diámetro exterior (D) 0,042 m, un diámetro interior (d) 0,00953 m, altura (h) 0,011 m y un ranurado hasta el centro (l) de 0,021 m figura 54.

Figura 54

Dimensiones de peso de 1,0 N



El volumen total se obtendrá mediante la sumatoria de los volúmenes representado en la figura 55. La fórmula a utilizar es la siguiente:

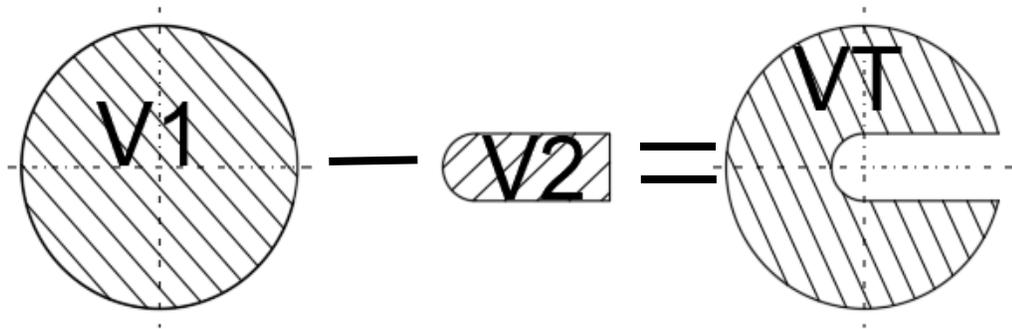
$$V_T = V_1 - V_2$$

Donde:

$V_1 = \text{volumen total del disco}$

$V_2 = \text{volumen del ranurado/agujero}$

Figura 55
Diagrama de sumatorias de volúmenes



El volumen del disco está determinado por la siguiente fórmula:

$$v_1 = \frac{\pi D^2}{4} * h$$

$$v_1 = \frac{\pi(0,042 \text{ m})^2}{4} * 0,011 \text{ m}$$

$$v_1 = 1,52399 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$v_2 = \left(\frac{\pi r^2}{2} * h\right) + (l * d * h)$$

$$v_2 = \left(\frac{\pi(0,004765 \text{ m})^2}{2} * 0,011 \text{ m} \right) + (0,021 \text{ m} * 0,00953 \text{ m} * 0,011 \text{ m})$$

$$v_2 = 2,5937 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$v_t = v_1 - v_2$$

$$v_t = 1,52399 \times 10^{-5} \text{ m}^3 - 2,5937 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$v_t = 1,26461 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

Con el volumen obtenido seguidamente se calculó la masa contenida en el volumen y a su vez obteniendo el peso.

$$m = v_t * \rho$$

$$w = m * g$$

$$w = 1,26461 \times 10^{-5} \text{ m}^3 * 8027 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * \frac{9,81 \text{ m}}{\text{s}^2}$$

$$w = 0,9958 \text{ N}$$

A continuación, mediante Excel se realizó la memoria de cálculo obteniendo el dimensionamiento de las pesas (2.5 N, 0.5 N, 2 N) utilizando el procedimiento antes descrito.

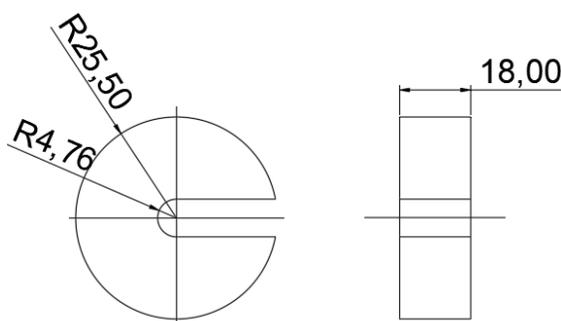
Pesa 2,5 N:

En la tabla 11 se muestra el volumen obtenido para cada una de las dimensiones propuestas para la pesa de 2,5 N. En la figura 56 se muestra las dimensiones seleccionadas para la pesa.

Tabla 11
Comparativa de pesos obtenidos variando la altura para peso de 2,5 N

DISCO COMPLETO					AGUJERO CENTRAL					RANURADO				DATOS GENERALES			
Diametro (m)	radio (m)	Altura (m)	Area(m ²)	Volumen(m ³)	∅ agujero (m)	radio (m)	Altura (m)	Area(m ²)	Volumen(m ³)	ranurado Ancho (m)	ranurado largo (m)	ranurado altura (m)	Volumen (m ³)	Volumen total	Densidad (kg/m ³)	masa(kg)	Fuerza (N)
0,051	0,026	0,014	0,002043	2,8599E-05	0,00953	0,00477	0,014	3,56653E-05	4,993E-07	0,00953	0,0255	0,014	3,4022E-06	2,4698E-05	8027	0,1983	1,9448
0,051	0,026	0,015	0,002043	3,0642E-05	0,00953	0,00477	0,015	3,56653E-05	5,35E-07	0,00953	0,0255	0,015	3,6452E-06	2,64621E-05	8027	0,2124	2,0838
0,051	0,026	0,016	0,002043	3,2685E-05	0,00953	0,00477	0,016	3,56653E-05	5,706E-07	0,00953	0,0255	0,016	3,8882E-06	2,82262E-05	8027	0,2266	2,2227
0,051	0,026	0,017	0,002043	3,4728E-05	0,00953	0,00477	0,017	3,56653E-05	6,063E-07	0,00953	0,0255	0,017	4,1313E-06	2,99904E-05	8027	0,2407	2,3616
0,051	0,026	0,018	0,002043	3,6771E-05	0,00953	0,00477	0,018	3,56653E-05	6,42E-07	0,00953	0,0255	0,018	4,3743E-06	3,17545E-05	8027	0,2549	2,5005
0,051	0,026	0,019	0,002043	3,8814E-05	0,00953	0,00477	0,019	3,56653E-05	6,776E-07	0,00953	0,0255	0,019	4,6173E-06	3,35187E-05	8027	0,2691	2,6394
0,051	0,026	0,02	0,002043	4,0856E-05	0,00953	0,00477	0,02	3,56653E-05	7,133E-07	0,00953	0,0255	0,02	4,8603E-06	3,52828E-05	8027	0,2832	2,7783
0,051	0,026	0,021	0,002043	4,2899E-05	0,00953	0,00477	0,021	3,56653E-05	7,49E-07	0,00953	0,0255	0,021	5,1033E-06	3,70469E-05	8027	0,2974	2,9173
0,051	0,026	0,022	0,002043	4,4942E-05	0,00953	0,00477	0,022	3,56653E-05	7,846E-07	0,00953	0,0255	0,022	5,3463E-06	3,88111E-05	8027	0,3115	3,0562
0,051	0,026	0,023	0,002043	4,6985E-05	0,00953	0,00477	0,023	3,56653E-05	8,203E-07	0,00953	0,0255	0,023	5,5893E-06	4,05752E-05	8027	0,3257	3,1951

Figura 56
Dimensiones de peso de 2,5 N



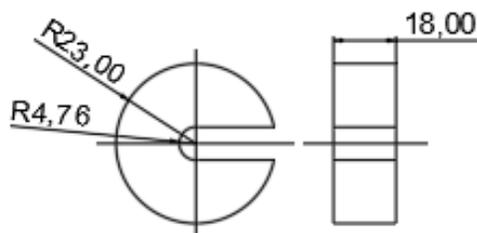
Pesa de 2,0 N:

Se muestra en la tabla 12 las dimensiones obtenidas para la pesa de 2,0 N

Tabla 12
Comparativa de pesos obtenidos variando la altura para peso de 2,0 N

DISCO COMPLETO					AGUJERO CENTRAL					RANURADO				DATOS GENERALES			
Diametro (m)	radio (m)	Altura (m)	Area(m ²)	Volumen(m ³)	∅ agujero (m)	radio (m)	Altura (m)	Area(m ²)	Volumen(m ³)	ranurado Ancho (m)	ranurado largo (m)	ranurado altura (m)	Volumen (m ³)	Volumen total	Densidad (kg/m ³)	masa(kg)	Fuerza (N)
0,046	0,023	0,01	0,00166	1,6619E-05	0,00953	0,00477	0,01	3,56653E-05	3,567E-07	0,00953	0,023	0,01	2,1919E-06	1,40705E-05	8027	0,1129	1,108
0,046	0,023	0,011	0,00166	1,8281E-05	0,00953	0,00477	0,011	3,56653E-05	3,923E-07	0,00953	0,023	0,011	2,4111E-06	1,54775E-05	8027	0,1242	1,2188
0,046	0,023	0,012	0,00166	1,9943E-05	0,00953	0,00477	0,012	3,56653E-05	4,28E-07	0,00953	0,023	0,012	2,6303E-06	1,68846E-05	8027	0,1355	1,3296
0,046	0,023	0,013	0,00166	2,1605E-05	0,00953	0,00477	0,013	3,56653E-05	4,636E-07	0,00953	0,023	0,013	2,8495E-06	1,82916E-05	8027	0,1468	1,4404
0,046	0,023	0,014	0,00166	2,3267E-05	0,00953	0,00477	0,014	3,56653E-05	4,993E-07	0,00953	0,023	0,014	3,0687E-06	1,96987E-05	8027	0,1581	1,5512
0,046	0,023	0,015	0,00166	2,4929E-05	0,00953	0,00477	0,015	3,56653E-05	5,35E-07	0,00953	0,023	0,015	3,2879E-06	2,11057E-05	8027	0,1694	1,662
0,046	0,023	0,016	0,00166	2,659E-05	0,00953	0,00477	0,016	3,56653E-05	5,706E-07	0,00953	0,023	0,016	3,507E-06	2,25128E-05	8027	0,1807	1,7728
0,046	0,023	0,017	0,00166	2,8252E-05	0,00953	0,00477	0,017	3,56653E-05	6,063E-07	0,00953	0,023	0,017	3,7262E-06	2,39198E-05	8027	0,192	1,8836
0,046	0,023	0,018	0,00166	2,9914E-05	0,00953	0,00477	0,018	3,56653E-05	6,42E-07	0,00953	0,023	0,018	3,9454E-06	2,53269E-05	8027	0,2033	1,9944
0,046	0,023	0,019	0,00166	3,1576E-05	0,00953	0,00477	0,019	3,56653E-05	6,776E-07	0,00953	0,023	0,019	4,1646E-06	2,67339E-05	8027	0,2146	2,1052

Figura 57
Dimensiones de peso de 2,0 N



Pesa 0,5 N:

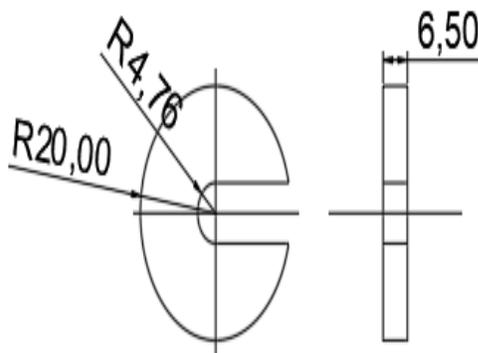
Se muestra en la tabla 13 las dimensiones obtenidas para la pesa de 0,5 N.

Tabla 13
Comparativa de pesos obtenidos variando la altura para peso de 0,5 N

DISCO COMPLETO					AGUJERO CENTRAL					RANURADO				DATOS GENERALES			
Diametro (m)	radio (m)	Altura (m)	Area(m ²)	Volumen(m ³)	Ø agujero (m)	radio (m)	Altura (m)	Area(m ²)	Volumen(m ³)	ranurado Ancho (m)	ranurado largo (m)	ranurado altura (m)	Volumen (m ³)	Volumen total	Densidad (kg/m ³)	masa(kg)	Fuerza (N)
0,04	0,02	0,005	0,00126	6,2832E-06	0,00953	0,00477	0,005	3,56653E-05	1,783E-07	0,00953	0,02	0,005	9,53E-07	5,15186E-06	8027	0,0414	0,4057
0,04	0,02	0,006	0,00126	6,9115E-06	0,00953	0,00477	0,006	3,56653E-05	1,962E-07	0,00953	0,02	0,0055	1,0483E-06	5,66704E-06	8027	0,0455	0,4463
0,04	0,02	0,006	0,00126	7,5398E-06	0,00953	0,00477	0,006	3,56653E-05	2,14E-07	0,00953	0,02	0,006	1,1436E-06	6,18223E-06	8027	0,0496	0,4868
0,04	0,02	0,007	0,00126	8,1681E-06	0,00953	0,00477	0,007	3,56653E-05	2,318E-07	0,00953	0,02	0,0065	1,2389E-06	6,69742E-06	8027	0,0538	0,5274
0,04	0,02	0,007	0,00126	8,7965E-06	0,00953	0,00477	0,007	3,56653E-05	2,497E-07	0,00953	0,02	0,007	1,3342E-06	7,2126E-06	8027	0,0579	0,568
0,04	0,02	0,008	0,00126	9,4248E-06	0,00953	0,00477	0,008	3,56653E-05	2,675E-07	0,00953	0,02	0,0075	1,4295E-06	7,72779E-06	8027	0,062	0,6085
0,04	0,02	0,008	0,00126	1,0053E-05	0,00953	0,00477	0,008	3,56653E-05	2,853E-07	0,00953	0,02	0,008	1,5248E-06	8,24297E-06	8027	0,0662	0,6491
0,04	0,02	0,009	0,00126	1,0681E-05	0,00953	0,00477	0,009	3,56653E-05	3,032E-07	0,00953	0,02	0,0085	1,6201E-06	8,75816E-06	8027	0,0703	0,6897
0,04	0,02	0,009	0,00126	1,131E-05	0,00953	0,00477	0,009	3,56653E-05	3,21E-07	0,00953	0,02	0,009	1,7154E-06	9,27335E-06	8027	0,0744	0,7302
0,04	0,02	0,01	0,00126	1,1938E-05	0,00953	0,00477	0,01	3,56653E-05	3,388E-07	0,00953	0,02	0,0095	1,8107E-06	9,78853E-06	8027	0,0786	0,7708

A continuación, en la figura 58 se muestra la representación gráfica de la pesa de 0,5 N

Figura 58
Dimensiones de peso de 0,5 N



12. Proceso de Fabricación del Banco de Ensayo Para Presión Hidrostática.

Se inició cortando de un tubo rectangular de $\frac{3}{4}$ " x $1\frac{1}{2}$ " de Acero inoxidable 304L ASTM A554, dos piezas de longitud total de 320 mm y dos piezas de longitud final de 180 mm ambas con un corte a 45° en uno de sus extremos.

Luego mediante soldadura TIG se realizó la unión de las piezas formando la escuadra, durante el proceso se requirió soldar tensores debido a que el acero inoxidable al calentarse tiende a deformarse.

Obtenidas las piezas se realizó en ambas un agujero de 23 mm de diámetro, a 1" de distancia del centro al borde de la escuadra, con una cavidad soldada de 45 mm de diámetro en donde se insertan los cojinetes. Los elementos antes mencionados fueron fabricados en torno según el plano # 2, también en un costado de la escuadra se soldó un pin de $\varnothing 5$ mm a una distancia del centro del agujero de 40 mm, cuya función es como guía para equilibrar la fuerza ejercida en el depósito con el momento generado por los contrapesos. Figura 59.

Figura 59

Escuadras con cojinetes y pin de nivel



Para la elaboración de la base, se utilizó un angular de 2" x 2" de acero inoxidable cortando dos piezas de 500 mm de longitud y 400 mm, ambos cortes se realizaron a 45° para el armado del marco, sobre este descansa una lámina de acero inoxidable de 400 mm x 500 mm, sobre la que se soldaron las escuadras que soportaran el sistema.

Figura 60

Plataforma de acero inoxidable



El brazo de la figura 61, se fabricó a partir un tubo rectangular $\frac{3}{4}$ " x $1\frac{1}{2}$ " de acero 304L ASTM A554 cortado a una longitud de 365 mm, a 65 mm de uno de sus bordes se perforó un agujero de 20 mm por donde pasa el eje, con centro en el agujero en la parte inferior se taladró un agujero de $\frac{1}{4}$ " y se soldó una tuerca de $\frac{1}{4}$ " de acero inoxidable en la que se enrosca un perno como prisionero.

Luego se cortaron dos piezas de tubo rectangular 19 mm * 10 mm * 45 mm con un agujero a una altura de 30 mm soldando una tuerca $\frac{3}{8}$ " inoxidable en cada pieza, por donde pasa un esparrago 130 mm de longitud con paso de 16 hilos por pulgada que sirve como eje permitiendo desplazar el peso que se utiliza para equilibrar el depósito con respecto al brazo.

Figura 61

Brazo con contrapeso ajustable en la parte superior



A continuación, para la sujeción del depósito de acrílico con el eje se utilizó un tubo de rectangular de $\frac{3}{4}$ " x $1\frac{1}{2}$ " inoxidable con una longitud de 78 mm, se realizó un agujero 20 mm donde se acoplará con el eje, a su vez en la cara superior, con centro en el agujero se perforó y soldó una tuerca de $\frac{1}{4}$ ", para un perno prisionero. A una distancia del centro del agujero de 50 mm se soldó un pin de 3 mm de diámetro, el cual permitirá elegir el ángulo de la pared al acoplarse a las perforaciones que posee el contenedor de acrílico. Figura 62.

Figura 62

Soporte de inclinación del depósito



Posteriormente se cortó un tubo rectangular de $\frac{3}{4}$ " x $1\frac{1}{2}$ " de acero inoxidable de 78 mm, se taladraron dos agujeros, uno de 20 mm y otro de 8 mm con una separación entre centros de 40 mm lo cual permite ensamblarse sobre el eje y el costado de la escuadra cumpliendo la función de nivel debido a que el pin soldado en la escuadra debe permanecer en la horizontal del eje, logrando visualizar si el contrapeso no logra el equilibrio con el contenido de agua en el depósito. Figura 63.

Figura 63
Visor de nivelación



Para la colocación de los pesos (porta pesas) se cortaron cuatro platinas inoxidables de 40 mm de longitud las cuales encamisan al tubo rectangular que se utiliza como brazo, posterior al corte, se soldaron las platinas con TIG. En la cara inferior de la platina en el centro se soldó un gancho para el peso, permitiendo que la carga se vuelva puntual. Figura 64.

Para la elaboración del gancho se utilizó un electrodo 304L, primeramente, se retiró el revestimiento, después sobre un tubo de $\frac{1}{2}$ " se dobló haciendo una circunferencia, por último, se realizó un corte en un arco de 35° .

Figura 64
Porta pesas



Repitiendo el proceso antes descrito se obtuvo un segundo gancho al cual se soldó a una base de 30 mm de diámetro en donde los pesos se podrán insertar. Figura 65.

Figura 65
Soporte para pesos



Los pesos se obtuvieron de una platina inoxidable 1" de espesor mediante una esmeriladora de 4 ½" se lograron cortar cuatro piezas de dimensiones 52 mm x 52 mm, estas mediante un torno paralelo se refrentaron ambas caras y se cilindraron cada una a las dimensiones proporcionada en los planos.

Tabla 14
Pesos Obtenidos

Pieza	Descripción
	2.5 N
	1 N
	2.0 N
	0.5 N

El eje donde se acopla todo el conjunto se obtuvo de una barra sólida inoxidable de 25 mm de diámetro y 35 mm de longitud, con el torno se refrentaron ambas caras y se cilindró hasta reducirlo a 20 mm de diámetro. Figura 66.

Figura 66

Eje de acero inoxidable



El contenedor de acrílico se fabricó en dos partes, primeramente, sobre una lámina de 3 mm de espesor se adhirió un vinil con los contornos de las tapas laterales del depósito, lo que ayudaron como guía visual, los cortes se realizaron mediante una segueta, terminando de ajustar mediante limas y lijás hasta obtener la forma de semicircunferencia, los orificios ubicados de manera radial perforados cada 10° se realizaron con una broca para metal de 1/8", se ajustó al diámetro requerido con limas.

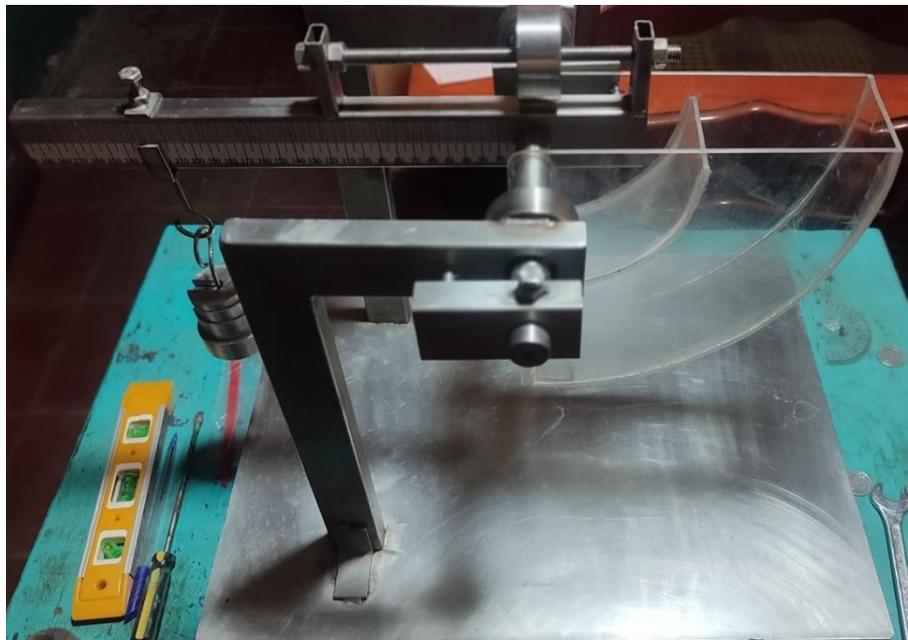
Se utilizaron las tapas laterales de molde para la obtención de la superficie curva, se recortó una lámina de 75 mm de ancho con largo del perímetro de la circunferencia, mediante calor aplicado sobre la lámina se fue moldeando sobre la tapa lateral hasta obtener la curvatura, con la semicircunferencia de la parte interna. Figura 67.

Figura 67
Contenedor de acrílico de 3 mm de espesor



Todas las piezas, se unieron mediante un pegamento para acrílico, lijando primeramente los puntos de contacto para una mejor adherencia con el pegamento, luego de un tiempo de secado en la junta se aplicó un sellado con silicón blanco para la eliminación de filtraciones de agua, para finalizar se ensambló todo para la realización de pruebas. Figura 68.

Figura 68
Ensamble completo de banco de ensayo presión Hidrostática



13. Pruebas y Resultados.

En la tabla 15 se muestra el porcentaje de error en las pesas obtenidas con respecto al teórico:

Tabla 15

Comparativa de pesos Obtenidos VS pesos Teóricos

Peso Teorico (N)	Masa Teorica (KG)	Masa Real (KG)	Peso Real(N)	Diferencia	ERROR RELATIVO
0,5	0,0510	0,0522	0,512082	-0,0012	2,4%
1	0,1020	0,0988	0,969228	0,0032	3,1%
2	0,2040	0,1993	1,955133	0,0047	2,2%
2,5	0,2549	0,2482	2,434842	0,0067	2,6%

Se muestran los resultados obtenidos a diferentes niveles de líquido y variación del ángulo de la superficie plana.

Tabla 16

Resultados obtenidos a un nivel de líquido de 25 mm - 50 mm e inclinación de superficie de 0°

		Angulo de 0°					
DATOS		25mm		50mm			
Temperatura(°C):	°C	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Peso específico():	N/m3	9810,00	9810,00	9810,00	9810,00	9810,00	9810,00
Base(b):	cm	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90
Angulo de inclinacion (°):	°	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nivel de agua borde superior(Sh):	cm	2,50	2,50	5,00	5,00	5,00	5,00
Nivel base al borde inferior (St):	cm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nivel de agua(S):	cm	2,50	2,50	5,00	5,00	5,00	5,00
Altura de superficie activa(h):	cm	2,50	2,50	5,00	5,00	5,00	5,00
Area de la superficie activa (A):	cm2	17,25	17,25	34,50	34,50	34,50	34,50
Profundidad centro geometrico(Hcg):	cm	1,25	1,25	2,50	2,50	2,50	2,50
Fuerza de empuje (FP):	N	0,21	0,21	0,85	0,85	0,85	0,85
Centro de presion(Hcp):	cm	1,67	1,67	3,33	3,33	3,33	3,33
Brazo de fuerza resultante (ID):	cm	19,17	19,17	18,33	18,33	18,33	18,33
Momento presión Hidrostática(Fp*Id):	N-cm	4,05	4,05	15,51	15,51	15,51	15,51
Peso añadido (FG):	N	0,23	0,23	0,74	1,19	0,74	1,19
Brazo de fuerza (I):	cm	16,00	15,70	19,00	13,80	17,70	12,80
Momento peso añadido (Fg*I):	N-cm	3,61	3,54	14,02	16,49	13,06	15,29
ERROR RELATIVO(%) :	FUERZA	6%	6%	15%	29%	15%	29%
	MOMENTO	11%	13%	10%	6%	16%	1%

Tabla 17

Resultados obtenidos a un nivel de líquido de 75 mm e inclinación de superficie de 0°

DATOS		75mm					
Temperatura(°C):	°C	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Peso específico():	N/m3	9810,00	9810,00	9810,00	9810,00	9810,00	9810,00
Base(b):	cm	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90
Angulo de inclinacion ():	°	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nivel de agua borde superior(Sh):	cm	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50
Nivel base al borde inferior (St):	cm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nivel de agua(S):	cm	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50
Altura de superficie activa(h):	cm	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50
Area de la superficie activa (A):	cm2	51,75	51,75	51,75	51,75	51,75	51,75
Profundidad centro geometrico(Hcg):	cm	3,75	3,75	3,75	3,75	3,75	3,75
Fuerza de empuje (FP):	N	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90
Centro de presión(Hcp):	cm	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Brazo de fuerza resultante (ID):	cm	17,50	17,50	17,50	17,50	17,50	17,50
Momento presión Hidrostática(Fp*Id):	N-cm	33,32	33,32	33,32	33,32	33,32	33,32
Peso añadido (FG):	N	1,19	1,71	2,18	2,69	2,18	1,71
Brazo de fuerza (I):	cm	24,60	18,50	15,50	13,00	14,80	17,90
Momento peso añadido (Fg*I):	N-cm	29,39	31,58	33,80	35,01	32,28	30,55
ERROR RELATIVO(%) :	FUERZA	59%	12%	13%	29%	13%	12%
	MOMENTO	12%	5%	1%	5%	3%	8%

Tabla 18

Resultados obtenidos a un nivel de líquido de 100 mm e inclinación de superficie de 0°

DATOS		Angulo de 0°						
		100mm						
Temperatura(°C):	°C	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Peso específico():	N/m3	9810,00	9810,00	9810,00	9810,00	9810,00	9810,00	9810,00
Base(b):	cm	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90
Angulo de inclinacion ():	°	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nivel de agua borde superior(Sh):	cm	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Nivel base al borde inferior (St):	cm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nivel de agua(S):	cm	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Altura de superficie activa(h):	cm	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Area de la superficie activa (A):	cm2	69,00	69,00	69,00	69,00	69,00	69,00	69,00
Profundidad centro geometrico(Hcg):	cm	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Fuerza de empuje (FP):	N	3,38	3,38	3,38	3,38	3,38	3,38	3,38
Centro de presión(Hcp):	cm	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67
Brazo de fuerza resultante (ID):	cm	16,67	16,67	16,67	16,67	16,67	16,67	16,67
Momento presión Hidrostática(Fp*Id):	N-cm	56,41	56,41	56,41	56,41	56,41	56,41	56,41
Peso añadido (FG):	N	2,66	2,69	3,15	3,66	4,14	3,15	3,66
Brazo de fuerza (I):	cm	24,00	20,00	17,50	15,40	13,50	17,30	15,30
Momento peso añadido (Fg*I):	N-cm	63,85	53,86	55,12	56,40	55,91	54,49	56,03
ERROR RELATIVO(%) :	FUERZA	27%	26%	7%	8%	18%	7%	8%
	MOMENTO	13%	5%	2%	0%	1%	3%	1%

Tabla 19

Resultados obtenidos a un nivel de líquido de 125 mm - 195 mm e inclinación de superficie de 0°

		Angulo de 0°														
DATOS		125mm								150mm				175mm	200mm	
Temperatura(°C):	°C	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Peso específico():	N/m3	9810,00	9810,00	9810,00	9810,00	9810,00	9810,00	9810,00	9810,00	9810,00	9810,00	9810,00	9810,00	9810,00	9810,00	9810,00
Base(b):	cm	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90
Angulo de inclinacion (°):	°	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nivel de agua borde superior(Sh):	cm	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	15,30	15,00	15,00	15,00	15,00	17,50	200,00
Nivel base al borde inferior (St):	cm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nivel de agua(S):	cm	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	15,30	15,00	15,00	15,00	15,00	17,50	20,00
Altura de superficie activa(h):	cm	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Area de la superficie activa (A):	cm2	69,00	69,00	69,00	69,00	69,00	69,00	69,00	69,00	69,00	69,00	69,00	69,00	69,00	69,00	69,00
Profundidad centro geometrico(Hcg):	cm	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	10,30	10,00	10,00	10,00	10,00	12,50	15,00
Fuerza de empuje (FP):	N	4,23	4,23	4,23	4,23	4,23	4,23	4,23	4,23	6,97	6,77	6,77	6,77	6,77	8,46	10,15
Centro de presion(Hcp):	cm	7,58	7,58	7,58	7,58	7,58	7,58	7,58	7,58	11,11	10,83	10,83	10,83	10,83	13,17	15,56
Brazo de fuerza resultante (ID):	cm	17,58	17,58	17,58	17,58	17,58	17,58	17,58	17,58	15,81	15,83	15,83	15,83	15,83	15,67	15,56
Momento presión Hidrostática(Fp*Id):	N-cm	74,39	74,39	74,39	74,39	74,39	74,39	74,39	74,39	110,22	107,17	107,17	107,17	107,17	132,56	157,94
Peso añadido (FG):	N	2,66	3,17	3,66	4,14	4,62	5,13	5,58	6,10	4,14	4,62	5,13	5,50	6,10	6,10	6,10
Brazo de fuerza (I):	cm	27,00	23,70	20,70	18,70	17,10	15,30	14,40	13,30	24,70	22,50	20,50	18,90	17,50	21,10	25,50
Momento peso añadido (Fg*I):	N-cm	71,83	75,19	75,80	77,45	78,93	78,45	80,42	81,09	102,30	103,85	105,12	103,95	106,70	128,64	155,47
ERROR RELATIVO(%):	FUERZA	59%	33%	16%	2%	8%	17%	24%	31%	68%	47%	32%	23%	11%	39%	67%
	MOMENTO	3%	1%	2%	4%	6%	5%	8%	9%	7%	3%	2%	3%	0%	3%	2%

Tabla 20

Resultados obtenidos a un nivel de líquido de 100 mm e inclinación de superficie de 50°

		Angulo 50°									
		NIVEL DEL LIQUIDO									
DATOS		100mm									
Temperatura(°C):	°C	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Peso específico():	N/m3	9810	9810	9810	9810	9810	9810	9810	9810	9810	9810
Base(b):	cm	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9
Angulo de inclinacion (°):	°	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Nivel de agua borde superior(Sh):	cm	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Nivel base al borde inferior (St):	cm	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
Nivel de agua(S):	cm	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Altura de superficie activa(h):	cm	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Area de la superficie activa (A):	cm2	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69
Profundidad centro geometrico(Hcg):	cm	6.170	6.170	6.170	6.170	6.170	6.170	6.170	6.170	6.170	6.170
Fuerza de empuje (FP):	N	4.18	4.18	4.18	4.18	4.18	4.18	4.18	4.18	4.18	4.18
Brazo de fuerza resultante (ID):	cm	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
Momento presión Hidrostática(Fp*Id):	N-cm	62.64	62.64	62.64	62.64	62.64	62.64	62.64	62.64	62.64	62.64
Peso añadido (FG):	N	2.69	2.66	3.17	3.15	3.63	3.66	4.14	4.6	5.13	
Brazo de fuerza (I):	cm	23.4	23.4	20	19.6	17.7	17.5	15.6	14.5	13.4	
Momento peso añadido (Fg*I):	N-cm	63.01	62.26	63.45	61.74	64.25	64.09	64.61	66.93	68.71	

Tabla 21

Resultados obtenidos a un nivel de líquido de 150 mm y 200 mm con inclinación de superficie de 50°

Angulo 50°												
NIVEL DEL LIQUIDO												
DATOS		100mm							150mm			
Temperatura(°C):	°C	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Peso especifico():	N/m3	9810,00	9810,00	9810,00	9810,00	9810,00	9810,00	9810,00	9810,00	9810,00	9810,00	9810,00
Base(b):	cm	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90
Angulo de inclinacion (°):	°	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Nivel de agua borde superior(Sh):	cm	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	28,00	28,00	28,00	28,00
Nivel base al borde inferior (St):	cm	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00
Nivel de agua(S):	cm	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	15,00	15,00	15,00	15,00
Altura de superficie activa(h):	cm	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Area de la superficie activa (A):	cm2	69,00	69,00	69,00	69,00	69,00	69,00	69,00	69,00	69,00	69,00	69,00
Profundidad centro geometrico(Hcg):	cm	6,79	6,79	6,79	6,79	6,79	6,79	6,79	11,79	11,79	11,79	11,79
Fuerza de empuje (FP):	N	4,59	4,59	4,59	4,59	4,59	4,59	4,59	7,98	7,98	7,98	7,98
Altura del centro de presion (Hcp):	cm	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	12,49	12,49	12,49	12,49
Brazo de fuerza resultante (ID):	cm	16,91	16,91	16,91	16,91	16,91	16,91	16,91	16,10	16,10	16,10	16,10
Momento presión Hidrostática(Fp*Id):	N-cm	77,68	77,68	77,68	77,68	77,68	77,68	77,68	128,44	128,44	128,44	128,44
Peso añadido (FG):	N	2,18	2,69	3,15	3,66	3,92	4,62	5,13	4,14	4,62	4,90	5,58
Brazo de fuerza (I):	cm	27,20	22,80	19,70	17,50	15,70	14,20	13,00	26,60	24,20	22,00	20,30
Momento peso añadido (Fg*I):	N-cm	59,32	61,40	62,05	64,09	61,48	65,54	66,66	110,17	111,70	107,85	113,37
Error Relativo (%) :	FUERZA	111%	71%	46%	25%	17%	0%	10%	93%	73%	63%	43%
	MOMENTO	24%	21%	20%	17%	21%	16%	14%	14%	13%	16%	12%

Tabla 22

Resultados obtenidos a un nivel de líquido de 60 mm e inclinación de superficie de 90°

Angulo 90°										
NIVEL DEL LIQUIDO										
DATOS		60mm								
Temperatura(°C):	°C	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Peso especifico():	N/m3	9810	9810	9810	9810	9810	9810	9810	9810	9810
Base(b):	cm	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9
Angulo de inclinacion (°):	°	90	90	90	90	90	90	90	90	90
Nivel de agua borde superior(Sh):	cm	34,7	34,7	34,7	34,7	34,7	34,7	34,7	34,7	34,7
Nivel base al borde inferior (St):	cm	28,7	28,7	28,7	28,7	28,7	28,7	28,7	28,7	28,7
Nivel de agua(S):	cm	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Altura de superficie activa(h):	cm	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Area de la superficie activa (A):	cm2	69	69	69	69	69	69	69	69	69
Profundidad centro geometrico(Hcg):	cm	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
Fuerza de empuje (FP):	N	4,06	4,06	4,06	4,06	4,06	4,06	4,06	4,06	4,06
Brazo de fuerza resultante (ID):	cm	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
Momento presión Hidrostática(Fp*Id):	N-cm	60,92	60,92	60,92	60,92	60,92	60,92	60,92	60,92	60,92
Peso añadido (FG):	N	2,18	2,66	2,69	3,15	3,17	3,63	3,66	4,14	4,62
Brazo de fuerza (I):	cm	25,8	22	21,6	19,8	19,5	16	15,5	14	12,5
Momento peso añadido (Fg*I):	N-cm	56,26	58,53	58,17	62,37	61,86	58,08	56,76	57,98	57,70

Tabla 23

Resultados obtenidos a un nivel de líquido de 100 mm e inclinación de superficie de 90°

Angulo 90°								
NIVEL DEL LIQUIDO								
DATOS		100mm						
Temperatura(°C):	°C	20	20	20	20	20	20	20
Peso especifico():	N/m3	9810	9810	9810	9810	9810	9810	9810
Base(b):	cm	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9
Angulo de inclinacion (°):	°	90	90	90	90	90	90	90
Nivel de agua borde superior(Sh):	cm	38,7	38,7	38,7	38,7	38,7	38,7	38,7
Nivel base al borde inferior (St):	cm	28,7	28,7	28,7	28,7	28,7	28,7	28,7
Nivel de agua(S):	cm	10	10	10	10	10	10	10
Altura de superficie activa(h):	cm	10	10	10	10	10	10	10
Area de la superficie activa (A):	cm ²	69	69	69	69	69	69	69
Profundidad centro geometrico(Hcg):	cm	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
Fuerza de empuje (FP):	N	6,77	6,77	6,77	6,77	6,77	6,77	6,77
Brazo de fuerza resultante (ID):	cm	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
Momento presión Hidrostática(Fp*Id):	N-cm	101,53	101,53	101,53	101,53	101,53	101,53	101,53
Peso añadido (FG):	N	3,63	3,66	4,14	4,62	5,13	5,58	6,10
Brazo de fuerza (I):	cm	25,5	25,3	23,5	21,4	19	17,5	15,5
Momento peso añadido (Fg*I):	N-cm	92,56	92,65	97,33	98,77	97,43	97,73	94,50

Se observa la variación de la precisión dependiendo de la aproximación de la distancia de la palanca ejercida por el contrapeso y la distancia del centro del eje hasta el centro de presión de la superficie, obteniendo hasta un 20 % de error relativo cuando la diferencia de longitudes es mayor a ± 3 cm.

El error relativo global del banco se obtuvo promediando el porcentaje de error registrado en cada una de las pruebas, en los datos solo se consideraron aquellos cuya diferencia en la longitud de la palanca no excediera el ± 3 cm, debido a que el momento generado es proporcional a la fuerza aplicada y la longitud del brazo, porque al variar el brazo, la fuerza que se requiere para generar el mismo momento tiende a variar, obteniendo un margen de error global del 13 %. Tabla 24

Tabla 24**Resultados obtenidos a distintos niveles de líquido y diferentes ángulos de inclinación**

		0°																		
DATOS		25mm	50mm			75mm			100mm				125mm				150mm			
Temperatura(°C):	°C	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	
Peso específico(ρ):	N/m3	9810,000	9810,000	9810,000	9810,000	9810,000	9810,000	9810,000	9810,000	9810,000	9810,000	9810,000	9810,000	9810,000	9810,000	9810,000	9810,000	9810,000	9810,000	
Base(b):	cm	6,900	6,900	6,900	6,900	6,900	6,900	6,900	6,900	6,900	6,900	6,900	6,900	6,900	6,900	6,900	6,900	6,900	6,900	
Angulo de inclinación (I):	°	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Nivel de agua borde superior(Sh):	cm	2,500	5,000	5,000	7,500	7,500	7,500	7,500	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	12,500	12,500	12,500	12,500	15,000	15,000
Nivel base al borde inferior (St):	cm	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Nivel de agua(S):	cm	2,500	5,000	5,000	7,500	7,500	7,500	7,500	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	15,000	15,000
Altura de superficie activa(h):	cm	2,500	5,000	5,000	7,500	7,500	7,500	7,500	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
Area de la superficie activa (A):	cm2	17,250	34,500	34,500	51,750	51,750	51,750	51,750	69,000	69,000	69,000	69,000	69,000	69,000	69,000	69,000	69,000	69,000	69,000	69,000
Profundidad centro geométrico(Hc)	cm	1,250	2,500	2,500	3,750	3,750	3,750	3,750	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	6,250	6,250	6,250	6,250	10,000	10,000
Fuerza de empuje (FP):	N	0,212	0,846	0,846	1,904	1,904	1,904	1,904	3,384	3,384	3,384	3,384	3,384	3,384	4,231	4,231	4,231	4,231	6,769	6,769
Centro de presión(Hcp):	cm	1,667	3,333	3,333	5,000	5,000	5,000	5,000	6,667	6,667	6,667	6,667	6,667	6,667	7,583	7,583	7,583	7,583	10,833	10,833
Brazo de fuerza resultante (ID):	cm	19,167	18,333	18,333	17,500	17,500	17,500	17,500	16,667	16,667	16,667	16,667	16,667	16,667	17,583	17,583	17,583	17,583	15,833	15,833
Momento presión Hidrostática(Fp*N-cm)	N-cm	4,054	15,512	15,512	33,316	33,316	33,316	33,316	56,408	56,408	56,408	56,408	56,408	56,408	74,387	74,387	74,387	74,387	107,174	107,174
Peso añadido (FG):	N	0,226	0,738	0,738	1,707	2,181	2,181	2,181	3,150	3,662	4,142	3,150	3,662	3,662	3,662	4,142	4,616	5,128	5,500	6,097
Brazo de fuerza (I):	cm	16,000	19,000	17,700	18,500	15,500	14,800	17,900	17,500	15,400	13,500	17,300	15,300	20,700	18,700	17,100	15,300	18,900	17,500	17,500
Momento peso añadido (Fg*I):	N-cm	3,610	14,017	13,058	31,578	33,802	32,275	30,554	55,125	56,396	55,914	54,495	56,030	75,805	77,451	78,927	78,454	103,950	106,696	106,696
Error Relativo (%):	FUERZA	6%	15%	15%	12%	13%	13%	12%	7%	8%	18%	7%	8%	16%	2%	8%	17%	23%	11%	11%
	MOMENTO	11%	10%	16%	5%	1%	3%	8%	2%	0%	1%	3%	1%	2%	4%	6%	5%	3%	0%	0%

		50°						90°					
DATOS		100mm						150mm	60mm			100mm	
Temperatura(°C):	°C	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Peso específico(ρ):	N/m3	9810,00	9810,00	9810,00	9810,00	9810,00	9810,00	9810,00	9810,00	9810,00	9810,00	9810,00	9810,00
Base(b):	cm	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90
Angulo de inclinación (I):	°	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00
Nivel de agua borde superior(Sh):	cm	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	28,00	34,70	34,70	34,70	34,70	38,70
Nivel base al borde inferior (St):	cm	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	28,70	28,70	28,70	28,70	28,70
Nivel de agua(S):	cm	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	15,00	6,00	6,00	6,00	6,00	10,00
Altura de superficie activa(h):	cm	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Area de la superficie activa (A):	cm2	69,00	69,00	69,00	69,00	69,00	69,00	69,00	69,00	69,00	69,00	69,00	69,00
Profundidad centro geométrico(Hcg):	cm	6,79	6,79	6,79	6,79	6,79	6,79	11,79	6,00	6,00	6,00	6,00	10,00
Fuerza de empuje (FP):	N	4,59	4,59	4,59	4,59	4,59	4,59	7,98	4,06	4,06	4,06	4,06	6,77
Centro de presión(Hcp):	cm	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	12,49	4,06	4,06	4,06	4,06	6,77
Brazo de fuerza resultante (ID):	cm	16,91	16,91	16,91	16,91	16,91	16,91	16,10	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
Momento presión Hidrostática(Fp*I-d)	N-cm	77,68	77,68	77,68	77,68	77,68	77,68	128,44	60,92	60,92	60,92	60,92	101,53
Peso añadido (FG):	N	3,15	3,66	3,92	4,62	5,13	5,13	6,10	3,63	3,66	4,14	4,62	6,10
Brazo de fuerza (I):	cm	19,70	17,50	15,70	14,20	13,00	13,00	18,80	16,00	15,50	14,00	12,50	15,50
Momento peso añadido (Fg*I):	N-cm	62,05	64,09	61,48	65,54	66,66	66,66	114,62	58,08	56,76	57,98	57,70	94,50
Error Relativo (%):	FUERZA	46%	25%	17%	0%	10%	10%	31%	12%	11%	2%	12%	11%
	MOMENTO	20%	17%	21%	16%	14%	14%	11%	5%	7%	5%	5%	7%



PRACTICA DE LABORATORIO

Objetivo de la práctica

- Determinar la magnitud de la fuerza hidrostática sobre superficies planas de manera experimental comparándolos con los cálculos teóricos.
- Determinación del centro de presión y del centro de gravedad.

Fundamento teórico

Aplicación de los Principios de Hidrostática.

Material a utilizar

- Banco hidráulico equipado con un depósito de agua inclinable con escala de nivel.
- Brazo de palanca con distintos pesos calibrados y ranurados de diferentes pesos.
- Regla de 30 cm

Método operativo

1. Colocar el contrapeso sobre la barra roscada al costado derecho de la regla, si el ángulo de la compuerta es menor a 30° , si el ángulo es mayor, se debe trasladar a la parte interna de la barra roscada donde se utiliza una llave de $3/8''$ para aflojar la contratuerca por la parte interna, una vez hecho se procederá a desenroscar la varilla para ingresar el contrapeso, ya ingresado el contrapeso se enrosca la varilla a su posición inicial y se fija la contra tuerca
2. Colocar el contenedor de acrílico en uno de los agujeros según el ángulo de la compuerta que se desee utilizar (0° hasta 90°), una vez hecho, colocar el soporte

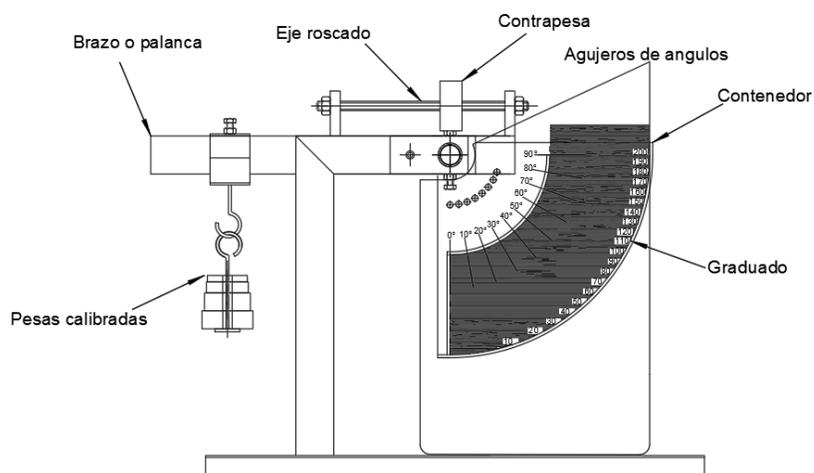
para pesas sobre la parte izquierda de la palanca a una distancia media entre 15 cm a 18 cm.

3. Utilizando los contrapesos de la parte superior del brazo se debe buscar el equilibrio, luego se llena el depósito con agua al nivel requerido.
4. Posterior, se añadirán los pesos de acuerdo a las disposiciones que contamos, y variando la distancia del brazo hasta que el pin de la parte frontal se encuentre en el centro del agujero, logrando el equilibrio.

NOTA: Se debe añadir peso hasta que se logre el equilibrio a una distancia de palanca aproximada al brazo de la fuerza del centro de presión.

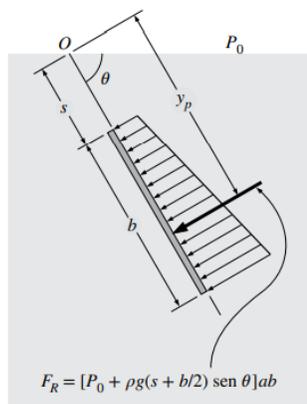
5. Medir la distancia entre el centro del eje hasta el centro el centro del soporte.
6. Repetir este procedimiento para los distintos niveles de líquido, (hasta completarlos todos).

Esquema del banco de ensayo

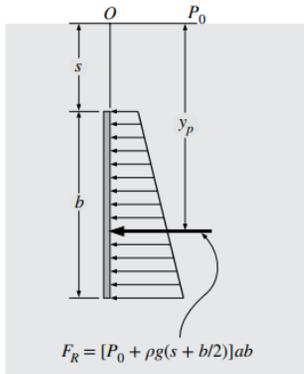


Fórmulas a utilizar:

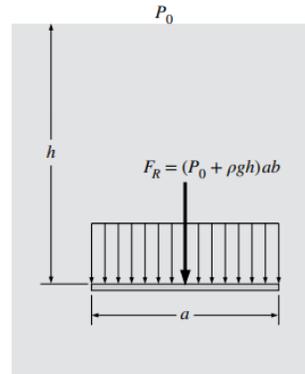
La fuerza ejercida del agua sobre una superficie sumergida se obtiene teóricamente



a) Placa inclinada



b) Placa vertical



c) Placa horizontal

Donde:

F_R : fuerza resultante producida por el agua.

ρ : peso específico del agua.

g : gravedad.

P_0 : presión atmosférica.

θ : ángulo de inclinación de la placa.

ab : área de la superficie sumergida.

s : distancia del nivel del líquido hasta el borde superior de la superficie.

Datos del banco de ensayo	
Peso específico del agua	9810 N/m^3
Pesas (FUERZA) masa x gravedad	De 0.2 N a 6 N
Ángulos de la superficie	De 0° a 90°

Actividades:

- Complete el recuadro y calcule error relativo.
- Ubicar en un diagrama de cuerpo libre el centro de gravedad, centro de presión, fuerza hidrostática y los contrapesos con su respectivo brazo, utilizando como punto de referencia el pivote.

15. Conclusiones

Este proyecto se ha dedicado a proporcionar dos bancos de ensayo para prácticas en el laboratorio de turbomáquinas. Mediante el uso de herramientas avanzadas de modelado 3D como AutoCAD y SolidWorks, se logró dimensionar con precisión cada componente de los bancos. Mediante cálculos rigurosos de resistencia, seleccionamos cuidadosamente los materiales para garantizar su durabilidad frente a los esfuerzos mecánicos y las condiciones ambientales.

Asimismo, mediante máquinas herramientas y técnicas de soldadura, se logró la fabricación de las piezas y la realización de ajustes durante el proceso de ensamblaje de cada componente, permitiendo el correcto funcionamiento de cada equipo. A través del análisis estadístico, se determinó el error existente en el equipo con respecto a las fórmulas teóricas, dado que en la realidad hay múltiples factores que pueden afectar los resultados.

Se desarrollaron guías de laboratorio con el objetivo de facilitar la ejecución precisa de la operación de los bancos, con la finalidad de optimizar su rendimiento y garantizar que los estudiantes puedan integrar de manera satisfactoria los conocimientos teóricos a través de la práctica experimental.

16. Recomendaciones

Para la operación del banco de ensayo de fuerza ejercida por un chorro se debe asegurar que el tanque de almacenamiento se encuentre a un nivel alto de agua, para evitar daños en la bomba, durante el funcionamiento evitar cerrar completamente las válvulas para evitar daños en la tubería. Finalizada la práctica se recomienda vaciar el tanque de almacenamiento evitando la formación de organismos en el tanque.

Antes de realizar pruebas en el banco de ensayo de presión hidrostática se debe verificar que se encuentre la base nivelada, debido a que afectara los resultados, al finalizar las pruebas se requiere vaciar el depósito de acrílico y limpiar con un paño para evitar la formación de manchas en el contenedor, sí permanece sin uso por largos periodos de tiempo verificar el apriete de los prisioneros.

17. Bibliografía.

Agencia Centroamericana de Acreditacion de Arquitectura y de Ingenieria. (2012). *Guia de AutoEvaluación*.

Agencia Centroamericana de Acreditacion de Arquitectura y de Ingenieria. (2012). *Manual de Acreditación de ACAAI*.

Budynas, R., & Nisbett, k. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de shigley*. mexico

Cengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2020). *Mecánica de fluidos fundamento y aplicaciones*. Mexico: McGraw-Hill.

Dávila Uriarte, M. J., Urroz Sevilla, M. Á., & Reyes Díaz, E. A. (2022). *Diseño y construccion de banco de ensayo para una bomba centrifuga*. Universidad Nacional de Ingenieria.

García Baltodano , R. G., Auxiliadora Méndez, J., & Lazo Rodriguez, O. D. (2017).

Restauración Total Del Banco De Bombas En Serie y Paralelo Con Arreglos De tubeías En Serie y Paralelo Del Laboratorio De Turbomáquinas Del Departamento De Energética De La Carrera De Ingenieria Mecánica. (*Tesis*). Universidad Nacional De Ingenieria, Managua.

González Obando, E. L. (2011). *Diseño de un entrenador de bomba centrifuga*. (*Tesis*).

Universidad Nacional De Ingenieria, Managua.

Zapata Andino, M., & Reynaldo Espinoza, J. (2002). *DISEÑO DEUN BANCO DE PRUEBAS DE PERDIDAS HIDRAULICAS*. (*Tesis*). Universidad Nacional De Ingenieria, Managua.

18. Anexo

Bascula



Certificado de calibración

 Metrología Consultoras de Nicaragua, S.A.	Certificado de Calibración NI-MCCC-01	 Oficina Nacional de Acreditación Laboratorio de Calibración Código de Acreditación LC-000-24-01
--	--	---

Identificación del certificado: NI-MC-B-470-2023
Código de servicio: NI-CS-0429-1-23
Fecha de calibración: 2023-09-11
Fecha de emisión del certificado: 2023-09-12
Objeto de calibración: Balanza Digital
Fabricante/Marca: OHAUS
Serie: 8343020902
Modelo: NVT4201
Rango de medida: 0 g a 4 200 g
Resolución: 0,1 g
Código de identificación: B02
Solicitante: Kola Shaler Industrial S.A.
Dirección del solicitante: km 2 Carretera a Sabana Grande
Lugar de calibración: Laboratorio de calidad




Resultados de la calibración

Tabla de resultados de la calibración

Masa de referencia	Indicación del equipo	Error	Repetibilidad	Excentricidad máxima	Incertidumbre expandida k=2
g	g	g	g	g	g
0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,13
200,0	200,0	0,0			0,13
500,0	500,0	0,0			0,13
1 000,0	1 000,0	0,0			0,13
2 000,0	2 000,0	0,0			0,13
3 000,0	3 000,0	0,0			0,13
4 000,0	4 000,1	0,1			0,14

Condiciones ambientales
 Temperatura: (22,4 ± 0,3) °C
 Hum R.: (50,7 ± 1,3) % HR

Presión atmosférica
 Presión: (1001 ± 10) hPa

Método de calibración
 Las pruebas se realizaron con NI-MCIT-B-01 Instrucción para calibración de instrumentos de pesaje de funcionamiento no automático.

Incertidumbre de los datos
 La incertidumbre de las medición se obtuvo multiplicando la incertidumbre estándar combinada por un factor de cobertura k = 2, con el que se alcanza un nivel de confianza de aproximadamente un 95 %. La incertidumbre estándar de la medición se determinó conforme a Guía para la Expresión de la Incertidumbre de la Medida, BIPM-IEC-IFCC-ISO-IUPAC-IUPAP-QIML, en la cual se toma en cuenta la incertidumbre de los patrones, del método de calibración, de los factores de influencia durante la calibración y del equipo sujeto a calibración.

1-Certificado de Calibración emitido dentro del alcance de acreditación con código LC-002-14-R1. 2-Puntos de Calibración marcados con (*) son fuera del alcance de acreditación.
 Bello Horizonte V1 etapa, casa #136, De la Iglesia Pío X, 350 m al este Managua, Nicaragua. Página 1062
 Email: info@metrocal.co.ni web: www.metrocal.co.ni
 Teléfono: (505) 2249 0758 v3 Ap-NI-MCPB-20 v1 2020-12-01

Anexo II

Planos de banco de ensayo de fuerza ejercida por un chorro

Anexo III

Planos de banco de ensayo de fuerza hidrostática en líquidos sobre superficies planas y curvas