

FABRICACIÓN DE EQUIPO HIDROSTÁTICO PARA MEDICIÓN DE FUERZAS SOBRE
SUPERFÍCIES PLANAS TOTAL Y PARCIALMENTE SUMERGIDAS

José Luis Rodríguez Gómez

Néstor Fabian Morales Cupa

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIVISIÓN DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS
TUNJA
2023

FABRICACIÓN DE EQUIPO HIDROSTÁTICO PARA MEDICIÓN DE FUERZAS SOBRE SUPERFÍCIES PLANAS TOTAL Y PARCIALMENTE SUMERGIDAS

José Luis Rodríguez Gómez

Néstor Fabian Morales Cupa

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico

Director 1

MSc. Fabián Higuera

Director 2

PhD. Yina Faizully Quintero Gamboa

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DIVISIÓN DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS

TUNJA

2023

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Tunja, 07/07/2023

DEDICATORIA – AGRADECIMIENTOS

Hoy, con gran emoción y gratitud, presentamos esta tesis de pregrado como el resultado de años de arduo trabajo, aprendizaje y crecimiento. No podemos expresar con palabras la profunda gratitud que sentimos hacia cada uno de ustedes por su apoyo incondicional a lo largo de este viaje.

A nuestros profesores, queremos agradecerles por su dedicación, sabiduría y guía constante. Sus conocimientos y enseñanzas han sido la base sólida sobre la cual hemos construido nuestra educación. Gracias por motivarnos a superar nuestros límites y por compartir su pasión por el conocimiento. Sus comentarios constructivos y sus desafíos intelectuales nos han ayudado a crecer y convertirnos en una mejor versión de nosotros.

A nuestras familias, queremos expresar nuestro profundo agradecimiento por su amor incondicional, paciencia y apoyo constante. Han sido nuestra fuente de fortaleza y motivación en los momentos más difíciles. Sus palabras alentadoras y su confianza en nosotros nos han impulsado a seguir adelante incluso cuando las cosas se volvían difíciles. Gracias por creer en nuestros sueños y por estar a nuestro lado en cada paso del camino.

A nuestros seres queridos y amigos, queremos agradecerles por su apoyo incondicional y por ser una fuente constante de ánimo y alegría. Sus palabras de aliento y su presencia en nuestra vida han sido fundamentales para mantenerme motivado/a y equilibrado/a en todo momento. Gracias por comprender nuestras ausencias y por celebrar nuestros logros como si fueran propios.

Este logro no es solo nuestro, sino de todos aquellos que han sido parte de nuestras vidas y nos han apoyado a lo largo de esta travesía. Estamos sinceramente agradecidos por todo lo que han hecho por nosotros. Esta tesis es un tributo a su amor, apoyo y confianza.

Contenido

1	INTRODUCCIÓN	15
2	OBJETIVOS.....	16
2.2	OBJETIVO GENERAL	16
2.3	OBJETIVOS ESPECIFICOS	16
3	MARCO TEÒRICO	17
3.2	CONCEPTOS PREVIOS	20
3.2.1.	Presión	20
3.2.2.	Temperatura:	21
3.2.3.	Densidad:	21
3.2.4.	Peso específico	22
3.2.5.	Densidad relativa	22
3.2.6.	Estática de fluidos.....	22
3.2.7.	Fuerzas hidrostáticas sobre superficies planas sumergidas.....	23
3.2.8.	Pared vertical rectangular	23
3.2.9.	Centro de presión	24
3.1.	DISTRIBUCIÓN DE FUERZAS SOBRE SUPERFICIES CURVAS SUMERGIDAS.....	26
3.3.1.	Componente horizontal.....	27
3.3.2.	Componente vertical.....	28
4	PROPUESTA Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS Y MODELO EN SOFTWARE CAD.....	29
4.1.	MATRIZ DE DISEÑO.....	29
4.2.	ALTERNATIVAS DE GEOMETRIA PARA EL CUADRANTE CIRCULAR A 90 GRADOS	30
4.3.1.	Primera alternativa.....	30
4.3.2.	Segunda alternativa.....	30
4.3.3.	Tercera alternativa.....	31
4.3.4.	Cuarta alternativa	32
4.3.5.	Alternativa seleccionada.....	33

4.4.	POSIBLES ALTERNATIVAS DE LA UBICACIÓN DE LOS CONTRAPESOS	33
4.4.1.	Primera alternativa.....	33
4.4.2.	Segunda alternativa.....	33
4.4.3.	Tercera alternativa.....	34
4.4.4.	Cuarta alternativa	34
4.4.5.	Alternativa de posición de las masas seleccionada.....	35
4.5.	ALTERNATIVAS PROPUESTAS PARA EL CONTENEDOR.....	36
4.5.1.	Primera alternativa.....	36
4.5.2.	Segunda alternativa.....	36
4.5.3.	Tercera alternativa.....	37
4.5.4.	Alternativa de contenedor seleccionada	38
4.5.5.	Selección de alternativas.....	39
5	MODELADO, DIMENSIONAMIENTO Y CONSTRUCCION	40
5.1.	MODELADO	40
5.2.	DIMENSIONES DEL EQUIPO.....	40
5.3.	CONSTRUCCIÓN	41
5.3.1.	Fabricación	43
6	DESARROLLO DE GUIAS DE LABORATORIO	50
6.1.1.	Encabezado.....	50
6.1.2.	Introducción	50
6.1.3.	Objetivos.....	51
6.1.4.	Lista de materiales y equipos	51
6.1.5.	Marco teórico	51
6.1.6.	Nomenclatura	51
6.1.7.	Procedimiento experimental	51
6.1.8.	Tabla de cálculos.....	51
6.1.9.	Conclusiones	51
7	ANALISIS Y PRUEBAS	52
7.1.	PRUEBAS FISICAS AL EQUIPO	52
7.2.	PRUEBAS EXPERIMENTALES SUPERFICIES PARCIALMENTE SUMERGIDAS	53

7.3.	PRUEBAS EXPERIMENTALES SUPERFICIES TOTALMENTE SUMERGIDAS	55
8	COSTOS DEL EQUIPO.....	57
9	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	58
10	BIBLIOGRAFÍA.....	59
11	ANEXOS.....	60
11.1.	ANEXO A Planos del equipo	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Superficie del fluido	20
Figura 2. Presión en las fronteras del fluido	21
Figura 3. Distribución de presiones en una pared vertical sumergida	23
Figura 4. Tanque con fluido.....	26
Figura 5 Diagrama de cuerpo libre de un volumen por encima de la superficie curva ...	27
Figura 6 Primera propuesta de geometría para el cuadrante circular	30
Figura 7 Segunda propuesta de geometría para el cuadrante circular.....	31
Figura 8 Tercera propuesta de geometría para el cuadrante circular.....	31
Figura 9 Cuarta propuesta de geometría para el cuadrante circular	32
Figura 10 Alternativa 1 ubicación de los contrapesos	33
Figura 11 Alternativa 2 ubicación de los contrapesos	34
Figura 12 Alternativa 3 ubicación de los contrapesos	34
Figura 13 Alternativa 4 ubicación de los contrapesos	35
Figura 14 Primera alternativa para el contenedor	36
Figura 15 Segunda alternativa para el contenedor.....	37
Figura 16 Tercera alternativa para el contenedor.....	38
Figura 17 Diseño final de la alternativa seleccionada	39
Figura 18 Diseño preliminar del equipo en software CAD	40
Figura 19 Pie de nivelación	41
Figura 20 Rodamiento 608z	42
Figura 21 Llave de registro.....	42
Figura 22 Manguera de Nylon	43
Figura 23 Proceso de corte laser de las piezas en acrílico	43
Figura 24 Proceso de unión del contenedor de fluido	44
Figura 25 Pies de nivelación y niveles de gota.....	44
Figura 26 Construcción del cuadrante circular a 90 grados	45
Figura 27 Piezas en proceso de fabricación mediante impresión 3D	45
Figura 28 Pieza de acople para el desagüe del fluido en impresión 3D.....	46
Figura 29 Pieza de acople del eje con el pivote en impresión 3D	46
Figura 30 Fabricación de pivote	47
Figura 31 Ensamble de pivote y pieza de acople	47
Figura 32 Fabricación de eje	48
Figura 33 Vista general del equipo.....	48
Figura 34 Vista lateral del equipo	49
Figura 35 Vista frontal del equipo.....	49
Figura 36 Pruebas físicas realizadas al equipo	52
Figura 37 Comparación de fuerzas	54
Figura 38 Comparación de fuerzas	56

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Matriz de decisión.....	29
Tabla 2 Matriz de decisión.....	32
Tabla 3 Matriz de decisión.....	35
Tabla 4 Matriz de decisión.....	38
Tabla 5 Datos de entrada	53
Tabla 6 Toma de datos	53
Tabla 7 Resultados	54
Tabla 8 Datos de entrada	55
Tabla 9 Toma de datos	55
Tabla 10 Resultados	56
Tabla 11 Costos directos.....	57

LISTA DE SIMBOLOS

P_c = Presión en el centroide de la superficie sumergida.

A = Área de la superficie sumergida.

γ = Peso específico

y_c : centroide de la superficie sumergida medida desde la superficie de agua.

ρ : densidad del fluido.

g : aceleración de la gravedad ($9,81 \text{ m/s}^2$)

F_r = Fuerza resultante

I_c = Momento de inercia del área con respecto de eje centroidal

L_c = Distancia del eje de referencia al centroide

w = ancho de la superficie curva

s = area del rectangulo

F_v = Fuerza vertical

F_h = Fuerza horizontal

m = Masa

h_2 = Altura del pivote a la parte superior del area rectangular

c_p = Centro de presion

b = brazo de momento

h_1 = Altura de la superficie

h_3 = Altura libre

h_s = Altura sumergida

h_c = Altura centroidal

h_{cp} = Altura al centro de presiones

F_{RT} = Fuerza resultante teórica

F_{RE} = Fuerza resultante experimental

F_c = Fuerza de carga

M_e = Momento experimental

$L_e = L - L_0$ = Brazo experimental

L = Longitud de nivelacion con fluido

L_0 = Longitud de nivelacion sin fluido

1 INTRODUCCIÓN

La mecánica de fluidos es un campo de estudio que se ocupa de analizar el comportamiento de fluidos y gases en movimiento, así como en reposo. En el presente proyecto se estudia los fluidos en reposo que corresponden a la estática de fluidos. Según Cengel¹, la estática de fluidos permite determinar las fuerzas que actúan sobre cuerpos flotantes o sumergidos. Algunos ejemplos prácticos de aplicación incluyen el diseño de presas de agua, tanques de almacenamiento, entre otros. Se debe tener en cuenta que las fuerzas que actúan sobre una superficie sumergida tienen una magnitud, dirección y una línea de acción.

El trabajo que se va a desarrollar en este proyecto se centra en el diseño y fabricación de un equipo para el laboratorio de hidráulica de la Universidad Santo Tomas. El objetivo del equipo es calcular las fuerzas en superficies sumergidas, considerando diferentes alturas y configuraciones. Esto permitirá a los alumnos aplicar los conocimientos adquiridos en clase a situaciones reales y poner en práctica los conceptos previamente aprendidos.

El proceso de diseño y fabricación del equipo requiere de los principios aprendidos en el área de mecánica de fluidos. Un factor importante en la fabricación del equipo es la selección de los materiales, estos deben garantizar un correcto funcionamiento del equipo evitando que se presenta alguna fuga cuando el equipo este sometido a las fuerzas generadas por el fluido. Además, se debe verificar que el equipo asegure precisión en la tomas de las medidas, por esto se utilizaran pesas calibradas y una regla que permita obtener datos confiables proporcionados por el equipo.

Una vez completado el diseño y fabricación del equipo, se llevarán a cabo pruebas para garantizar el funcionamiento y precisión del equipo. Estas pruebas permitirán evaluar el desempeño del equipo y realizar comparaciones con resultados teóricos o datos de referencia previamente establecidos. Además, se verificará si la maquina funciona dentro del margen de error establecido para garantizar que la entrega de resultados es confiable.

¹ CENGEL, Yunus y CIMBALA John. Mecánica de fluidos fundamentos y aplicaciones. 4 edición. México: McGraw-Hill Interamericana, 2018, 79p.

2 OBJETIVOS

2.2 OBJETIVO GENERAL

Construir un dispositivo didáctico para el laboratorio de hidráulica de la Universidad Santo Tomas seccional Tunja, para el desarrollo de prácticas relacionadas con el comportamiento de superficies sumergidas.

2.3 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 1) Buscar antecedentes de diseños del sistema similares, que permitan proponer la mejor alternativa posible.
- 2) Realizar modelos preliminares del sistema y así seleccionar la mejor alternativa para el desarrollo del proyecto.
- 3) Modelar y dimensionar la alternativa seleccionada con la ayuda de un software CAD.
- 4) Fabricar el dispositivo de acuerdo a los resultados obtenidos con el software CAD.
- 5) Diseñar guías de laboratorio normalizadas, que permitan la realización de prácticas.
- 6) Realizar pruebas experimentales y teóricas, y comparar resultados obtenidos.

3 MARCO TEÓRICO

3.1. ANTECEDENTES

En esta parte se van a presentar algunos trabajos realizados por otros autores, con el fin de encontrar cuales soluciones se han propuesto en la temática desarrollada en este trabajo.

El primer trabajo encontrado se titula “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DIDÁCTICO PARA LA EVALUACIÓN DEL EMPUJE HIDROSTÁTICO EN SUPERFICIES CURVAS SUMERGIDAS”², en este proyecto se crea un equipo que permita evaluar el empuje hidrostático en compuertas de geometría definida para distintas cargas de agua y presión, en este proyecto también se busca comparar los cálculos experimentales y teóricos con el fin de comprobar que la maquina funciona de manera adecuada y confiable.

En el siguiente trabajo titulado “ DISEÑO Y MONTAJE DE LABORATORIO DE PRESION HIDROSTATICA SOBRE SUPERFICIES PLANAS Y CURVAS SUMERGIDAS Y FUERZAS DE BOYAMIENTO SOBRE UN CUERPO PARCIALMENTE SUMERGIDO”, se “realiza el montaje de un laboratorio de presión hidrostática para superficies planas y sumergidas de Boyamiento en un cuerpo parcialmente sumergido”³, mediante este proyecto se pudo verificar los principios de boyamiento y aplicarlos a cuerpos parcialmente sumergidos, además mediante diferentes pruebas realizadas al equipo se comprobó que los valores de las fuerzas hidrostáticas están dentro del rango de error respecto a los cálculos teóricos.

² PADILLA, Diego. Diseño y construcción de un equipo didáctico para la evaluación del empuje hidrostático en superficies curvas sumergidas .Tesis (Previo a la titulación de ingeniero Civil), Universidad Central Del Ecuador. Ecuador, 2014, 23p.

³ MONCAD, Adrián y ZAMORA, Roger. Diseño y montaje de laboratorio de presión hidrostática sobre superficies planas y curvas sumergidas y fuerzas de boyamiento sobre un cuerpo parcialmente sumergido. Tesis (Previo para optar por el título de Ingeniero civil), Corporación Universitaria Minuto de Dios, Girardot, 2009, p.11.

En otra investigación llamada “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO AUTONOMO PARA LA REALIZACIÓN DE PRÁCTICAS ESTUDIANTILES SOBRE EMPUJE DE LÍQUIDOS EN SUPERFICIES PLANAS”⁴, se diseñó y fabricó un equipo autónomo en la Universidad Central de Ecuador, que permita calcular las fuerzas ejercidas por un fluido en superficies planas, con este trabajo se espera que los estudiantes puedan desarrollar las prácticas de manera precisa y relacionar los conocimientos teóricos adquiridos con prácticas experimentales, el autor de este proyecto diseñó las guías y procedimientos que se deben seguir para lograr que la práctica se desarrolle de manera adecuada.

En la siguiente investigación titulada “DISEÑO DE MATERIAL DIDÁCTICO PARA LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO EN MECÁNICA DE FLUIDOS E HIDRÁULICA DE LA UNIVERSIDAD EIA”⁵, se creó material didáctico para el área de fluidos y recursos en la Universidad EIA, con el fin de consolidar los conocimientos que adquieren los estudiantes, para ello se realizó una encuesta a los profesores y estudiantes con la intención de conocer cuáles son las temáticas más importantes a tratar en el laboratorio de fluidos, a través de este proyecto se tomaron ideas para desarrollar las guías de laboratorio necesarias en la investigación que se está desarrollando en el proyecto actual.

En el artículo titulado “Design and Construction of a Low-Cost ‘Hydrostatic Force on a Submerged Surface’ Experiment Setup”⁶, se realizó el diseño y construcción de un equipo de laboratorio para determinar las fuerzas sobre superficies sumergidas, algo importante en este proyecto es que el equipo tiene que ser de bajo costo para que pueda ser usado por universidades de bajo presupuesto, para que esto fuera posible se buscaron distintas alternativas de construcción, materiales, etc.

⁴ MUÑOZ, Danny. Diseño y construcción de un equipo autónomo para la realización de prácticas estudiantiles sobre empuje de líquidos en superficies planas. Tesis (Trabajo de graduación previo a la obtención del título de ingeniero civil), Universidad Central Del Ecuador, Ecuador, p.20.

⁵ AGUDELO, María. Diseño de material didáctico para las prácticas de laboratorio en mecánica de fluidos e hidráulica de la Universidad EIA. Tesis (Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Civil), Universidad EIA, Envigado, p.17.

⁶

En este trabajo se determinó que la mejor opción para la creación del equipo es mediante el uso de la impresión 3D, con ello se creó un equipo de bajo costo para universidades que no pueden comprar equipos de alto valor, este proyecto es muy innovador ya que utiliza materiales y tecnologías actuales que permiten construir el equipo a bajo costo.

En el artículo titulado “Design of measurement system hydrostatic force”, se evalúa la eficiencia de un equipo que calcula fuerza sobre superficies sumergidas, para ello se realizaron pruebas de carga, longitudes, altura del fluido, ángulos, etc. El error mínimo del equipo se determinó a un valor inferior al 5%, una vez se realizaron todas las pruebas se encontró que al realizar algunas variaciones en el nivel del brazo, ángulos, flujo constante, el error aumentaba o disminuía en base a la modificación de esos factores, por lo cual antes de realizar el diseño del equipo es importante establecer cuáles deben ser las medidas óptimas para obtener el menor error posible en las mediciones, si el equipo presenta un alto error en la toma de mediciones requiere ajustes para que la medida sea precisa.

3.2. CONCEPTOS PREVIOS

Para el desarrollo de una máquina que calcula la fuerza en una superficie sumergida se deben determinar variables tales como fuerza, presión, etc.

A continuación, se van a describir algunos de estos conceptos:

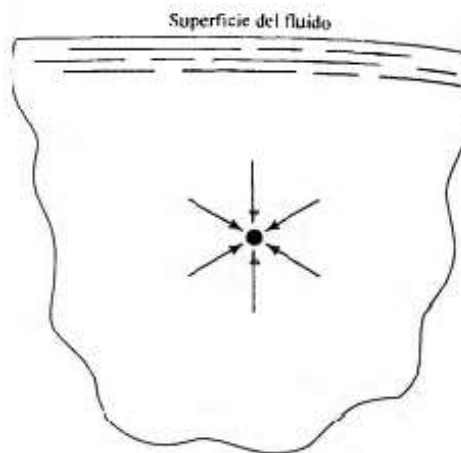
3.2.1. Presión

“La presión es la cantidad de fuerza que es ejercida sobre una unidad de área, o una superficie”⁷:

$$p = \frac{F}{A} \quad (1)$$

En la figura 1 se puede observar que la presión en el fluido actúa en todas las direcciones y de manera constante:

Figura 1. Superficie del fluido

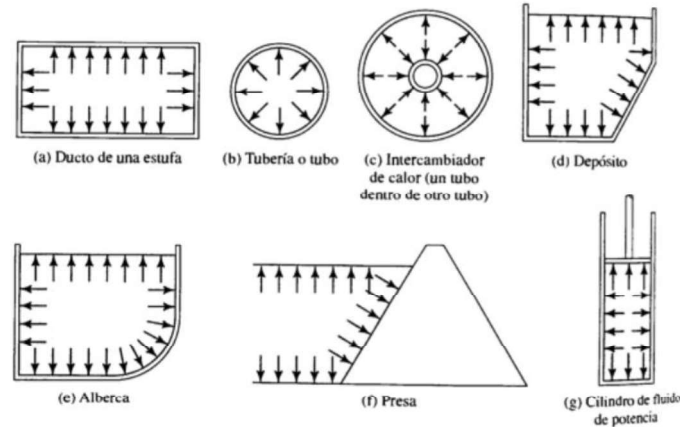


Fuente: Mecánica de fluidos de Robert L. Mott

⁷ MOTT, Robert. Mecánica de fluidos. 6 edición. México: Pearson, 2006.

En la figura 2 se puede observar que la presión del fluido actúa en las fronteras del fluido:

Figura 2. Presión en las fronteras del fluido



Fuente: Mecánica de fluidos de Robert L. Mott

3.2.2. Temperatura:

Según White⁸, la temperatura del fluido se relaciona con la energía interna del fluido, esta se puede expresar en escalas de Celsius y Fahrenheit, al expresar esto en unidades absolutas Kelvin o Rankine:

$$^{\circ}R = ^{\circ}F + 459,69$$

$$K = ^{\circ}C + 273,16$$

3.2.3. Densidad:

“La densidad se podría definir como la cantidad de masa por unidad de volumen de una sustancia se denota por la letra ρ (rho)”⁹, y se establece a través de la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{m}{v} \left(\frac{Kg}{m^3} \right) \quad (2)$$

⁸ WHITE, Frank, 2008, p.50. Mecánica de fluidos. 6 edición. España, MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA DE ESPAÑA, 2008.

⁹ Ibid., p.85.

3.2.4. Peso específico

“El peso específico es la cantidad de peso por unidad de volumen de una sustancia, se denota con la letra γ ”¹⁰. Se expresa mediante la siguiente ecuación:

$w = \text{Peso}$

$V = \text{Volumen del fluido}$

$$\gamma = \frac{w}{V} \left(\frac{N}{m^3} \right) \quad (3)$$

La ecuación 3 se puede expresar de la siguiente manera al tener en cuenta que la densidad se puede expresar como:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2)$$

$$\gamma = \frac{m * g}{v} \quad (4)$$

$$\gamma = \rho * g \quad (5)$$

3.2.5. Densidad relativa

La densidad relativa se conoce con la letra s , no tiene unidades, se relaciona con la densidad de la sustancia y la de algún fluido de referencia, generalmente es el agua a $4^\circ C$ en el caso de fluidos, esta se expresa a través de la ecuación 6:

$$sg = \frac{\rho_{\text{Sustancia}}}{\rho_{\text{agua}}} \quad (6)$$

3.2.6. Estática de fluidos

Según Cengel¹¹, la estática de fluidos nos permite determinar las fuerzas que actúan en los cuerpos flotantes, algunos ejemplos en la ingeniería que requieren determinar las fuerzas que se aplican en las superficies son: presas de agua, tanques de

¹⁰ CENGEL, Yunus y CIMBALA John. Mecánica de fluidos fundamentos y aplicaciones. 4 edición. México: McGraw-Hill Interamericana, 2018.

¹¹ Ibid., p.30.

almacenamiento de líquidos, entre otros. Para determinar la fuerza hidrostática sobre una superficie sumergida se debe tener en cuenta la dirección, magnitud y la línea de aplicación de la fuerza.

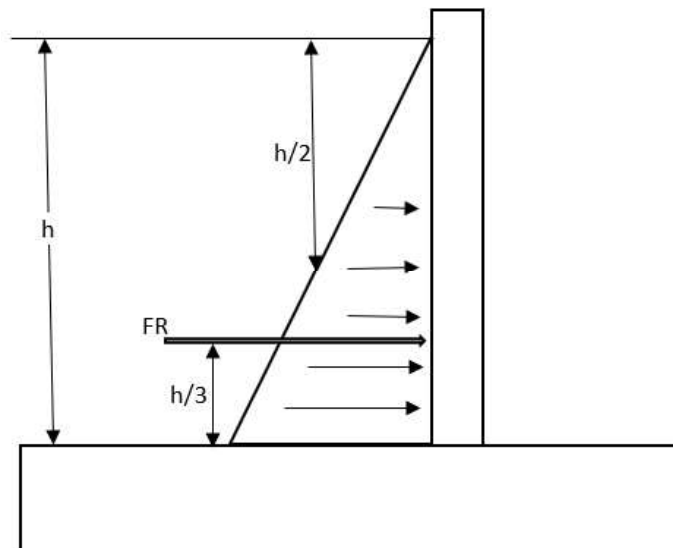
3.2.7. Fuerzas hidrostáticas sobre superficies planas sumergidas

Una placa que está en contacto con un fluido, como el casco de un barco, compuerta en una presa, está se encuentra sometida a la presión que ejerce el fluido y se distribuye sobre toda la superficie. En una superficie plana, las fuerzas hidrostáticas crean un conjunto de fuerzas paralelas entre sí, en estas fuerzas se determina su magnitud y punto de aplicación, o su centro de presión.

3.2.8. Pared vertical rectangular

En la figura 3 se muestra la distribución de presiones en una pared vertical sumergida, de la misma manera que se tiene en el equipo a desarrollar, en este caso la presión varía de manera lineal a medida que aumenta la profundidad, las líneas punteadas indican la variación de la magnitud de la presión en distintos puntos.

Figura 3. Distribución de presiones en una pared vertical sumergida



Fuente: Mecánica de fluidos de Robert L. Mott

Como la presión cambia de manera lineal la fuerza resultante se calcula a través de la siguiente ecuación:

P_{prom} = Presión promedio

A = Área total del muro

$$F_r = P_{prom} * A \quad (7)$$

La presión promedio actúa en la mitad del muro, y se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$P_{prom} = \gamma * \left(\frac{h}{2}\right) * A \quad (8)$$

Por esto, la fuerza resultante se expresa de la siguiente manera:

$$F_r = \gamma \left(\frac{h}{2}\right) * A \quad (9)$$

3.2.9. Centro de presión

Según Mott¹², el centro de presión es un punto sobre el área donde se estima que se aplica la fuerza resultante, esta fuerza es equivalente a la fuerza distribuida que actúa sobre el área total del fluido debido a la presión ejercida.

El efecto de una fuerza con respecto de un eje, o el momento de una pequeña fuerza respecto a un eje se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$dM = dF * y \quad (10)$$

Como: $dF = \gamma(y \sin \theta)(dA)$, entonces:

$$dM = y(\gamma(y \sin \theta)(dA)) = \gamma(y \sin \theta)(y^2 * dA) \quad (11)$$

Para encontrar el momento de todas las fuerzas sobre el área total, se integra toda el área. Si se hace la suposición de que la fuerza resultante actúa en el centro de presión, el momento respecto al eje es $F_r L_p$, por esto:

¹² MOTT, Op. cit., p. 112.

$$F_r L_{cp} = \int \gamma(y \sin \theta)(y^2 * dA) = \gamma(y \sin \theta) \int (y^2 * dA) \quad (12)$$

Se sabe que el momento de inercia de toda el área respecto al eje y es: $\int (y^2 * dA)$

Por lo cual la ecuación se expresa de la siguiente manera:

$$F_r L_{cp} = \gamma(y \sin \theta)(I) \quad (13)$$

De la ecuación anterior al despejar L_p se obtiene lo siguiente:

$$L_{cp} = \frac{\gamma(y \sin \theta)(I)}{F_r} \quad (14)$$

Se sabe que $F_r = \gamma \sin \theta (L_c * A)$, al reemplazar esta expresión en la ecuación anterior se obtiene lo siguiente:

$$L_{cp} = \frac{\gamma(y \sin \theta)(I)}{\gamma \sin \theta (L_c * A)} = \frac{I}{(L_c * A)} \quad (15)$$

Al aplicar el teorema de transferencia del momento de inercia la ecuación anterior se puede expresar de la siguiente manera:

I_c = Momento de inercia del área con respecto de eje centroidal

L_c = Distancia del eje de referencia al centroide

$$I = I_c + AL_c^2 \quad (16)$$

Por lo cual al reemplazar la ecuación anterior en la ec.10 se obtiene:

$$L_{cp} = \frac{I}{(L_c * A)} = \frac{I_c + AL_c^2}{(L_c * A)} = \frac{I_c}{L_c * A} + L_c \quad (17)$$

Se puede crear una expresión para la profundidad vertical al centro de presión h_{cp} , si se parte de las siguiente relaciones:

$$h_{cp} = L_p \sin \theta \quad (18)$$

$$L_c = \frac{h_c}{\sin \theta} \quad (19)$$

Por lo cual el termino h_p queda expresado de la siguiente manera:

$$h_{cp} = L_{cp} \sen \theta = \sen \theta \left(\frac{h_c}{\sen \theta} + \frac{I_c}{\left(\frac{h_c}{\sen \theta} \right) * A} \right) \quad (20)$$

$$h_{cp} = h_c + \frac{I_c * \sen^2 \theta}{h_c * A} \quad (21)$$

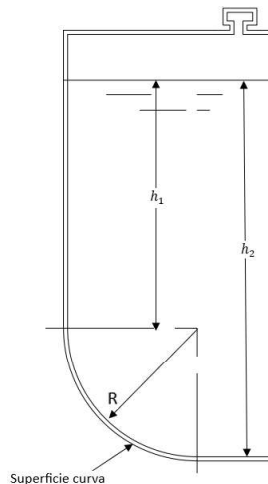
En nuestro caso $\theta = 90$

$$h_{cp} = h_c + \frac{I_c}{h_c * A} \quad (21)$$

3.1. DISTRIBUCIÓN DE FUERZAS SOBRE SUPERFICIES CURVAS SUMERGIDAS

Para el autor Mott¹³, la fuerza ejercida por un fluido también se aplica a superficies curvas. En la figura 4, se muestra un tanque que contiene líquido y está abierto a la atmósfera. En una parte del tanque, se presenta un segmento de cilindro, donde actúan tanto una fuerza horizontal, F_h , como una fuerza vertical, F_v . Estas fuerzas son generadas por la fuerza resultante que actúa a través del centro de la superficie curva.

Figura 4. Tanque con fluido



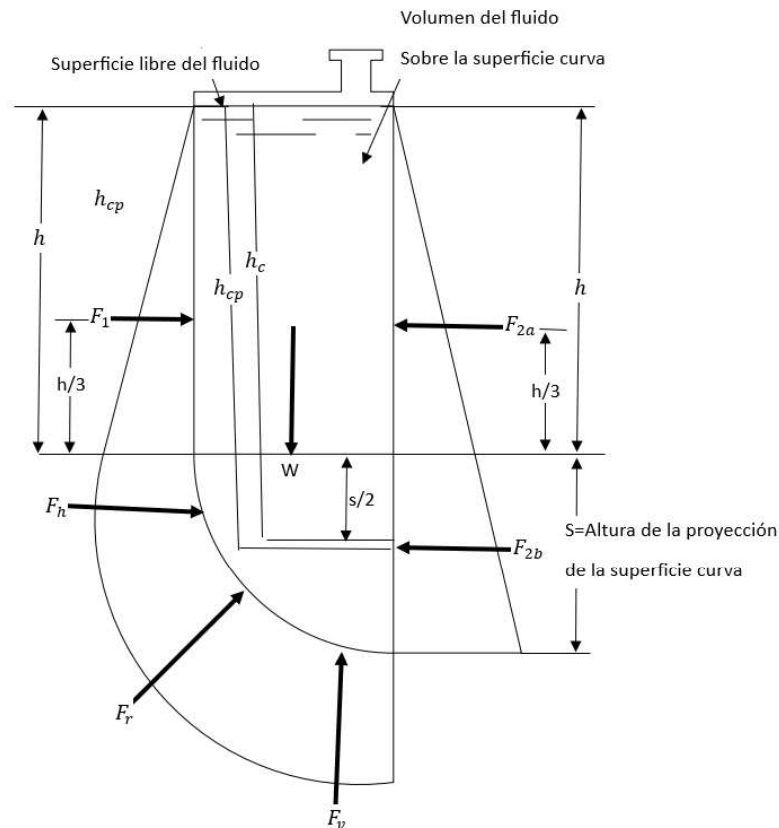
Fuente: Mecanica de fluidos de Robert Mott

¹³ Ibid., p.120.

3.3.1. Componente horizontal

En este caso una pared solida ejerce fuerzas horizontales sobre el fluido que esta en contacto con esta, de la misma manera que las paredes verticales. Actua una fuerza resultante F_1 que se ubica a una distancia de $\frac{h}{3}$ desde el fondo de la pared. Tambien aparece otra fuerza denominada F_{2a} que tiene la misma magnitud que la de F_1 , por lo cual no tienen nign efecto sobre la superficie curva. En la figura 5 se observa el diagrama de cuerpo libre de un volumen por encima de la superficie curva.

Figura 5 Diagrama de cuerpo libre de un volumen por encima de la superficie curva



Fuente: Mecanica de fluidos de Robert Mott

Al tener en cuenta que

$$F_{2b} = \gamma * h_c * A \quad (22)$$

La expresion anterior se puede expresar de la siguiente manera:

F_{2b} = Centro de presion del area proyectada

$$F_{2b} = FH = \gamma sw \left(\frac{h + s}{2} \right) \quad (23)$$

En el area rectangular proyecta se tiene que:

w = ancho de la superficie curva

s = area del rectangulo

$$I_c = \frac{ws^3}{12} \quad (24)$$

$$A = sw \quad (25)$$

Reemplazando estos terminos queda la siguiente ecuacion:

$$h_{cp} - h_c = \frac{ws^3}{12(hc)(sw)} = \frac{s^2}{12hc} \quad (26)$$

3.3.2. Componente vertical

La componente vertical de la fuerza se puede hallar sumando las fuerzas que actuan de manera vertical.

La fuerza vertical se puede expresar a traves de la siguiente ecuacion:

V = producto del area de la seccion transversal

$$F_v = \gamma * V = \gamma Aw \quad (27)$$

Fuerza resultate

La fuerza resultante total es:

$$F_r = \sqrt{FH^2 + FV^2} \quad (28)$$

Como la fuerza resultante actua a un angulo θ en relacion con la componente horizontal:

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{FV}{FH} \right) \quad (29)$$

4 PROPUESTA Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS Y MODELO EN SOFTWARE CAD

En esta parte se va a mostrar los diseños preliminares que se realizaron antes de elegir la mejor opción para el equipo, lo primero que se tuvo en cuenta fue los requerimientos de fabricación tales como: presupuesto, materiales. Luego se creó una matriz de diseño la cual, permite seleccionar la mejor opción en base a unos criterios establecidos, una vez seleccionada la alternativa más adecuada, se realiza el modelado en el software CAD.

Para el desarrollo de este proyecto, se cuenta con un presupuesto máximo, el cual se debe tener en cuenta para selección de alternativa definitiva.

Presupuesto Máximo para el proyecto: 2.000.000 COP

4.1. MATRIZ DE DISEÑO

Se procede a realizar una matriz de decisión para seleccionar las alternativas definitivas de cada parte del equipo con la que se continuará con el diseño preliminar. A continuación, se muestran los parámetros a evaluar en la matriz de decisión, este paso fue desarrollado conjuntamente por todos los integrantes del grupo.

P1. Facilidad de Mantenimiento.

P2. Costo de fabricación.

P3. Geometría de sección regular conocida.

P4. Sencillez de operación

P5. Facilidad de fabricación y montaje.

En la matriz de decisión Tabla 1 se incluye la ponderación de cada parámetro de acuerdo con la importancia que se le atribuye a cada ítem. Cada parámetro se evalúa en una puntuación de cero (0) a cinco (5), siendo cero un parámetro muy desfavorable para la alternativa en cuestión, y cinco un parámetro muy favorable para la alternativa.

Tabla 1 Matriz de decisión

ALTERNATIVA	P1	P2	P3	P4	P5	TOTAL
N. alternativa						

Fuente: Elaboración propia

4.2. ALTERNATIVAS DE GEOMETRIA PARA EL CUADRANTE CIRCULAR A 90 GRADOS

A continuación, se describen las alternativas propuestas para la sección donde se aplica la fuerza ejercida por el fluido:

4.3.1. Primera alternativa

En la primera alternativa se propone una geometría irregular donde se aplicaría la fuerza ejercida por el fluido, esta alternativa podría presentar dificultades en la fabricación, como se observa en la figura 6.

Figura 6 Primera propuesta de geometría para el cuadrante circular

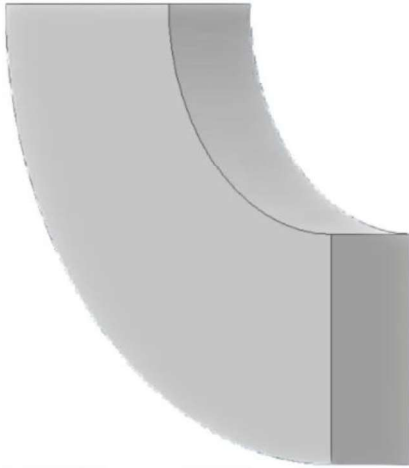


Fuente: Elaboración propia

4.3.2. Segunda alternativa

En la segunda alternativa se propone una geometría rectangular donde se aplicaría la fuerza ejercida por el fluido, esta forma tiene la ventaja que es simétrica, como se observa en la figura 7.

Figura 7 Segunda propuesta de geometría para el cuadrante circular

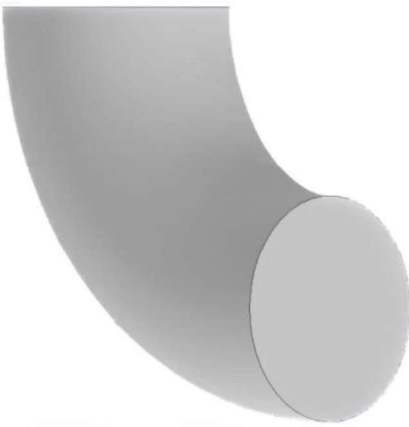


Fuente: Elaboración propia

4.3.3. Tercera alternativa

En la tercera alternativa se propone una geometría circular donde se aplicaría la fuerza ejercida por el fluido, esta alternativa podría presentar dificultades en la fabricación, como se observa en la figura 8.

Figura 8 Tercera propuesta de geometría para el cuadrante circular

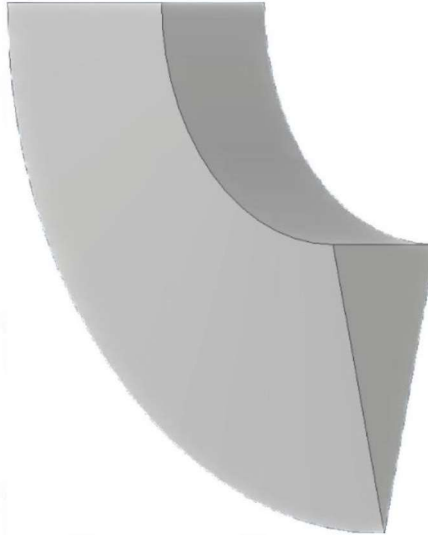


Fuente: Elaboración propia

4.3.4. Cuarta alternativa

En la cuarta alternativa se propone una geometría triangular donde se aplicaría la fuerza ejercida por el fluido, como se observa en la figura 9.

Figura 9 Cuarta propuesta de geometría para el cuadrante circular



Fuente: Elaboración propia

Tabla 2 Matriz de decisión

ALTERNATIVA	P1	P2	P3	P4	P5	TOTAL
1	4	4	3.5	3.5	3	3.6
2	4.5	5	5	4.5	5	4.8
3	4.5	4	3	3.5	4	3.8
4	4.5	5	2	3.5	4	3.8

Elaboración propia

4.3.5. Alternativa seleccionada

La segunda alternativa fue seleccionada en base a la matriz de decisión debido a su facilidad de fabricación y su geometría sencilla, lo cual simplifica los cálculos.

Además, la simplicidad de la geometría facilitara los procedimientos requeridos para realizar las diferentes prácticas teorías y experimentales. Esto implica una menor complejidad en los análisis.

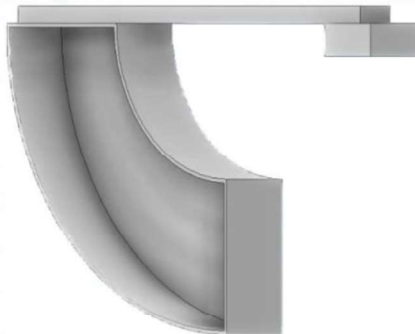
4.4. POSIBLES ALTERNATIVAS DE LA UBICACIÓN DE LOS CONTRAPESOS

A continuación se van a presentar las diferentes propuestas que se realizaron mediante una lluvia de ideas, para seleccionar la mejora ubicación de los contrapesos, para ello se seleccionaron 4 ideas potenciales y se describen a continuación:

4.4.1. Primera alternativa

La primera alternativa se muestra en la figura 10. Esta alternativa propone que el fluido se contenga dentro de la sección del cuadrante circular a 90 grados, esta idea se propuso con la finalidad de analizar las fuerzas en superficies sumergidas desde otra perspectiva.

Figura 10 Alternativa 1 ubicación de los contrapesos

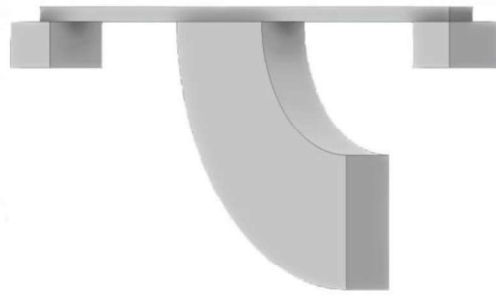


Fuente: Elaboración Propia

4.4.2. Segunda alternativa

Se propone como segunda alternativa la implementación de un contrapeso que permita nivelar el cuadrante circular a 90 grados para la obtención de datos. Como se observa en la figura 11.

Figura 11 Alternativa 2 ubicación de los contrapesos

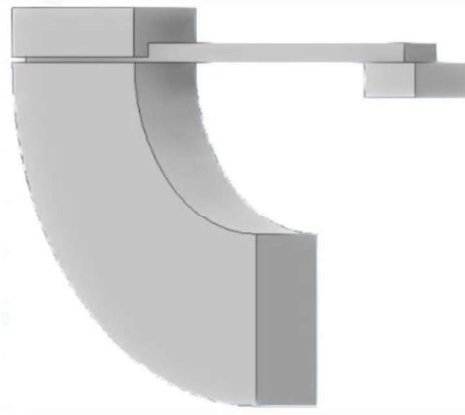


Fuente: Elaboración Propia

4.4.3. Tercera alternativa

La tercera alternativa se propone colocar un contrapeso sobre el cuadrante circular a 90 grados, este contrapeso hace que el brazo no sea tan largo, en la figura 12 se puede observar la alternativa 3:

Figura 12 Alternativa 3 ubicación de los contrapesos

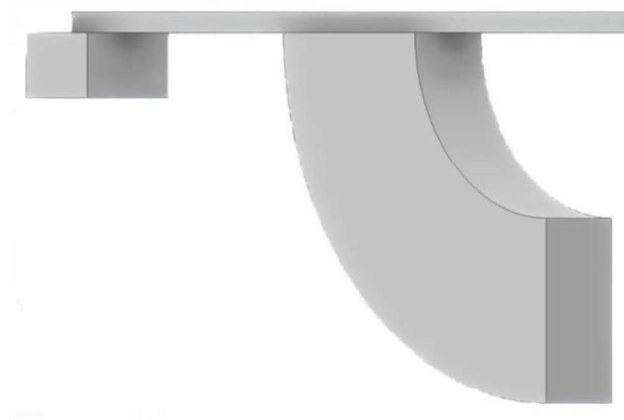


Fuente: Elaboración propia

4.4.4. Cuarta alternativa

La alternativa 4, propone que la fuerza del fluido este aplicada en una pared inclinada en vez de una plana, en la figura 13 se muestra la alternativa 4.

Figura 13 Alternativa 4 ubicación de los contrapesos



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3 Matriz de decisión

ALTERNATIVA	P1	P2	P3	P4	P5	TOTAL
1	4	4	3.5	3.5	3	3.6
2	5	3	3.5	3.5	3	3.6
3	4.5	5	5	4.5	5	4.8
4	4.5	5	2	3.5	4	3.8

Fuente: Elaboración propia

4.4.5. Alternativa de posición de las masas seleccionada

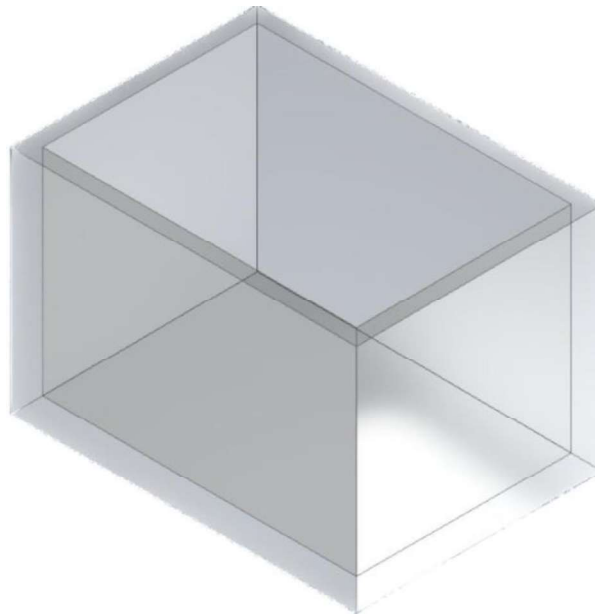
La alternativa seleccionada para la ubicación de las masa y el contrapeso es la 3, debido a su eficiencia en la colocación de un contrapeso estratégico sobre el cuadrante circular a 90 grados. Esta característica clave reduce la longitud del brazo del contenedor, lo que resulta en un menor esfuerzo requerido para su movimiento y control. Además, el contrapeso proporciona equilibrio y estabilidad al brazo, evitando posibles desequilibrios o movimientos indeseados. La combinación de estas ventajas resulta en un diseño más práctico y funcional, mejorando significativamente el rendimiento general del contenedor.

4.5. ALTERNATIVAS PROPUESTAS PARA EL CONTENEDOR

4.5.1. Primera alternativa

Esta primera alternativa contempla un contenedor completamente cuadrado donde se aloja el fluido, en la figura 14 se presenta esta alternativa.

Figura 14 Primera alternativa para el contenedor



Fuente: Elaboración propia

4.5.2. Segunda alternativa

La segunda alternativa para el contenedor se caracteriza por tener una forma rectangular, con paredes laterales que presentan huecos estratégicamente ubicados. Estos huecos desempeñan un papel fundamental, ya que actúan como soporte para los rodamientos del pivote, en la figura 15 se observa esta alternativa.

Figura 15 Segunda alternativa para el contenedor



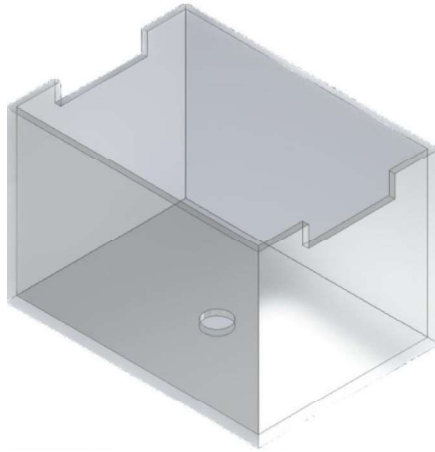
Fuente: Elaboración propia

4.5.3. Tercera alternativa

La tercera alternativa contempla una característica destacada ya que se han realizado recortes estratégicos en las paredes del contenedor para acomodar los contrapesos del brazo de manera segura y eficiente. Estos contrapesos sobresalen ligeramente, encajando perfectamente en los recortes diseñados específicamente para ellos.

Además, se ha incorporado un agujero estratégicamente ubicado en la parte inferior del contenedor. Este agujero tiene un propósito importante: permite el drenaje fluido, evitando la acumulación de líquidos en el interior y garantizando un funcionamiento óptimo. En la figura 16 se observa esta alternativa.

Figura 16 Tercera alternativa para el contenedor



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4 Matriz de decisión

ALTERNATIVA	P1	P2	P3	P4	P5	TOTAL
1	4	4	3.5	3.5	3	3.6
2	4.5	5	5	4.5	5	4.8
3	4.5	5	2	3.5	4	3.8

Fuente: Elaboración propia

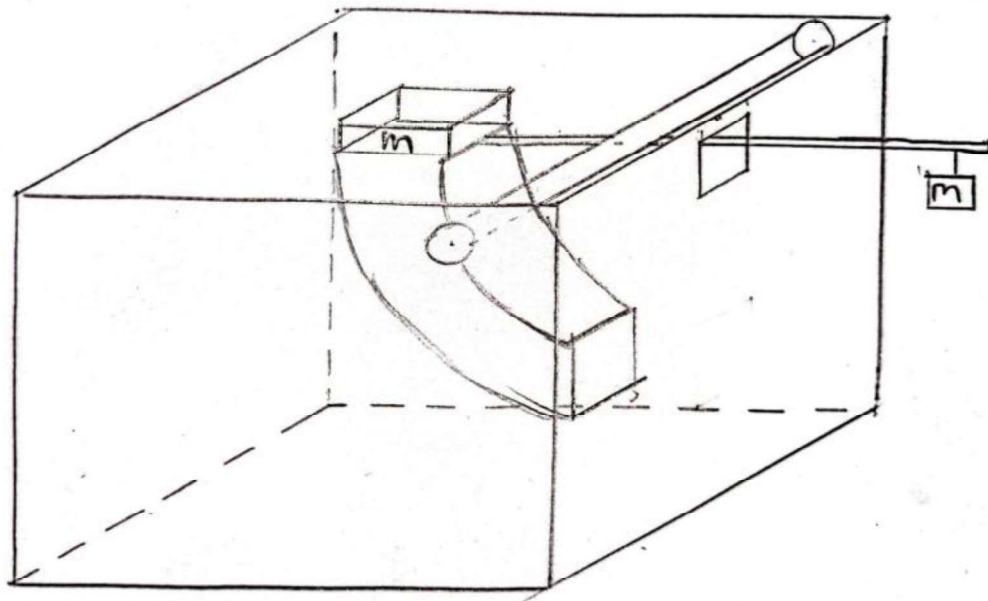
4.5.4. Alternativa de contenedor seleccionada

La segunda alternativa para el contenedor destaca como la mejor opción debido a su forma rectangular y la presencia estratégica de huecos en las paredes laterales. Estos huecos permiten el soporte preciso de los rodamientos del pivote, lo cual garantiza un ensamblaje seguro y un movimiento suave del brazo del contenedor. La estructura sólida y eficiente de la forma rectangular, combinada con la funcionalidad proporcionada por los huecos, ofrece estabilidad, resistencia y un rendimiento óptimo en comparación con las otras opciones.

4.5.5. Selección de alternativas

Mediante las matrices propuestas para cada parte la selección de cada parte del equipo, se realizó un boceto del equipo con cada una de las parte que obtuvo la mejor calificación en la matriz de decisión. En la figura 17 se presenta la el boceto final del equipo junto con todas las partes seleccionadas.

Figura 17 Diseño final de la alternativa seleccionada



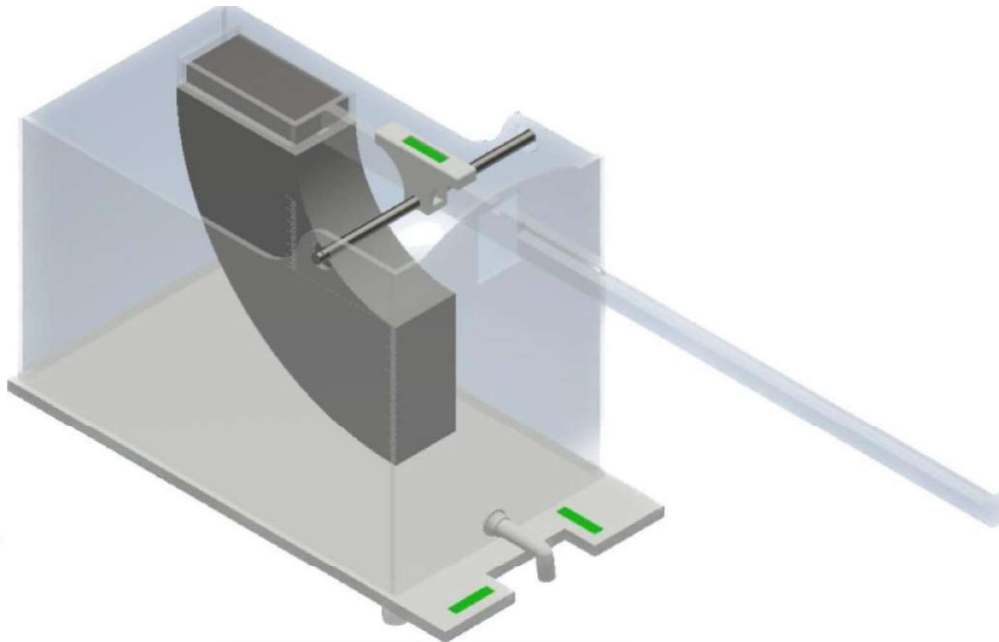
Fuente: Elaboración propia

5 MODELADO, DIMENSIONAMIENTO Y CONSTRUCCION

5.1. MODELADO

En la figura 18 se muestra el modelo final del equipo diseñado en el software CAD Autodesk Inventor. Es importante destacar que, en esta etapa, el modelo aún no cuenta con dimensiones definitivas, lo que significa que las medidas exactas y precisas aún no se han establecido.

Figura 18 Diseño preliminar del equipo en software CAD



Fuente: Elaboración propia

5.2. DIMENSIONES DEL EQUIPO

Las medidas del equipo se determinaron cuidadosamente para garantizar su eficiencia. Se consideraron factores como, la ergonomía para asegurar la comodidad y los requisitos de precisión. Estas medidas buscan lograr un equilibrio entre la funcionalidad, el confort y el cumplimiento de estándares propios del proyecto.

Contenedor del fluido: 491mm (Largo) x 440 mm (ancho) x 280 (Alto)

Cuadrante circular a 90 grados:

Radio exterior: 220 mm

Radio interior: 100 mm

Área rectangular: 60mm (Largo) x 12 mm (Alto)

Base: 440 mm (Largo) x 220 mm (Ancho) x 10mm (Altura)

Eje: Ø 9.45 mm

Largo: 216 mm

Pies de nivelación: Ø 200 mm

Altura: 27 mm

5.3.CONSTRUCCIÓN

A continuación, se presenta las cada una de las piezas del equipo con su respectiva función, primero se van a presentar las piezas estandarizadas que se usaron:

Pies de Nivelación: La funciona principal de estos apoyos es nivelar la base para obtener unos resultados más precisos, ya que nivelar el equipo es requerido para calcular de manera precisa el área de contacto del fluido con la cara rectangular del $\frac{1}{4}$ de circunferencia, este apoyo es estandarizado y este fabricado en aluminio, en la figura 19 se observa este apoyo.

Figura 19 Pie de nivelación



Fuente: <https://carloimportaciones.com/blogs/noticias/tipos-de-herrajes-para-puertas-de-vidrio>

El rodamiento seleccionado para el proyecto fue un 608z, debido a que los diámetros se ajustaban a las necesidades, en la figura 20 se observa el rodamiento.

Figura 20 Rodamiento 608z



Fuente: Elaboración propia

La otra pieza estandarizada que se usó en el proyecto fue una llave o registro que permite controlar el caudal de salida de agua. En la figura 21 se observa la llave de registro usada en el proyecto.

Figura 21 Llave de registro



Fuente: Elaboración propia

Otra pieza estandarizada que se uso fue una manguera de nylon transparente, esta se conecta del acople de salida a la llave. En la figura 22 se puede observar esta manguera.

Figura 22 Manguera de Nylon



Fuente: Elaboración propia

5.3.1. Fabricación

Luego de realizar el diseño final del equipo en el software CAD, se diseñaron los planos del equipo en escala 1:1 (Ver Anexo A). Luego estos se enviaron a un proceso de corte laser de control numérico las piezas en acrílico de 5 mm. En la figura 23 se presenta el proceso de corte laser de las piezas de acrílico.

Figura 23 Proceso de corte laser de las piezas en acrílico



Fuente: Servicio de corte laser GraficArte

Luego se ensambló el contenedor del fluido en acrílico, para ello se usó un pegamento especial llamado (AD-CRYL EXTRA), el cual sirve para unir las piezas en acrílico. En la figura 24 se puede observar el proceso de ensamble del contenedor de fluido.

Figura 24 Proceso de unión del contenedor de fluido



Fuente: Elaboración propia

Luego, se colocaron los pies de nivelación junto con los niveles de gota en la base del contenedor, en este caso se agregaron dos de estos, debido a que en el mercado no se consiguió el nivel de ojo del tamaño adecuado, por lo cual se optó por dos colocar de estos en la base, esto permite que se pueda nivel el eje X y Y de la base, en la figura 25 se puede observar este proceso.

Figura 25 Pies de nivelación y niveles de gota



Fuente: Elaboración propia

Para la fabricación del cuadrante circular a 90 grados, se realizaron los planos del modelo 3D en escala 1:1, luego se procedió al servicio de corte laser por control numérico y se continuo con el ensamble de las partes, para unir estas piezas se usó el pegante AD-CRYL EXTRA, en figura 26 se puede observar el proceso de unión de las piezas del $\frac{1}{4}$ de circunferencia.

Figura 26 Construcción del cuadrante circular a 90 grados



Fuente: Elaboración propia

Se fabricación algunas piezas mediante impresión 3D. Una de estas cumple con la función de acople para el desagüe del fluido dentro del contenedor, la otra tiene como función el acople del eje con el pivote y alojar un nivel de gota. En las figuras 27, 28 y 29 se puede observar el diseño final de estas piezas en impresión 3D.

Figura 27 Piezas en proceso de fabricación mediante impresión 3D



Fuente: Elaboración propia

Figura 28 Pieza de acople para el desagüe del fluido en impresión 3D



Fuente: Elaboración propia

Figura 29 Pieza de acople del eje con el pivote en impresión 3D



Fuente: Elaboración propia

La fabricación del pivote se realizó con láminas de acrílico debido a la dificultad de la geometría, este cuenta con un alojamiento donde se aloja el contrapeso. En la figura 30 se presenta la fabricación del pivote.

Figura 30 Fabricación de pivote



Fuente: Elaboración propia

Este es el resultado final de la pieza, en la figura 31 se observa el ensamble del pivote con la pieza de acople.

Figura 31 Ensamble de pivote y pieza de acople



Fuente: Elaboración propia

Para la fabricación del eje, se contó con una varilla de acero inoxidable de 9.55 mm, este se envió al servicio de torno para ajustar el rodamiento con el eje y se hizo una ranura para un pin tipo sejer, en la figura 32 se puede observar el diseño final del eje.

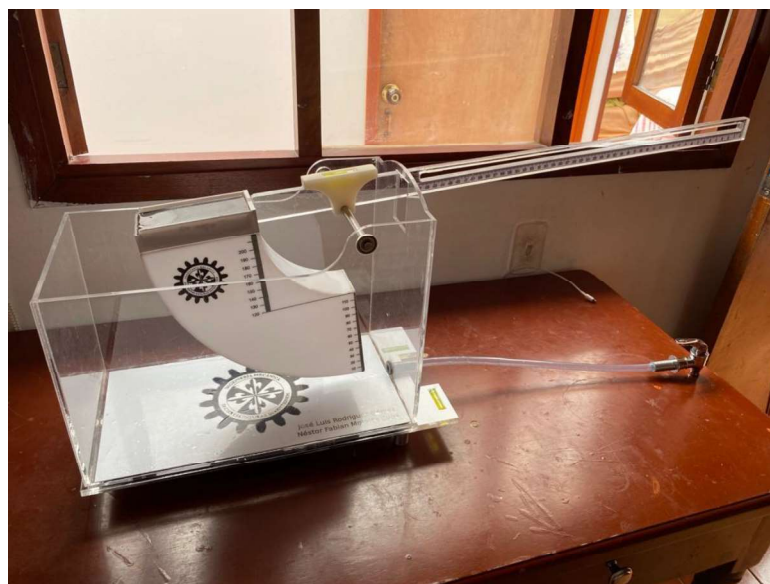
Figura 32 Fabricación de eje



Fuente: Elaboración propia

En la figura 33 se presenta el ensamble completo del equipo.

Figura 33 Vista general del equipo



Fuente: Elaboración propia

En la figura 34 se presenta la vista lateral del equipo de laboratorio.

Figura 34 Vista lateral del equipo



Fuente: Elaboración propia

En la figura 35 se presenta la vista frontal del equipo de laboratorio

Figura 35 Vista frontal del equipo



Fuente: Elaboración propia

6 DESARROLLO DE GUIAS DE LABORATORIO

La estructura básica de las guías de laboratorio para los laboratorios de superficies total y parcialmente sumergidas contienen las siguientes secciones, las cuales se van a explicar en este capítulo. En el anexo B, se presenta todas las guías de laboratorio planteadas para el proyecto.

6.1.1. Encabezado

El encabezado que se estableció para el laboratorio debe contener los siguiente ítems:

- Facultad
- Profesor
- Alumno
- Nombre de la practica
- Nro. De practica
- Versión
- Fecha
- Código
- Código estudiante

6.1.2. Introducción

La introducción es la parte inicial del laboratorio que tiene como objetivo presentar y contextualizar el tema que se va a tratar. En este caso, la introducción proporciona información sobre la importancia del estudio de los fluidos en reposo en la mecánica de fluidos. También se menciona la relevancia de analizar los fluidos en reposo para calcular las fuerzas que ejercen sobre las superficies en contacto y su punto de aplicación. Se presentan ejemplos de aplicaciones prácticas de este concepto, como las presas de agua y las válvulas de compuerta.

Se destaca la necesidad de realizar un análisis de fuerzas hidrostáticas para el diseño óptimo de diversas estructuras. Se enfatiza la importancia de conocer la ubicación y la intensidad de la fuerza de presión ejercida por el agua sobre las estructuras utilizadas para controlarla, como presas, diques y compuertas. Estos datos son fundamentales para el diseño estructural adecuado de estas construcciones. Por último, se menciona que comprender la fuerza hidrostática y la línea de acción de esta fuerza es crucial en el proceso de diseño de componentes del equipo hidráulico.

6.1.3. Objetivos

Los objetivos que se presentan en los laboratorios se refieren a metas específicas que se pretenden alcanzar en relación con la fuerza y la presión hidrostática en superficies planas total o parcialmente sumergidas.

6.1.4. Lista de materiales y equipos

En esta parte se establece la lista de materiales y equipos.

6.1.5. Marco teórico

El marco teórico proporciona los fundamentos teóricos necesarios para comprender y analizar las fuerzas hidrostáticas y la determinación del centro de presión en superficies sumergidas en un fluido.

6.1.6. Nomenclatura

La nomenclatura establecida en el laboratorio es útil para comprender la simbología que se empleará.

6.1.7. Procedimiento experimental

El procedimiento experimental que se desarrolló para el laboratorio describe cómo se llevará a cabo el experimento, qué variables se medirán o manipularán, qué instrumentos o materiales se utilizarán y cómo se registrarán y analizarán los datos obtenidos.

6.1.8. Tabla de cálculos

La tabla de cálculos debe completarse una vez se hayan recopilado los datos y cálculos correspondientes. Posteriormente es necesario verificar que el error este dentro de los márgenes establecidos para el laboratorio.

6.1.9. Conclusiones

Las conclusiones en el laboratorio son el resultado final y las inferencias que se obtienen después de realizar el experimento. Aquí se plasman los hallazgos y resultados importantes que se derivan de los datos recopilados.

7 ANALISIS Y PRUEBAS

7.1. PRUEBAS FISICAS AL EQUIPO

Con el objetivo de garantizar el correcto funcionamiento del equipo, se realizan pruebas preliminares para verificar las condiciones de operación. En primer lugar, se procede a nivelar el equipo de manera precisa. A continuación, se vierte agua en el contenedor con el propósito de identificar cualquier posible fuga, tanto en el contenedor como en el sistema de salida. También se verifica que el pivote pueda girar sin dificultad alrededor de su eje. Se coloca una pesa calibrada para compensar las cargas y se verifica que el soporte de las pesas no presente una deflexión excesiva. En la figura 36 se presenta las pruebas físicas realizadas al equipo.

Figura 36 Pruebas físicas realizadas al equipo



Fuente: Elaboración propia

7.2. PRUEBAS EXPERIMENTALES SUPERFICIES PARCIALMENTE SUMERGIDAS

Una vez completadas las pruebas físicas y verificado el correcto funcionamiento del equipo, se procede a la fase experimental, durante la cual se recopilan los datos necesarios. Estos datos serán utilizados como referencia para realizar una comparación con los resultados teóricos obtenidos.

Los datos de entrada que se usan usaron para el laboratorio son, la masa, gravedad, ancho del área plana de la figura, peso específico y la longitud L_0 que corresponde a la distancia de la masa calibrada cuando el contenedor no tiene agua. En la tabla 5 se muestra los valores de entrada mencionados anteriormente.

Tabla 5 Datos de entrada

<i>Masa (kg)</i>	<i>$\gamma (\frac{N}{m^3})$</i>	<i>w (m)</i>	<i>h₁ (m)</i>	<i>h₂ (m)</i>
0.2	9810	0.06	0.1	0.12

Fuente: Elaboración propia

En tabla 6 se muestra los resultados obtenidos luego de tomar datos del equipo a diferentes alturas. En este caso para realizar las pruebas experimentales y verificar que el equipo funciones de la manera adecuada, se usaron las siguientes distancias.

Tabla 6 Toma de datos

<i>h_s (m)</i>	<i>L (m)</i>	<i>L₀ (m)</i>
0.017	0.03	0.02
0.02	0.033	0.02
0.03	0.05	0.02
0.04	0.071	0.02
0.05	0.09	0.02
0.06	0.13	0.02
0.07	0.167	0.02
0.08	0.207	0.02
0.09	0.250	0.02
0.1	0.301	0.02
0.11	0.353	0.02
0.12	0.412	0.02

Fuente: Elaboración propia

Luego de llenar las tablas anteriores y realizar los cálculos respectivos para obtener los datos de la fuerza resultante teórica y experimental se obtuvieron los datos que se registran en la tabla 7.

Tabla 7 Resultados

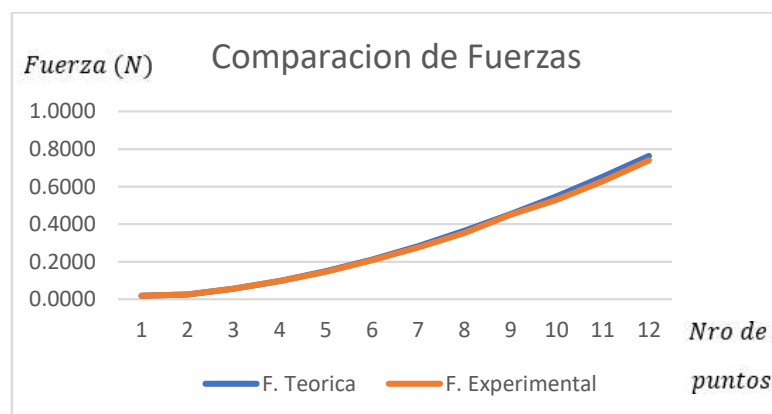
h_c (m)	Area (m ²)	I_c (kg * m ²)	h_{cp} (m)	F_c (N)	L_e (m)	M_e N-m	h_3 (m)	b (m)	F_{RT} (N)	F_{RE} (N)	% Error
0.017	0.008	2.45E-08	0.011	1.88	0.01	0.018	0.103	0.2	0.085	1.661	-3.3
0.02	0.01	0.0000004	0.013	1.88	0.013	0.025	0.1	0.2	0.117	1.907	-1.3
0.03	0.015	0.0000135	0.020	1.88	0.03	0.056	0.09	0.2	0.264	2.825	-1.6
0.04	0.02	0.000032	0.026	1.88	0.051	0.097	0.08	0.2	0.470	3.637	0.3
0.05	0.025	0.00000625	0.033	1.88	0.077	0.146	0.07	0.2	0.735	4.379	2.4
0.06	0.03	0.0000108	0.040	1.88	0.11	0.207	0.06	0.2	1.059	5.179	2.2
0.07	0.035	0.00001715	0.046	1.88	0.147	0.276	0.05	0.2	1.442	5.933	2.4
0.08	0.04	0.00000256	0.053	1.88	0.187	0.353	0.04	0.2	1.883	6.621	3.0
0.09	0.045	0.00003645	0.060	1.88	0.239	0.450	0.03	0.2	2.383	7.502	0.6
0.1	0.05	0.000005	0.066	1.88	0.281	0.529	0.02	0.2	2.943	7.939	3.7
0.11	0.055	0.00006655	0.073	1.88	0.333	0.628	0.01	0.2	3.561	8.565	3.8
0.12	0.06	0.00000864	0.080	1.88	0.393	0.740	0	0.2	4.237	9.252	3.0

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se puede observar que el error obtenido de las fuerzas resultantes experimentales con respecto a las teóricas es muy pequeño y su valor máximo es de 3,8%. Estos resultados demuestran que la máquina proporciona mediciones precisas.

En la figura 37 se muestra la comparación de fuerzas experimentales (línea naranja) y fuerza teórica (línea azul). Estos datos se encuentran dentro del margen de error aceptable de 10%.

Figura 37 Comparación de fuerzas



Fuente: Elaboración propia

7.3. PRUEBAS EXPERIMENTALES SUPERFICIES TOTALMENTE SUMERGIDAS

Los datos de entrada que se usan usaron para el laboratorio son, la masa, gravedad, ancho del área plana de la figura, peso específico y la longitud L_0 que corresponde a la distancia de la masa calibrada cuando el contenedor no tiene agua. En la tabla 8 se muestra los valores de entrada mencionados anteriormente.

Tabla 8 Datos de entrada

<i>Masa (kg)</i>	<i>$\gamma (\frac{N}{m^3})$</i>	<i>w (m)</i>	<i>h₁ (m)</i>	<i>h₂ (m)</i>
0.32	9810	0.06	0.1	0.12

Fuente: Elaboración propia

En tabla 9 se muestra los resultados obtenidos luego de tomar datos del equipo a diferentes alturas. En este caso para realizar las pruebas experimentales y verificar que el equipo funciones de la manera adecuada, se usaron las siguientes distancias.

Tabla 9 Toma de datos

<i>h_s (m)</i>	<i>L (m)</i>	<i>L₀ (m)</i>
0.12	0.2530	0.005
0.145	0.3400	0.005
0.15	0.3610	0.005
0.155	0.3800	0.005
0.16	0.4000	0.005
0.165	0.4200	0.005
0.17	0.4400	0.005
0.177	0.4610	0.005

Fuente: Elaboración propia

Luego de llenar las tablas anteriores y realizar los cálculos respectivos para obtener los datos de la fuerza resultante teórica y experimental se obtuvieron los datos que se registran en la tabla 10.

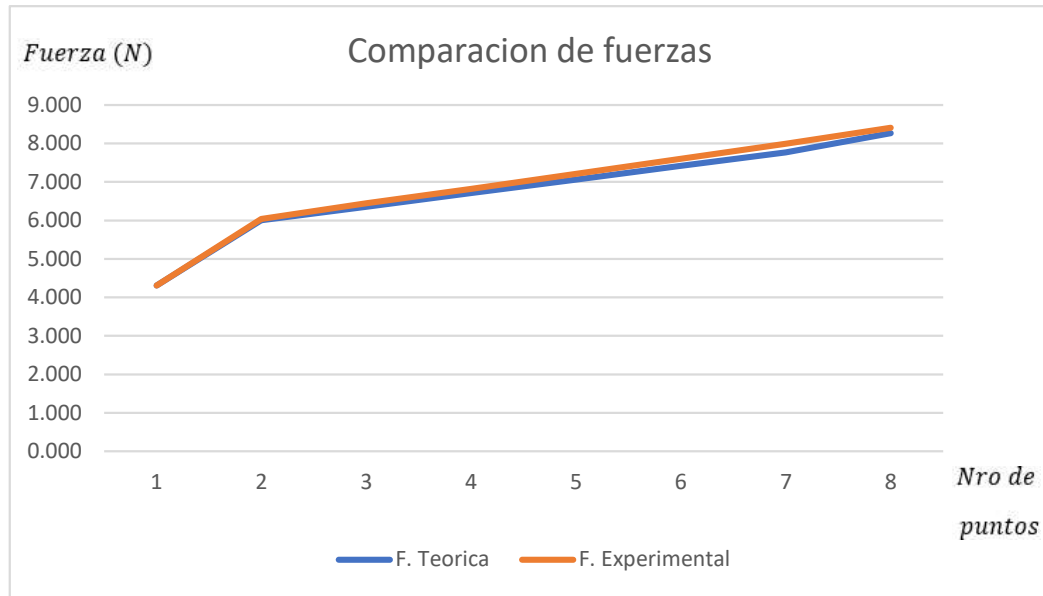
Tabla 10 Resultados

h_c (m)	Area (m ²)	I_c (kg * m ²)	h_{cp} (m)	L_e (m)	h_f (m)	M_e N * m	h_L (m)	b (m)	F_{RT} (N)	F_{RE} (N)	% Error
0.12	0.0072	0.00000864	0.0807	0.25	0.001	0.77	0.10	0.18	4.309	4.309	0.011
0.125	0.0072	0.00000864	0.0991	0.34	0.025	1.05	0.08	0.17	6.004	6.040	0.597
0.13	0.0072	0.00000864	0.1033	0.36	0.03	1.11	0.07	0.17	6.357	6.447	1.404
0.135	0.0072	0.00000864	0.1076	0.38	0.035	1.17	0.07	0.17	6.710	6.819	1.600
0.14	0.0072	0.00000864	0.1120	0.4	0.04	1.24	0.06	0.17	7.063	7.209	2.025
0.145	0.0072	0.00000864	0.1164	0.42	0.045	1.30	0.06	0.17	7.416	7.599	2.410
0.15	0.0072	0.00000864	0.1209	0.44	0.05	1.36	0.05	0.17	7.770	7.990	2.759
0.155	0.0072	0.00000864	0.1273	0.46	0.057	1.43	0.04	0.17	8.264	8.408	1.711

Fuente: Elaboración propia

En la figura 38 se muestra la comparación de fuerzas experimentales (línea naranja) y fuerza teórica (línea azul). Estos datos se encuentran dentro del margen de error aceptable de 10%.

Figura 38 Comparación de fuerzas



Fuente: Elaboración propia

8 COSTOS DEL EQUIPO

Para el cálculo de los costos de construcción del equipo se han considerado los siguientes rubros:

- Materiales
- Mano de obra
- Transporte

El análisis de costos permite conocer la factibilidad de la realización del proyecto, los costos se derivan en:

- Costos directos
- Costos indirectos

Los costos directos son aquellos que están relacionados directamente con la construcción del equipo, los cuales se consideran en tres partes: materiales, mano de obra y transportes. En la tabla 11 se detallan los costos para la construcción del equipo.

Tabla 11 Costos directos

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL
1	ESTRUCTURA				
1,1	Masas calibradas 100-1000g	paquete	1	\$ 225.000	\$ 225.000
1,2	Nivel tipo gota	unidad	2	\$ 27.000	\$ 54.000
1,3	Acrílico	m2	2	\$ 126.900	\$ 253.800
1,4	Chumaceras	unidad	2	\$ 19.200	\$ 38.400
1,5	Niveladores de patas giratorias	unidad	4	\$ 56.750	\$ 227.000
1,6	chapa aluminio liso	unidad	2	\$ 49.900	\$ 99.800
1,7	registro	unidad	1	\$ 11.900	\$ 11.900
1,8	Manguera de desagüe	m	1	\$ 4.500	\$ 4.500
1,9	grometría pared plana	unidad	1	\$ 250.000	\$ 250.000
1,9	broca para metal 8mm	unidad	1	\$ 5.700	\$ 5.700
1,9	eje	unidad	1	\$ 40.000	\$ 40.000
2	MANO DE OBRA				
2,1	dobladora de lámina chapa	servicio	1	\$ 70.000	\$ 70.000
2,2	cortadora láser acrílico	servicio	1	\$ 120.000	\$ 120.000
2,3	diseño CAD	servicio	1	\$ 80.000	\$ 80.000
2,4	ensamble	servicio	1	\$ 130.000	\$ 130.000
2,5	transportes	servicio	19	\$ 2.100	\$ 39.900
TOTAL					\$ 1.650.000

Fuente: Elaboración propia

9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

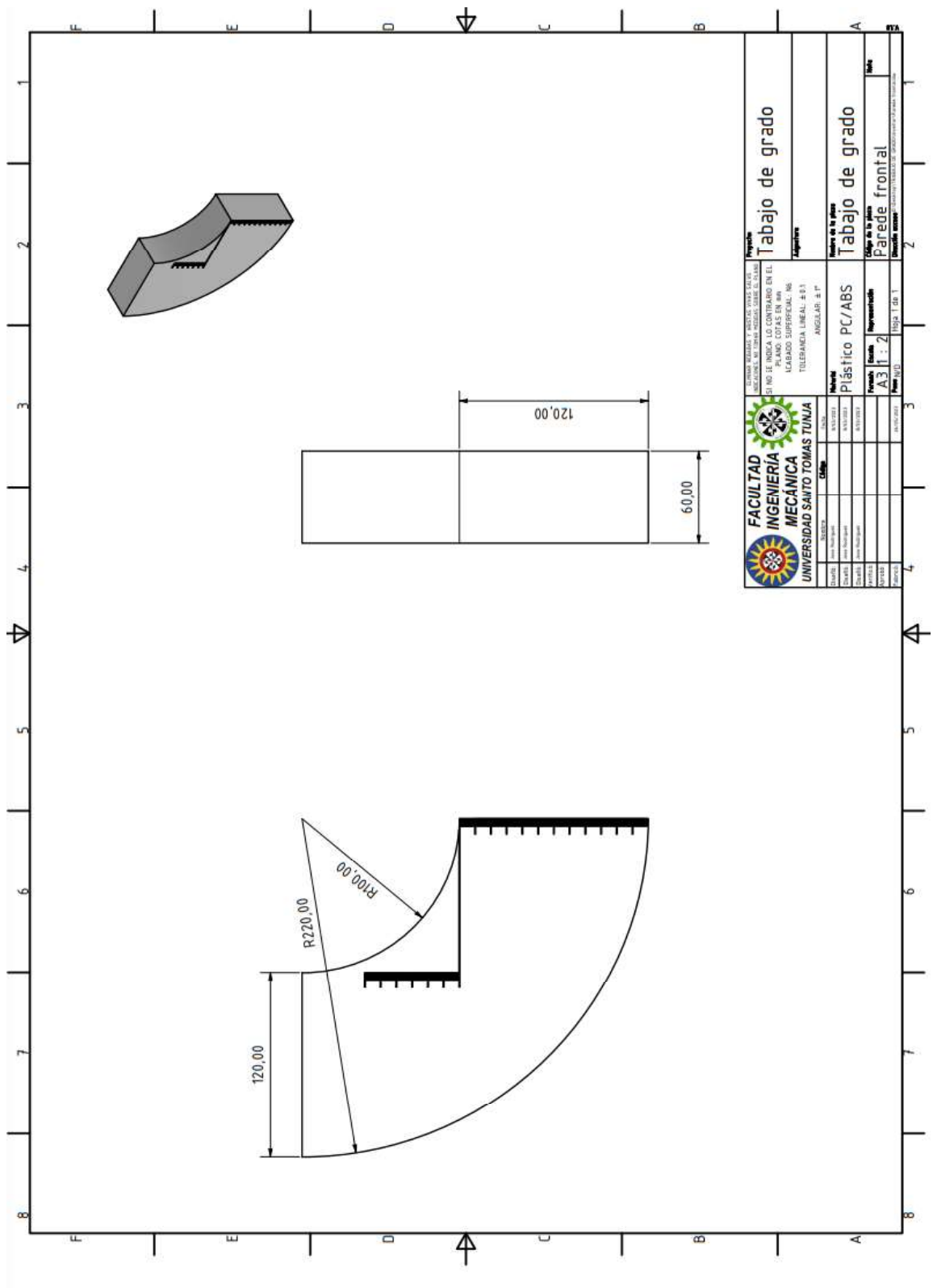
- Mediante este trabajo se logró la construcción de un equipo didáctico funcional para el laboratorio de hidráulica de la Universidad Santo Tomas, centrado en el estudio del comportamiento de superficies sumergidas.
- Durante la fase experimental del proyecto, se obtuvieron resultados altamente precisos al comparar las fuerzas experimentales con las teóricas. Las mediciones realizadas demostraron un margen de error inferior al 5%, lo cual indica una gran exactitud del equipo al realizar cálculos de fuerzas.
- La elaboración de modelos preliminares del equipo permitió visualizar y evaluar diferentes opciones de diseño para el dispositivo didáctico. Estos modelos sirvieron como base para realizar ajustes y mejoras antes de avanzar a la etapa de modelado y dimensionamiento en software CAD.
- Mediante el uso de software CAD, se logró realizar un modelado del equipo, teniendo en cuenta los principios y variables relevantes. Además, se realizó el dimensionamiento adecuado de las partes y componentes para asegurar su correcto funcionamiento.
- Durante el proceso de fabricación del equipo, se encontró que el brazo ensamblado presentaba una excesiva flexión al ser sometido a pruebas. Como respuesta a esta situación, se decidió modificar la geometría del diseño, lo cual resultó en una solución adecuada y resolvió el problema de flexión.
- Se identificó la necesidad de reforzar el contenedor debido a la presencia de pequeñas fugas que impedían la continuidad de las pruebas experimentales. Como consecuencia, se tomó la decisión de fortalecer el contenedor para solucionar este problema y poder continuar con éxito las pruebas.
- Se sugiere tener en cuenta que, al calcular las fuerzas sobre superficies curvas sumergidas, el cuadrante circular a 90 grados no se sumerge por completo. Es importante considerar este aspecto en los cálculos pertinentes.
- Se recomienda modificar el diseño del contenedor para realizar cálculos en superficies curvas sumergidas.

10 BIBLIOGRAFÍA

- CENGEL, Yunus y CIMBALA John. Mecánica de fluidos fundamentos y aplicaciones. 4 edición. México: McGraw-Hill Interamericana, 2018.
- MOTT, Robert. Mecánica de fluidos. 6 edición. México: Pearson, 2006.
- WHITE, Frank. Mecánica de fluidos. 6 edición. España, MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA DE ESPAÑA, 2008.
- PADILLA, Diego. Diseño y construcción de un equipo didáctico para la evaluación del empuje hidrostático en superficies curvas sumergidas. Tesis (Previo a la titulación de ingeniero Civil), Universidad Central Del Ecuador. Ecuador, 2014, 23p.
- MONCAD, Adrián y ZAMORA, Roger. Diseño y montaje de laboratorio de presión hidrostática sobre superficies planas y curvas sumergidas y fuerzas de boyamiento sobre un cuerpo parcialmente sumergido. Tesis (Previo para optar por el título de Ingeniero civil), Corporación Universitaria Minuto de Dios, Girardot, 2009, p.11.
- MUÑOZ, Zafla y ROBERTO Danny. Diseño y construcción de un equipo autónomo para la realización de prácticas estudiantiles sobre empuje de líquidos en superficies planas. Tesis (Previo para optar por el título de Ingeniero civil), Universidad Central del Ecuador, Quito, 2014, p.5.
- AGUDELO, María y ARANGO, Alejandro. Diseño de material didáctico para las prácticas de laboratorio en mecánica de fluidos e hidráulica. (Previo para optar por el título de Ingeniero civil), Universidad EIA, Envigado, 2017, p.15.
- MAHBUB, Ahmed, HEWAVITARANA, Lionel, MACRY, Christopher. Design and Construction of a Low-Cost 'Hydrostatic Force on a Submerged Surface' Experiment Setup Paper presented at 2006 GSW, unknown. 10.18260/1-2-620-38982.
- ADE, Nyoman. Design of measurement system hydrostatic force. Revista ResearchGate [en línea]. Indonesia, enero-febrero de 2016. Vol. 2, nro. 2. p. 20. [Consultado: 5 de Julio de 2023], Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/313951438_Design_of_measurement_system_hydrostatic_force/link/5ae95f630f7e9b837d3b1b58/download.

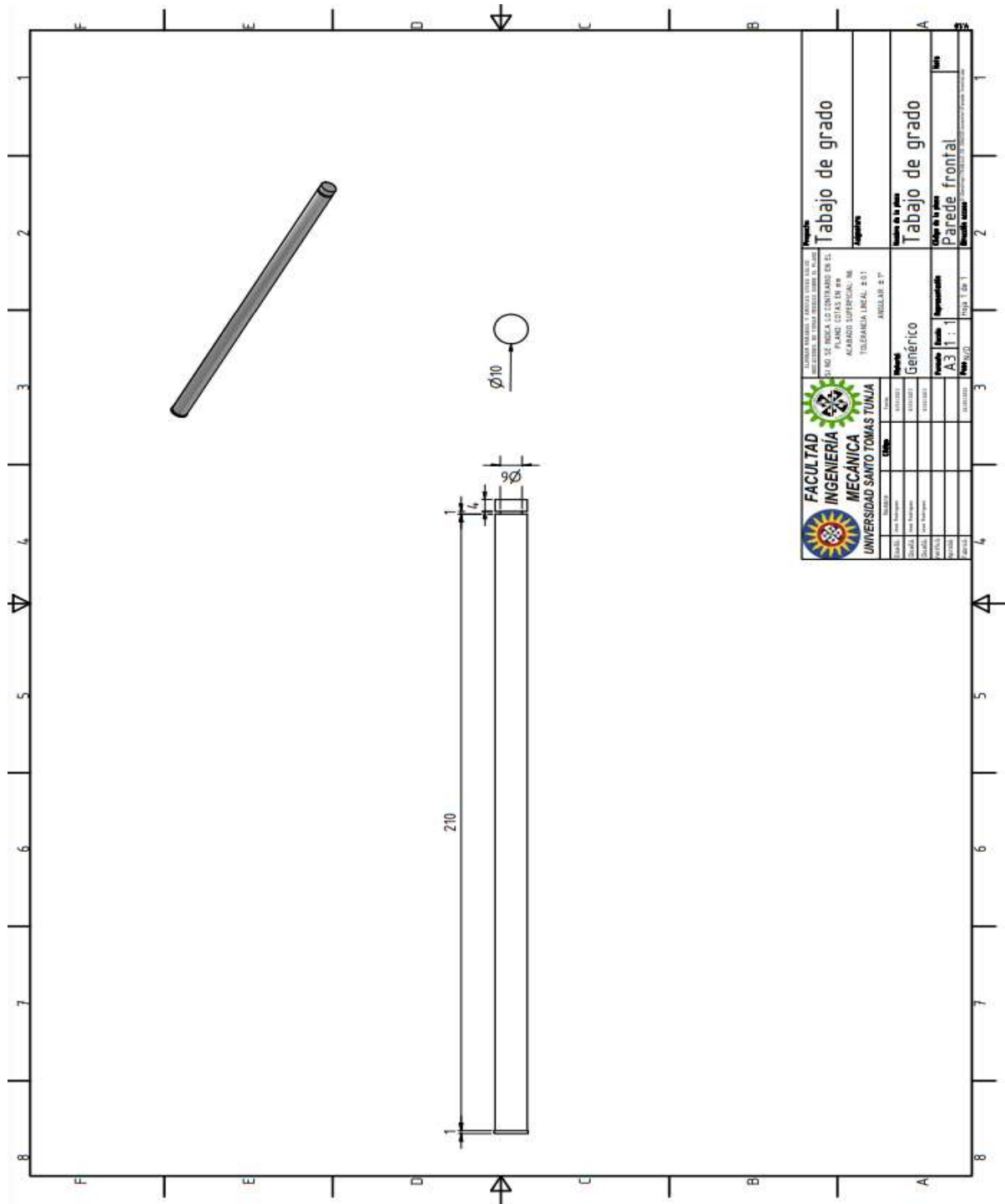
11 ANEXOS

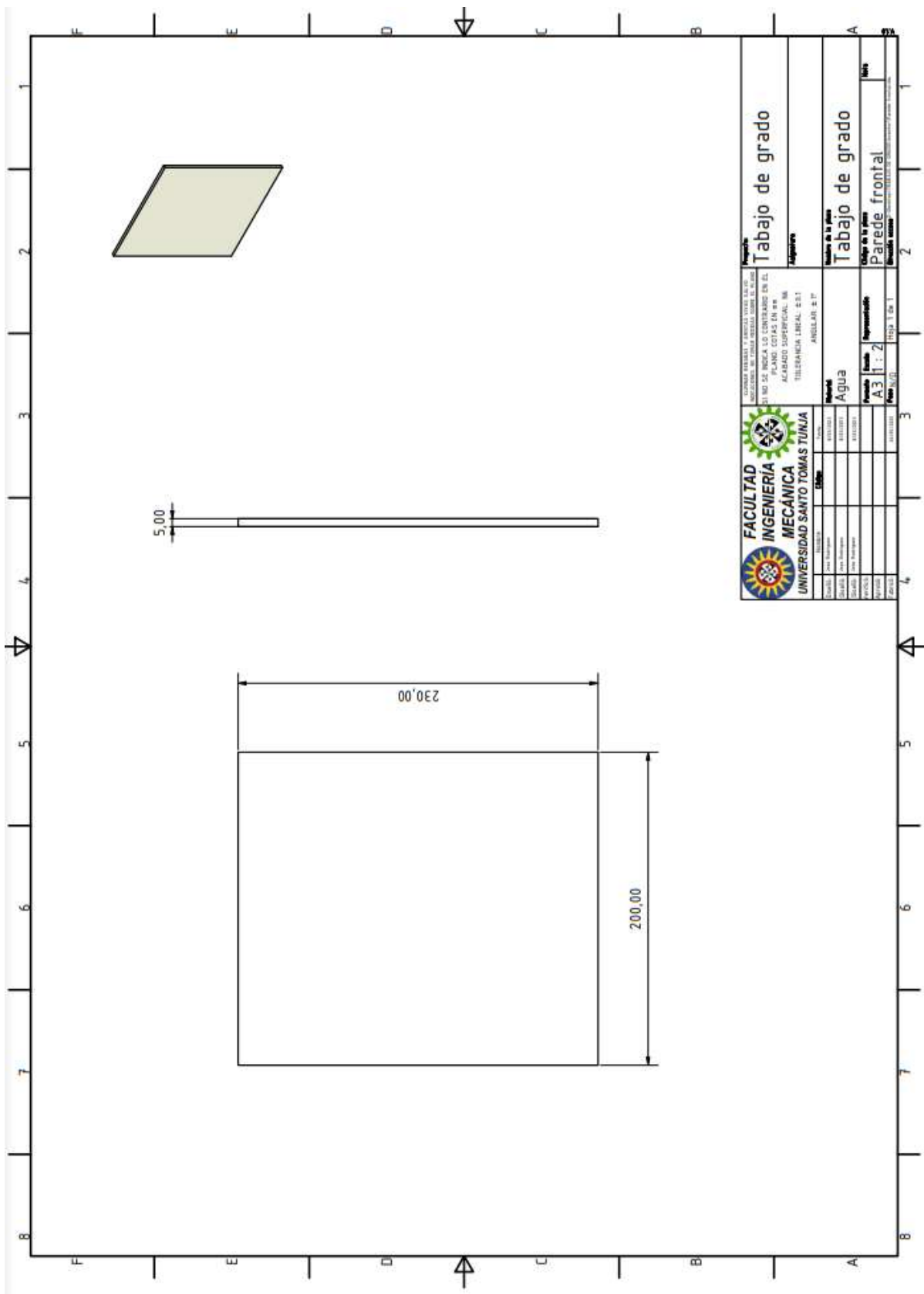
11.1. ANEXO A Planos del equipo

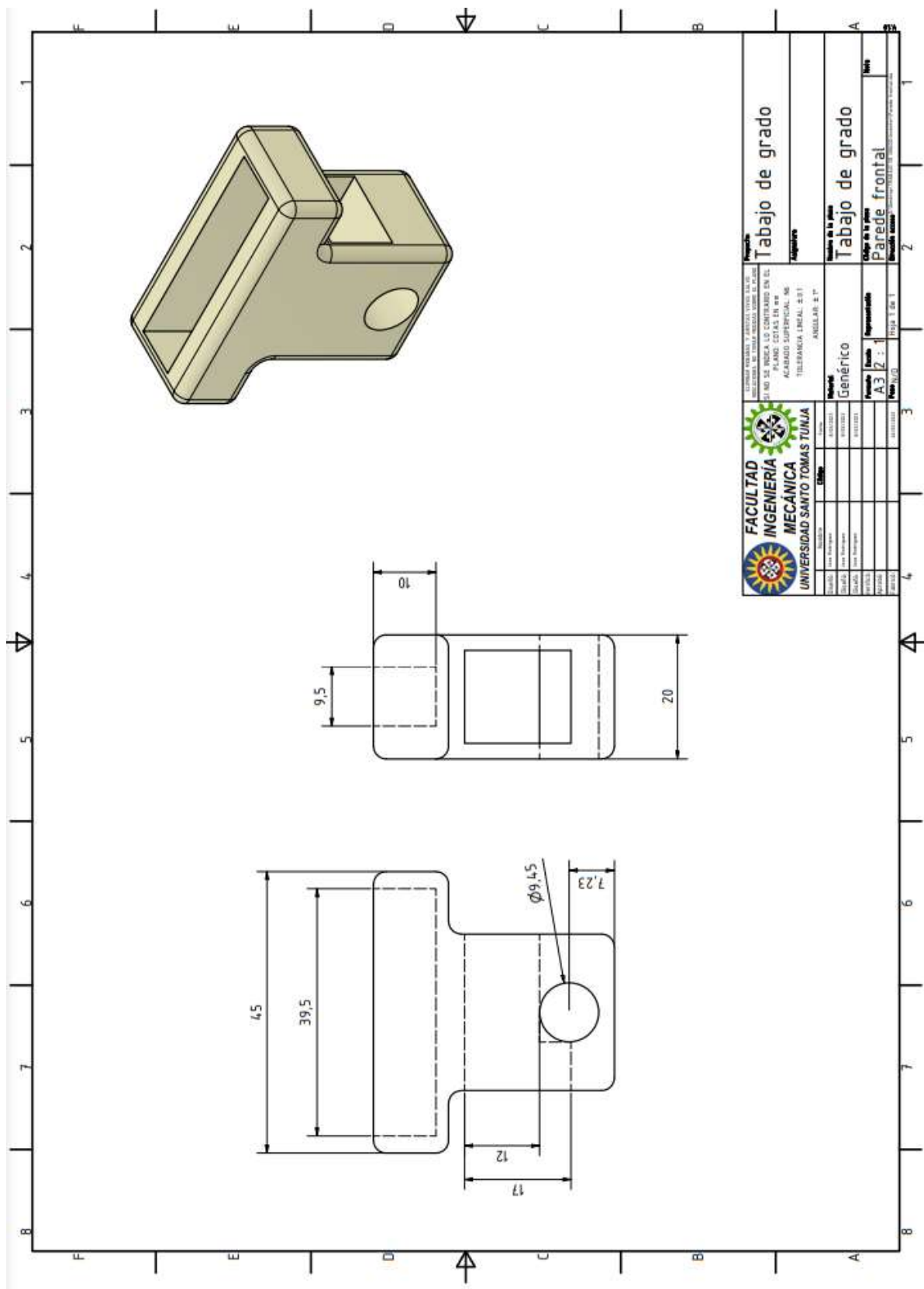


TERMINO PROYECTO Y ENTREGA DE LOS DISEÑOS EN EL MECANISMO, SIN TORNILLOS, SIN EL ALUMNO SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO, COPAS EN MM ACABADO SUPERFICIAL: INE TOLERANCIA LINEAL: ± 0.1 ANGULAR: ± 1°		Proyecto Tabajo de grado	
Alumno		Nombre de la pieza Tabajo de grado	
Material Plástico PC/ABS		Calaje de la pieza Pared frontal	
Formato A3		Escala 1:2	
Fecha 10/06/2023		Hoja 1 de 1	









FACULTAD INGENIERIA MECÁNICA UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS TUNJA		ESTUDIOS DE GRADO Y POSTGRADO EN INGENIERIA MECÁNICA (SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO, TODAS LAS MEDIDAS SE TOMAN EN MM) ACABADO SUPERFICIAL: NO TOLERANCIA LINEAL: ± 0,1 ANGULAR: ± 1°		Proyecto Tabajo de grado	
Nombre Apellido Nombre	Fecha Día Mes Año	Material Genérico		Nombre de la pieza Tabajo de grado	
Profesor Apellido Nombre	Fecha Día Mes Año	Formato A3	Escala 2 : 1	Clase de la pieza Parede frontal	
Autor Apellido Nombre	Fecha Día Mes Año	Hoja 1 de 1		Nota	

