

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE ACCESORIOS PARA
EXPERIMENTACIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA, FLUJO
LAMINAR Y TURBULENTO EN TUBERÍAS**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE ACCESORIO PARA
EXPERIMENTACIÓN DE FLUJO LAMINAR Y TURBULENTO EN
TUBERÍAS.**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO/A CIVIL**

GABRIELA NICOLE NARVÁEZ PILLAJO

gabynarvaezpi@hotmail.com

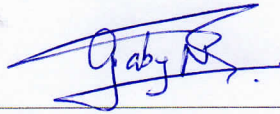
DIRECTOR: MSc. ING. CRISTINA ALEXANDRA TORRES JACOBOWITZ

cristina.torresj@epn.edu.ec

DMQ, marzo 2023

CERTIFICACIONES

Yo, GABRIELA NICOLE NARVÁEZ PILLAJO declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



GABRIELA NICOLE NARVÁEZ PILLAJO

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por GABRIELA NICOLE NARVÁEZ PILLAJO, bajo mi supervisión.



M. SC. CRISTINA ALEXANDRA TORRES JACOBOWITZ.
DIRECTORA

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

Gabriela Nicole Narvárez Pillajo

Ing. Cristina Torres J. M.Sc.

DEDICATORIA

A mi mami Mónica (+), quien estuvo siempre a mi lado y aunque hoy ya no este físicamente junto a mí, ahora es mi angelito y me acompaña en todo momento desde el cielo.

A mi papi José y mi hermanita María Emilia por su apoyo incondicional, sus locuras y amor.

A mi familia, por confiar en mí en todo momento.

Gaby Narváez

AGRADECIMIENTO

A Dios, por bendecir mi vida, por guiar mi camino, ser mi fortaleza y mi luz.

A mi mami Mónica (+), mi ángel, muchas gracias por haberme regalado todo tu amor, tu paciencia, por enseñarme a no rendirme nunca, por formarme como una mujer de bien, por ser mi ejemplo a seguir y aunque Dios te haya llevado junto a él, siempre estarás presente en mi corazón, muchas gracias mamita, sé que allá en el cielo estas muy feliz.

A mi papi José, por su dedicación a la familia y al trabajo para que nunca me falte nada, por su cariño y amor incondicional.

A mi hermanita María Emilia por hacerme compañía en todo momento, por sus locuras, su cariño y sus travesuras que siempre me sacaban una sonrisa.

A mi familia, por ser una parte muy importante en mi vida, en especial a mi abuelita Luz María, por su paciencia, por guiarme y cuidarme desde muy pequeña, nunca me faltó un platito de comida, gracias mamita.

A mi tío Fernando, que siempre me dio palabras de aliento para seguir adelante, por guiarme y brindarme oportunidades en el campo laboral para adquirir conocimientos.

A mi querida Escuela Politécnica Nacional y la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, por abrirme sus puertas para estudiar mi carrera, a mis profesores por brindarme conocimientos para ser una gran profesional.

A mi tutora, Ing. Cristina Torres por su paciencia, dedicación y guía durante la realización de este trabajo.

Al Centro de Investigaciones y Estudios de Ingeniería en Recursos Hídricos (CIERHI), por su colaboración en la construcción del Accesorio.

A mis amigos por su sincera amistad, por sus locuras, travesuras, por su compañía a lo largo de toda la carrera, por cada palabra de aliento que juntos nos brindábamos para poder seguir adelante.

A mi amigo, mi compañero, mi persona especial, mi amor Jona, por creer en mí, por brindarme conocimientos, por su apoyo, paciencia y amor.

Gaby Narváez

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XII
RESUMEN	XIV
ABSTRACT	XV
1. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	1
1.1 Objetivo general.....	2
1.2 Objetivos específicos	2
1.3 Alcance	2
1.4 Marco teórico	3
1.4.1 Definición de fluido	3
1.4.2 Propiedades de un fluido.....	3
1.4.2.1 Presión [P].....	4
1.4.2.2 Densidad [ρ]	4
1.4.2.3 Peso Específico [γ]	4
1.4.2.4 Temperatura T.....	5
1.4.2.5 Viscosidad.....	5
1.4.3 Definición de flujo	6
1.4.4 Mecánica de fluidos.....	7
1.4.5 Flujo de fluidos en tuberías.....	11
1.4.5.1 Flujo uniforme en tuberías	12
1.4.5.2 Experimento de Reynolds.....	12

1.4.5.3	Definición de fuerzas de Inercia.....	14
1.4.5.4	Definición de fuerzas Viscosas	15
1.4.5.5	Número de Reynolds (Re).....	15
1.4.5.6	Tipos de Flujo	16
1.4.6	Pérdidas de Energía	18
1.4.6.1	Pérdidas Mayores h_f	18
1.4.6.1.1	Ecuación de Darcy Weisbach.....	18
1.4.6.1.2	Ecuación de Hazen-Williams	19
1.4.6.1.3	Factor de fricción f	19
1.4.6.2	Pérdidas Menores h_{LOC}	22
1.4.7	Medición de caudal: Aforo volumétrico	24
1.4.8	Estado del Arte	24
1.4.9	Banco Hidráulico	25
1.4.9.1	Banco Hidráulico P6100	26
2.	METODOLOGÍA.....	28
2.1	Descripción del accesorio	28
2.1.1	Conexión entrada de agua.....	29
2.1.2	Tanque de carga	31
2.1.3	Conducto de agua	31
2.1.4	Sistema de tinta o suministro de trazador	32
2.1.5	Tanque para descarga.....	33
2.1.6	Desagüe.....	34
2.1.7	Estructura de soporte (mesa)	35
2.2	Diseño accesorio experimento de Reynolds	35
2.2.1	Caudales, diámetros, tipos de flujo.....	35
2.2.2	Altura del tanque de carga para diferentes caudales.	39
2.2.3	Dimensionamiento del tanque para descarga.....	42
2.2.4	Selección de parámetros y medidas para el diseño.....	43
2.3	Construcción del Accesorio.....	43

2.3.1	Etapa 1: Construcción del tanque de carga y adaptación de la tubería de acrílico	43
2.3.2	Etapa 2: Construcción de soporte (mesa)	44
2.3.3	Etapa 3: Construcción y adaptación del sistema de tintas	44
2.3.4	Etapa 4: Adaptación de accesorios para la entrada y salida de agua	44
2.4	Costo del equipo	49
3.	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51
3.1	Resultados	51
3.1.1	Accesorio instalado	51
3.1.2	Ensayos	51
3.1.2.1	Procedimiento para uso de accesorio	51
3.1.2.2	Ensayo para: Flujo Turbulento	53
3.1.2.3	Ensayo para: Flujo Laminar y de Transición	54
3.1.2.4	Procesamiento de la información	55
3.1.3	Instructivo	59
3.1.4	Video Tutorial	59
3.2	Conclusiones	59
3.3	Recomendaciones	60
4.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
5.	ANEXOS	64
	ANEXO I	65
	ANEXO II	66
	ANEXO III	69
	ANEXO IV	74
	ANEXO V	78
	ANEXO VI	86
	ANEXO VII	87

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.1 Densidad	4
Ecuación 1.2 Peso Específico.....	4
Ecuación 1.3 Viscosidad Cinemática	5
Ecuación 1.4 Ecuación de Continuidad.....	7
Ecuación 1.5 Área de sección transversal interna para un Tubo	8
Ecuación 1.6 Ecuación de Continuidad-Fluido Incompresible.....	8
Ecuación 1.7 Ecuación de Cantidad de Movimiento	9
Ecuación 1.8 Ecuación de Bernoulli, considerando pérdidas por fricción.	10
Ecuación 1.9 Fuerzas de Inercia.....	14
Ecuación 1.10 Fuerzas Viscosas	15
Ecuación 1.11 Número de Reynolds.....	15
Ecuación 1.12 Pérdidas Mayores-Ecuación de Darcy-Weisbach.....	18
Ecuación 1.13 Pérdidas Mayores-Ecuación de Hazen -Williams	19
Ecuación 1.14 Factor de fricción f para Flujo Laminar-Poiseuille	19
Ecuación 1.15 Factor de fricción f para Flujo Turbulento. Ecuación de Colebrook.	20
Ecuación 1.16 Rugosidad Relativa	20
Ecuación 1.17 Factor de fricción f . Ecuación de Swamme	22
εd : Rugosidad relativa (Ecuación 1.18).....	22
Ecuación 1.19 Pérdidas Menores	23
Ecuación 1.20 Caudal (aforo volumétrico)	24
Ecuación 0.1 Altura de agua Y_1	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Volumen de control para área de sección transversal cambiante.	7
Figura 1.2	Vectores de velocidad y de momento lineal de una partícula.....	9
Figura 1.3	Volumen de Control para Deducción de Ecuación de Bernoulli	10
Figura 1.4	Esquema del aparato utilizado por Reynolds	13
Figura 1.5	Resultados del Experimento de Reynolds.....	14
Figura 1.6	Esquema de Reynolds sobre la transición en Tubos.....	17
Figura 1.7	Diagrama de Moody.	21
Figura 1.8	Banco Hidráulico del Laboratorio Docente de Hidráulica de la EPN. .	26
Figura 1.9	Convertidor de Frecuencia-Commander SK.....	27
Figura 2.1	Esquema Accesorio.....	29
Figura 2.2	Conexión Entrada de Agua	30
Figura 2.3	Conector "Y"	30
Figura 2.4	Tanque de Carga.....	31
Figura 2.5	Conducto de Agua.....	32
Figura 2.6	Sistema de Tinta o suministro de Trazador	33
Figura 2.7	Tanque para descarga	34
Figura 2.8	Desagüe	34
Figura 2.9	Estructura de Soporte (mesa)	35
Figura 2.10	Diagrama Proceso Constructivo Etapa 1.....	45
Figura 2.11	Diagrama Proceso Constructivo Etapa 2.....	46
Figura 2.12	Diagrama Proceso Constructivo Etapa 3.....	47
Figura 2.13	Diagrama Proceso Constructivo Etapa 4.....	48

Figura 3.1 Accesorio Construido para Experimentación de Flujo Laminar y Turbulento en Tuberías	51
Figura. A Coeficientes de pérdida para ampliaciones graduales.....	67
Figura. B Tanque de Carga y Tubería para aplicación de Ecuación 7 (Bernoulli)	70

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 3.1 Flujo Turbulento-Ensayo 1,2,3	56
Fotografía 3.2 Flujo Turbulento-Ensayo 4,5,6	56
Fotografía 3.3 Flujo en Transición-Ensayo 7-8-9	57
Fotografía 3.4 Flujo en Transición-Ensayo 7-8-9	57
Fotografía 3.5 Flujo Laminar Ensayo 10,11,12	58
Fotografía 3.6 Flujo Laminar Ensayo 10,11,12	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Viscosidad Cinemática del agua	6
Tabla 1.2 Viscosidad Dinámica del agua a la Presión Atmosférica	6
Tabla 1.3 Valores críticos de Reynolds para Flujo en Tuberías.....	17
Tabla 1.4 Coeficientes de Rugosidad Absoluta.	21
Tabla 1.5 Coeficiente de pérdidas menores K de acuerdo al tipo de perdida	23
Tabla 1.6 Tesis Encontradas acerca del Diseño y Construcción de Equipos para Experimento de Reynolds	25
Tabla 2.1 Determinación del tipo de Flujo con Diámetro de 3/4"	36
Tabla 2.2 Determinación del tipo de Flujo con Diámetro de 1"	37
Tabla 2.3 Determinación del tipo de Flujo con Diámetro de 4"	37
Tabla 2.4 Determinación del tipo de Flujo con Diámetro de 3/4" para caudales de 0.04 m ³ /h hasta 2.52 m ³ /h.....	38
Tabla 2.5 Constantes K usadas en el Diseño	40
Tabla 2.6 Calculo de altura de Tanque de Carga	41
Tabla 2.7 Dimensionamiento del Tanque Inferior	42
Tabla 2.8 Resumen de Parámetros de Diseño	43
Tabla 2.9 Costo del Accesorio	49
Tabla 3.1 Datos para demostrar Flujo Turbulento.....	54
Tabla 3.2 Datos para demostrar Flujo en Transición	55
Tabla 3.3 Datos para demostrar Flujo Laminar.....	55
Tabla 3.4 Datos del Conducto y del Fluido	55
Tabla 3.5 Determinación de Número de Reynolds_Flujo Turbulento.....	56
Tabla 3.6 Determinación de Número de Reynolds_Flujo en Transición	57

Tabla 3.7 Determinación de Numero de Reynolds_Flujo Laminar.....	58
Tabla A Valores recomendados de Rugosidad Absoluta para conductos comerciales	65
Tabla B Rugosidad Absoluta en tubos comerciales Lisos	65
Tabla C Coeficientes de pérdidas menores—por entrada— para diferentes formas.	66
Tabla D Coeficientes de pérdida K para válvulas abiertas, codos y «tes».....	67
Tabla E Valores de k para cálculo de pérdidas menores.....	68
Tabla F Factor de Fricción para $Re=17914$	71
Tabla G Cálculo del Factor de Fricción.....	72
Tabla H Materiales Utilizados en la construcción del accesorio.....	74

RESUMEN

El trabajo de Integración Curricular presentado a continuación consiste en el diseño y construcción de un accesorio adaptable al Banco Hidráulico del Laboratorio Docente de Hidráulica, para la experimentación del flujo en fluidos cuyo objetivo es reproducir el experimento realizado por Osborne Reynolds en donde se pueda visualizar el flujo laminar, turbulento y de transición.

Este accesorio permite a los estudiantes observar el tipo de flujo al variar gradualmente el caudal que circula por la tubería y a complementar los conocimientos teóricos con los prácticos.

Los resultados obtenidos en la práctica se constataron con los cálculos realizados en el diseño, y tras comprobar que el equipo funcione correctamente se elaboró un instructivo de práctica de laboratorio y un video para que pueda ser aplicado por los estudiantes en sus prácticas de laboratorio de las cátedras de: Hidráulica Básica e Hidráulica en canales y tuberías.

PALABRAS CLAVE: Experimento de Reynolds, Número de Reynolds, Tipos de Flujos, Accesorio Hidráulico, Flujo en Tuberías, Flujo Laminar y Turbulento.

ABSTRACT

The Curricular Integration work presented below consists of the design and construction of an adaptable accessory to the Hydraulics Bench of the Hydraulics Teaching Laboratory, for the experimentation of the flow in fluids whose objective is to reproduce the experiment performed by Osborne Reynolds where laminar, turbulent and transition flow can be visualized.

This accessory allows students to observe the type of flow by gradually varying the flow rate flowing through the pipe and to complement theoretical knowledge with practical knowledge.

The results obtained in the practice were verified with the calculations made in the design, and after verifying that the equipment works correctly, a laboratory practice instruction and a video were prepared so that it can be applied by the students in their laboratory practices of the chairs of: Basic Hydraulics and Hydraulics in canals and pipes.

KEY WORDS: Reynolds Experiment, Reynolds Number, Types of Flows, Hydraulic Accessory, Flow in Pipes, Laminar and Turbulent Flow.

1. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

“El estudio de la ciencia es un área de investigación tanto teórica como práctica, por lo que, para su enseñanza, el laboratorio es un mecanismo didáctico importante para la educación de los estudiantes ya que, por medio de esta, pueden aprender a hacer, razonar, interactuar, compartir ideas y poner sus conocimientos a prueba”. [1]

Muchos de los fenómenos que ocurren en obras hidráulicas, son complejos de resolver, por lo que se debe implementar técnicas experimentales en laboratorios para conseguir simular la realidad a través de representaciones de estructuras a escala, máquinas o accesorios. [2]

Para el diseño de obras hidráulicas es fundamental conocer la trayectoria de los fluidos, con el fin de solucionar problemas como: transporte de sedimentos, movimiento de flujo en tuberías, estabilidad de estructuras ante oleajes, obras de toma, vertederos, orificios, compuertas, control de avenidas, conducción de agua a presión, difusión térmica, etc. [3]

El comportamiento de los fluidos se estudia a través de la mecánica de fluidos la cual los clasifica en base al número de Reynolds (Re) que es “la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas” [4], de acuerdo a este número existen tres tipos de flujos permanentes; laminar, en transición y turbulento, además “la viscosidad es una medida cuantitativa que caracteriza el comportamiento específico de los fluidos y relaciona el esfuerzo de un fluido en movimiento con la velocidad de la deformación de las partículas fluidas”. [5] Valores pequeños de Re , de hasta 2000, corresponden a un flujo laminar cuya característica principal es el movimiento de sus partículas de forma paralela, estableciendo láminas o capas, valores medios de Re corresponden al flujo en transición el cual es el paso del flujo laminar a turbulento y valores altos de Re mayores que 4000 están asociados al flujo turbulento caracterizado por el movimiento de las partículas en desorden, en todas las direcciones posibles. [6]

El Laboratorio Docente de Hidráulica de la Escuela Politécnica Nacional cuenta con un Banco Hidráulico, el cual está diseñado para proveer una apreciación visual clara de los principios hidráulicos [7], sin embargo, no cuenta con un accesorio adaptable con el cual los estudiantes puedan analizar el flujo laminar y turbulento.

El presente componente consistió en la implementación de un accesorio adaptable al Banco Hidráulico para verificación y cálculo del flujo laminar y turbulento, con el fin de que los estudiantes puedan complementar los conocimientos teóricos con prácticas en el laboratorio de Hidráulica.

Para el diseño y elaboración del accesorio se tomó en cuenta el instructivo del Banco Hidráulico, el cual brinda información acerca de las características de la máquina y la información teórica investigada acerca de esquemas y materiales usados. Una vez definido el diseño del accesorio, se procedió a cotizar materiales para realizar el presupuesto final y continuar con la compra y construcción del accesorio. Se efectuaron pruebas y ensayos respectivos para comprobar su correcto funcionamiento y se elaboró un instructivo y un video para prácticas de los estudiantes en el laboratorio docente de Hidráulica.

1.1 Objetivo general

Implementar un accesorio adaptable al Banco Hidráulico del Laboratorio Docente de Hidráulica de la Escuela Politécnica Nacional para verificación y cálculo del flujo laminar, en transición y turbulento mediante el experimento del Número de Reynolds (Re)

1.2 Objetivos específicos

1. Investigar en fuentes bibliográficas teoría acerca de la clasificación del flujo en tuberías, número de Reynolds y equipos utilizados para su experimentación.
2. Diseñar un accesorio adaptable al Banco Hidráulico Cussons P6100, analizando la mejor alternativa en cuanto a parámetros hidráulicos y presupuesto.
3. Construir un accesorio para el Banco Hidráulico Cussons P6100 para las prácticas de laboratorio de flujo laminar, en transición y turbulento en tuberías y comparar los resultados con la base teórica.
4. Elaborar un instructivo de uso del accesorio para que los estudiantes puedan aplicarlo en futuras prácticas del Laboratorio de Hidráulica.

1.3 Alcance

De acuerdo con el componente planteado se entregó un accesorio adaptable al Banco Hidráulico con el cual se pueda generar y observar el flujo laminar y turbulento en tubería, además un instructivo para que sea utilizado por los estudiantes en las prácticas de laboratorio de Hidráulica.

Para la implementación del accesorio, se ejecutó tres fases:

La primera fase fue la recopilación de la información la cual consistió en investigar teoría acerca del comportamiento del flujo en tuberías, clasificación del flujo en tuberías, número de Reynolds y toda la documentación necesaria acerca de las máquinas, accesorios y

materiales utilizados en otras universidades para la práctica de flujo laminar, en transición y turbulento. Se investigó la información en fuentes bibliográficas como: tesis, documentos científicos y publicaciones de artículos en revistas. Además, se analizaron las características y especificaciones técnicas del Banco Hidráulico existente para familiarizarse con el equipo previo a la entrada al laboratorio.

La segunda fase consistió en el diseño y construcción del accesorio en base a las diferentes alternativas investigadas. Se utilizó catálogos de diferentes materiales y se realizó un presupuesto referencial de acuerdo con los materiales propuestos.

Y finalmente la última fase en la cual se ensayó el accesorio construido, se evidenció su funcionamiento y se elaboró un instructivo y un video para que el accesorio sea utilizado por los estudiantes y docentes de las cátedras de Hidráulica básica e Hidráulica en canales y tuberías.

1.4 Marco teórico

El siguiente subcapítulo consiste en la recopilación de información relacionada al movimiento de fluidos en tuberías como: número de Reynolds, flujo laminar, flujo turbulento, flujo en transición, etc. Es decir, los fundamentos en los cuales se sustenta el experimento de Reynolds y que ayudarán a entender teóricamente su desarrollo.

1.4.1 Definición de fluido

“La materia puede presentarse en tres estados: sólido, líquido y gaseoso”, un fluido puede encontrarse en estado líquido o gaseoso. La diferencia que existe en ambos es que; un líquido es prácticamente incompresible es decir “es un fluido ideal, su densidad no puede cambiar”, por lo que ocupa un volumen definido, por el contrario, un gas es compresible, no tiene volumen definido, su masa se expande hasta ocupar espacio en el recipiente que lo contenga. [6]

“Un fluido es una sustancia que no puede resistir esfuerzo cortante, es capaz de fluir y adecuarse a la forma del recipiente que lo contiene.” [8] Si un fluido está en reposo no puede presentar fuerzas tangenciales o cortantes en su interior, por el contrario, si un fluido está en movimiento dichas fuerzas están presentes. [5]

1.4.2 Propiedades de un fluido

Las propiedades de un fluido indican y determinan a través de magnitudes físicas el estado en el que este se encuentra. A continuación, se definen algunas propiedades:

1.4.2.1 Presión [P]

“La presión es un esfuerzo de compresión en un punto en un fluido en reposo”. Sus unidades son los Pascales (el Sistema Internacional SI). [5]

1.4.2.2 Densidad [ρ]

La densidad de un fluido es una magnitud escalar, es la relación entre la cantidad de materia y volumen, cuyo valor se determina a través de la **Ecuación 1.1**.

En los líquidos la densidad es casi constante. La densidad del agua es alrededor de 1000 kg/m³. [5]

$$\rho = \frac{m}{V'} = \frac{\gamma}{g}$$

Ecuación 1.1 Densidad

Donde:

ρ : Densidad (kg/m³)

m: masa (kg)

V': volumen (m³)

γ : Peso específico (kg/m³*m/s² →N/m³)

g: gravedad (g=9.807 m/s².)

1.4.2.3 Peso Específico [γ]

El peso específico de un fluido es la relación entre su peso y el volumen, el peso es el producto de la masa por la gravedad y la densidad es la división de la masa para el volumen, por lo que se concluye que el peso específico es el producto de la densidad por la gravedad como se muestra en la **Ecuación 1.2**

$$\gamma = \frac{P}{V'} = \frac{m \cdot g}{V'} = \rho \cdot g$$

Ecuación 1.2 Peso Específico

Donde:

γ : Peso específico (kg/m³*m/s² →N/m³)

P: Peso (kg*m/s² →N)

m: masa (kg)

g: gravedad ($g = 9.807 \text{ m/s}^2$)

V': volumen (m^3)

ρ : densidad (kg/m^3)

El peso específico del agua aproximadamente a 20° C y 1 atmósfera es 9790 N/m³ [5]

$$\gamma_{\text{agua}} g = (998 \text{ kg/m}^3)(9.807 \text{ m/s}^2) = 9790 \text{ N/m}^3 = 62.4 \text{ lbf/ft}^3$$

1.4.2.4 Temperatura T

“La temperatura está enlazada a la cantidad de energía interna presente en el fluido y es directamente proporcional a la energía cinética promedio de sus partículas.” [5]

Para el agua se considera una temperatura de 15 °C.

1.4.2.5 Viscosidad

La viscosidad es la resistencia del fluido a las deformaciones, tensiones de tracción y movimiento, es decir, la resistencia a que las distintas láminas que componen el fluido se deslicen entre sí. [9]

▪ Viscosidad Cinemática ν

La viscosidad cinemática es la relación entre la viscosidad dinámica y la densidad del líquido. Es la resistencia interna de un fluido a fluir bajo fuerzas gravitacionales. “La viscosidad cinemática es inversamente proporcional a la presión”. [10]

La viscosidad cinemática del agua es de $1.14 \times 10^{-6} \text{ (m}^2/\text{s)}$ a 15°C y a la presión atmosférica.

A continuación, se presenta la **Ecuación 1.3** para encontrar la viscosidad cinemática:

$$\text{viscosidad cinemática } \nu \text{ (nu)} = \frac{\text{viscosidad dinámica } \mu}{\text{densidad } \rho}$$

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{\mu}{\gamma/g} = \frac{\mu \cdot g}{\gamma}$$

Ecuación 1.3 Viscosidad Cinemática

Donde:

ν : viscosidad cinemática (m^2/s)

μ : viscosidad dinámica o absoluta en (kg s/m^2 ó Ns/m^2)

g : gravedad ($g = 9.807 \text{ m/s}^2$)

γ : peso específico ($\text{kg/m}^3 \cdot \text{m/s}^2 \rightarrow \text{N/m}^3$)

ρ : densidad (kg/m^3)

Tabla 1.1 Viscosidad Cinemática del agua

Temperatura (°C)	Viscosidad Cinemática (m^2/s)
10	1.308×10^{-6}
15	1.142×10^{-6}
20	1.007×10^{-6}
25	0.897×10^{-6}
30	0.804×10^{-6}

Fuente: Mecánica de Fluidos, Ranald Giles, Jack Evett, Cheng Liu

Elaborado por: Gabriela Narváez

▪ Viscosidad dinámica o Absoluta

La viscosidad dinámica se mide como la resistencia interna entre las moléculas de un fluido en movimiento bajo una fuerza externa y controlada. [10] A continuación, se presenta valores de viscosidad dinámica del agua a la presión atmosférica:

Tabla 1.2 Viscosidad Dinámica del agua a la Presión Atmosférica

Temperatura (°C)	Viscosidad Dinámica (N s/m^2)
10	1.30×10^{-3}
20	1.02×10^{-3}
30	8.00×10^{-4}

Fuente: Mecánica de Fluidos, Ranald Giles, Jack Evett, Cheng Liu

Elaborado por: Gabriela Narváez

1.4.3 Definición de flujo

“Un flujo es el movimiento de un fluido con respecto a un sistema inercial” [8], se da en el espacio y en el tiempo. Algunos ejemplos de flujos son los siguientes: movimiento de agua

subterránea, movimiento de agua en un río y el movimiento de fluidos dentro de tuberías. [8]

1.4.4 Mecánica de fluidos

“La mecánica de fluidos analiza y estudia los fluidos en movimiento o en reposo”. Para su estudio y análisis se debe tener conocimiento acerca de la capacidad que tiene un flujo para transportar materia y el mecanismo por el cual sus propiedades cambian de un lugar a otro, por lo que es necesario que un fluido satisfaga los principios básicos del medio continuo los cuales se detallan a continuación [11]:

- a. **Conservación de la Materia:** Principio de continuidad que explica el comportamiento de los fluidos y menciona que la masa del medio continuo es siempre la misma, esta no puede ser creada ni destruida, entonces toda la masa que entra por un lado de la tubería sale por el otro lado. [11]

A continuación, se presenta la **Ecuación 1.4**, ecuación de continuidad para un fluido incompresible, la cual se obtiene a través del esquema presentado en la **Figura 1.1**

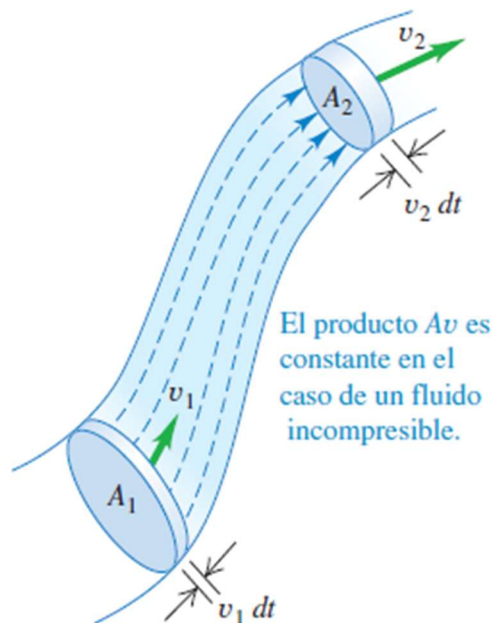


Figura 1.1 Volumen de control para área de sección transversal cambiante.

Fuente: Física Universitaria, Sears y Zemansky, Young y Freedman, 2013 [12]

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2 = \text{constante}$$

Ecuación 1.4 Ecuación de Continuidad

Donde,

ρ_1, ρ_2 : Densidad en la sección 1 y 2

V_1, V_2 : Velocidad en la sección 1 y 2

A_1, A_2 : Área de la Sección transversal interna del tubo en el punto 1 y 2, la cual se calcula con la siguiente ecuación:

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

Ecuación 1.5 Área de sección transversal interna para un Tubo

Donde:

A: Área de sección transversal interna de un Tubo (m^2)

π : constante pi

D: diámetro de la tubería (m)

Además, si el fluido es incompresible, ρ_1 y ρ_2 siempre son iguales, por lo que de la **Ecuación 1.4** se obtiene la **Ecuación 1.6**

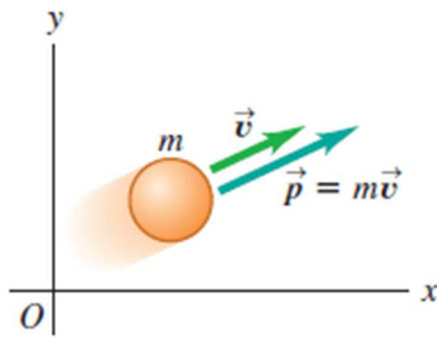
$$\begin{array}{c} \rho_1 = \rho_2 \\ \rho_1 A_1 V_1 = A_2 V_2 \rho_2 \\ Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 = \text{constante} \end{array}$$

Ecuación 1.6 Ecuación de Continuidad-Fluido Incompresible

Donde,

Q: caudal (m^3/s)

- b. Segunda Ley de Newton (Impulso y cantidad de movimiento):** “Principio que establece la relación entre la resultante de la fuerza que actúa sobre una partícula y la variación en el tiempo de la cantidad de movimiento”. A partir de este principio surgen ciertas ecuaciones utilizadas para calcular las fuerzas dinámicas provocadas por los fluidos en movimiento [11]



El momento lineal \vec{p} es una cantidad vectorial; el momento lineal de una partícula tiene la misma dirección que su velocidad \vec{v} .

Figura 1.2 Vectores de velocidad y de momento lineal de una partícula

Fuente: Física Universitaria, Sears y Zemansky, Young y Freedman, 2013 [12]

$$\sum \vec{F}_p + \sum \vec{F}_\tau + \sum \vec{F}_m + \sum \vec{F}_D = \Delta \beta \rho Q \vec{V}$$

Ecuación 1.7 Ecuación de Cantidad de Movimiento

Donde:

$$\text{Fuerzas de superficie} = \begin{cases} \text{Efecto de las presiones } \vec{F}_p \\ + \\ \text{Efecto del esfuerzo cortante } \vec{F}_\tau \end{cases}$$

$$\text{Fuerzas másicas} = \{\text{sumatoria de pesos } \vec{F}_m\}$$

$$\text{Fuerzas dinámicas} = \{\text{sumatoria de pesos } \vec{F}_D\}$$

β : Coeficiente de Boussinesq, coeficiente de corrección (entre 1-1.36), debido a que se considera una velocidad uniforme en toda la sección.

ρ : Densidad del Fluido kg/m³

Q: Caudal m³/s

\vec{V} : variación de la Velocidad

- c. Conservación de la energía:** Ley que relaciona la densidad, temperatura, presión, velocidad, elevación, trabajo mecánico y la cantidad de calor comunicado al flujo. Esta ley menciona que “La energía no se puede crear, ni se puede destruir, simplemente cambia de una forma a otra” [11]

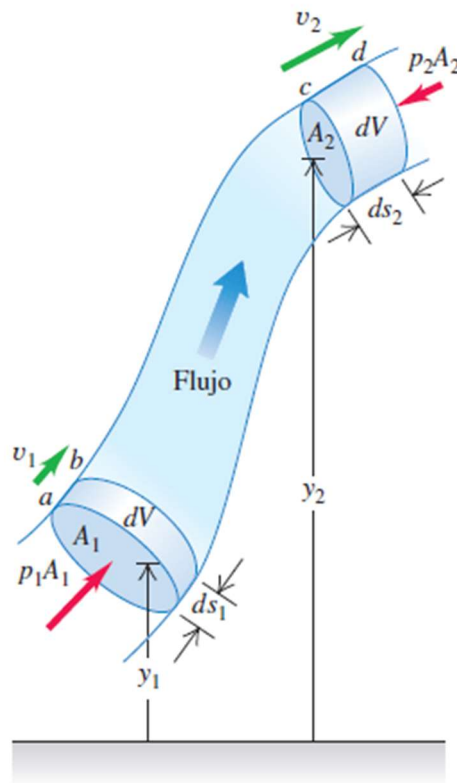


Figura 1.3 Volumen de Control para Deducción de Ecuación de Bernoulli

Fuente: Física Universitaria, Sears y Zemansky, Young y Freedman, 2013 [12]

A continuación, se detalla la Ecuación de Energía considerando pérdidas por fricción (Ecuación de Bernoulli):

$$E1 = E2$$

$$Y_1 + \frac{P1}{\gamma} + \alpha1 \frac{V_1^2}{2g} = Y_2 + \frac{P2}{\gamma} + \alpha2 \frac{V_2^2}{2g} + \sum hr$$

Ecuación 1.8 Ecuación de Bernoulli, considerando pérdidas por fricción.

$$\sum hr = \begin{cases} \text{Perdidas por fricción } h_f \\ + \\ \text{Perdidas locales } h_{LOC} \end{cases}$$

Donde,

E1, E2: Energía en los puntos 1 y 2.

Y1, Y2: cota topográfica (m)

α_1, α_2 : Coeficiente de Coriolis, constante igual a 1, debido a que se considera distribución uniforme de velocidades.

V1, V2: velocidad en el punto 1 y 2 (m/s)

$\frac{V^2}{2g}$: carga de velocidad (m)

g: gravedad (m/s²)

$\frac{P_1}{\gamma}$: altura de presión (m)

P1, P2: presión en el punto 1 y 2

$\sum hr$: Sumatoria de Pérdidas Totales

1.4.5 Flujo de fluidos en tuberías

El flujo de un fluido se puede determinar a través de 3 cantidades físicas: desplazamiento, velocidad y aceleración. El flujo de los fluidos puede variar o permanecer constante dependiendo del espacio y/o tiempo. [8]

De acuerdo con el espacio se clasifica en:

- Uniformes: las cantidades físicas se mantienen constantes en el espacio.
- No uniformes: las cantidades físicas no se mantienen constantes en el espacio.

De acuerdo con el tiempo se clasifica en:

- Permanentes o estacionarios: las cantidades físicas se mantienen constantes con el tiempo.
- No permanentes: las cantidades físicas no se mantienen constantes con el tiempo

Los cuatro flujos mencionados anteriormente se combinan de la siguiente manera:

- Flujo uniforme Permanente: la presión y la velocidad no cambian en el espacio y/o tiempo
- Flujo uniforme no Permanente: las características físicas varían con el tiempo, pero no en el espacio.

- Flujo variado Permanente: las características físicas no varían con el tiempo, pero si con el espacio.
 - o Gradualmente Variado: los cambios de presión y velocidad del flujo son graduales.
 - o Rápidamente variado: los cambios de presión y velocidad cambian bruscamente.
- Flujo variado no Permanente: las características del flujo cambian en el espacio y tiempo.

1.4.5.1 Flujo uniforme en tuberías

En las tuberías el flujo suele presentarse de manera uniforme y permanente, es decir las características de velocidad y presión en la tubería no varían en el espacio y el tiempo. Para su análisis se debe asumir que existe un equilibrio de fuerzas.

En las tuberías actúan fuerzas de fricción, presión y gravitacionales. Las fuerzas de presión aceleran el flujo. Las fuerzas gravitacionales aceleran el flujo a través de la gravedad, es decir si este se transporta desde una parte alta a una baja y de frenarlo si es el caso contrario. Y finalmente las fuerzas de fricción retardan el flujo. [8]

1.4.5.2 Experimento de Reynolds

Osborne Reynolds, de la Universidad de Cambridge, Inglaterra entre el año 1880 y 1884, plantea y describe los tipos de flujos, a través de la elaboración de un aparato cuyo esquema se detalla en la **Figura 1.4** utilizando diferentes tuberías de vidrio de varios diámetros conectadas a un tanque grande de agua, el cual debía garantizar que el flujo en la tubería sea permanente. Además, en el centro de la tubería se colocó un suministro de trazador con el fin de observar el comportamiento del flujo. [8]

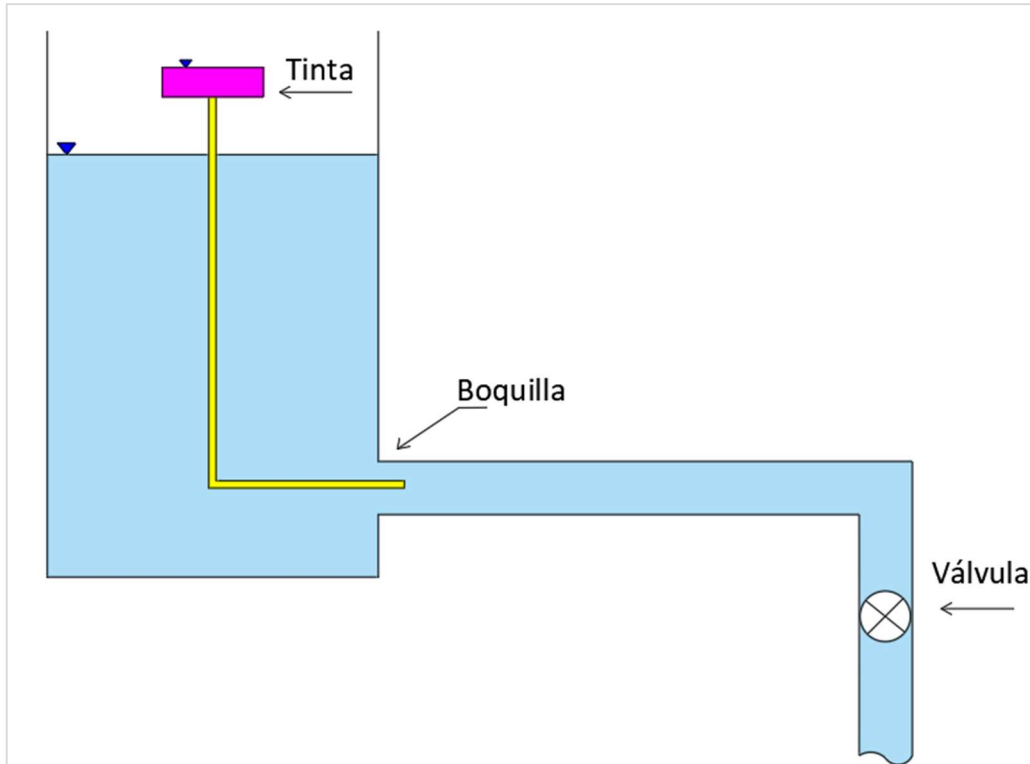


Figura 1.4 Esquema del aparato utilizado por Reynolds

Fuente: Hidráulica de Tuberías, Juan Saldarriaga (2007)

Elaborado por: Gabriela Narváez

Una vez abierta la válvula se puede observar los siguientes comportamientos **Figura 1.5:**

- a. **Caudales bajos:** El trazador no se mezcla, mantiene un filamento uniforme.
- b. **Caudales intermedios:** El comportamiento del trazador es inestable, se observa ondulaciones en el filamento de este.
- c. **Caudales altos:** El trazador se mezcla completamente con el agua.
- d. **Caudales más altos:** El trazador se mezcla completamente con el agua en un punto cercano a la entrada.

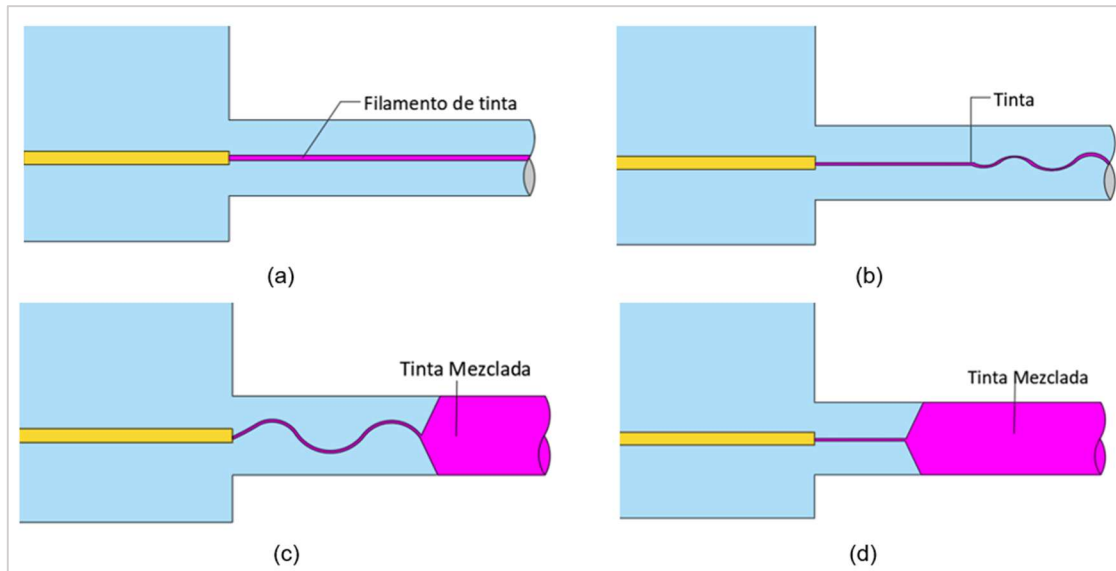


Figura 1.5 Resultados del Experimento de Reynolds

Fuente: Hidráulica de Tuberías, Juan Saldarriaga (2007)

Elaborado por: Gabriela Narváez

1.4.5.3 Definición de fuerzas de Inercia

Las fuerzas de inercia son igual a la masa por la aceleración. [8] . Son aquellas que frenan el desplazamiento del fluido. [11]

$$Fuerzas_{inercia} = m \cdot a = m \left(\frac{dv}{dt} \right) = m \left(V \frac{dv}{ds} \right) = \rho V' \left(\frac{V^2}{L} \right) = \rho L^3 \left(\frac{V^2}{L} \right) = \rho L^2 V^2$$

Ecuación 1.9 Fuerzas de Inercia

Donde,

$Fuerzas_{inercia}$: Fuerzas de inercia (kg m/s²)

m: masa (kg)

L: Longitud (m)

ρ : densidad del fluido (kg/m³ ó Ns²/m⁴)

$a = \left(\frac{dv}{dt} \right)$: variación de la velocidad con respecto al tiempo (aceleración)

$V = \left(\frac{ds}{dt} \right)$: variación de la posición con respecto al tiempo (velocidad media)

$\left(\frac{dv}{ds}\right)$: variación de la velocidad con respecto a la posición.

V' : Volumen (m^3)

1.4.5.4 Definición de fuerzas Viscosas

Las fuerzas viscosas entre los tubos impiden el deslizamiento del fluido, de tal manera que si requiere mantener el flujo, se debe aplicar presión. [12]

“Las fuerzas viscosas son iguales al producto entre el esfuerzo cortante y el área que actúa”:

$$Fuerzas\ Viscosas = \tau \cdot A = u \left(\frac{dV}{dy}\right) A = u \left(\frac{V}{L}\right) L^2 = u V L$$

Ecuación 1.10 Fuerzas Viscosas

Donde:

τ : Tensión o esfuerzo cortante o tangencial

A: Área

L: Longitud

V: velocidad media (m/s^2)

D: diámetro de la tubería

u: viscosidad absoluta

$\left(\frac{dV}{dy}\right)$: velocidad de variación de la deformación unitaria cortante (gradiente de velocidad)

1.4.5.5 Número de Reynolds (Re)

El número de Reynolds es un número adimensional, que describe el comportamiento de los fluidos, y es la relación entre fuerzas de inercia y las fuerzas debidas a la viscosidad. [6]

Reemplazando la **Ecuación 1.9** y **Ecuación 1.10**, se obtiene la **Ecuación 1.11** para determinar el número de Reynolds en tuberías circulares, en flujo a tubería llena:

$$Re = \frac{Fuerzas\ Inercia}{Fuerzas\ viscosas} = \frac{\rho L^2 V^2}{u V L} = \frac{\rho V L}{u} = \frac{V \cdot L}{v} = \frac{V \cdot D}{v}$$

Ecuación 1.11 Número de Reynolds

Donde:

Re: Número de Reynolds

V: velocidad media (m/s)

D: diámetro de la tubería (m),

ρ : densidad del fluido (kg/m³)

μ : viscosidad absoluta (kg s/m² ó Ns/m²)

ν : viscosidad cinemática del flujo (m²/s)

1.4.5.6 Tipos de Flujo

Osborne Reynolds a través del número de Reynolds determina los tipos de flujos como se indica en la **Figura 1.6**:

- a. Flujo Laminar
- b. Flujo Turbulento
- c. Flujo en Transición

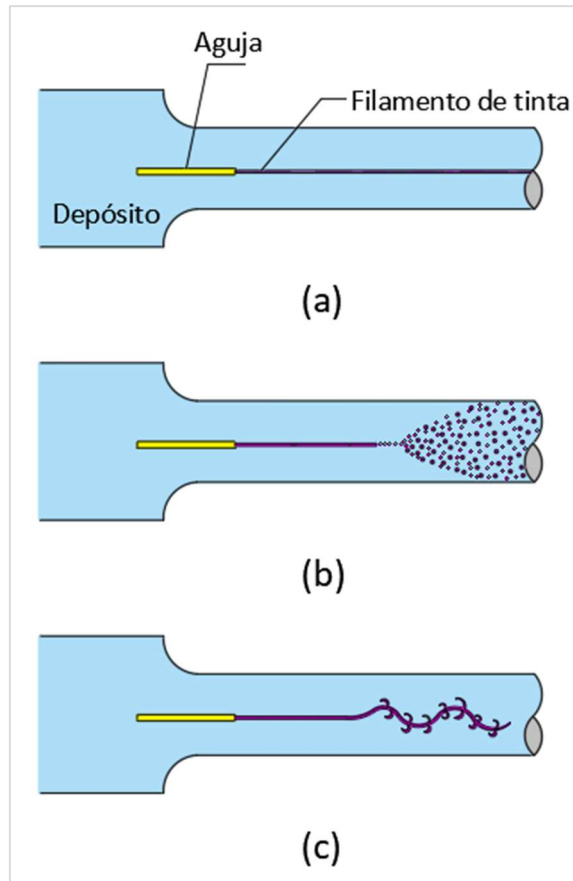


Figura 1.6 Esquema de Reynolds sobre la transición en Tubos

Fuente: Mecánica de Fluidos, Frank White (2003)

Elaborado por: Gabriela Narváez

A continuación, en la **Tabla 1.3** se indica los valores críticos de Reynolds:

Tabla 1.3 Valores críticos de Reynolds para Flujo en Tuberías

Flujo Laminar	$Re \leq 2000$
Flujo en Transición	$2000 < Re \leq 4000$
Flujo Turbulento	$Re > 4000$

Fuente: Mecánica de Fluidos, Frank White (2003)

Elaborado por: Gabriela Narváez

- Flujo Laminar

El flujo laminar es un tipo de movimiento de un fluido de forma ordenada, es decir sus partículas se mueven formando láminas paralelas suaves y definidas en el mismo sentido

y dirección del fluido. Este flujo se da debido a que las fuerzas viscosas son más resistentes que las fuerzas inerciales. [13]

- Flujo Turbulento

El flujo turbulento se da debido a que las partículas del fluido se mueven de forma irregular, sin establecer un orden. “Las fuerzas viscosas son débiles comparadas con las fuerzas de inercia”. [6]

- Flujo en Transición

El flujo en transición ocurre cuando la línea del fluido pierde estabilidad formado pequeñas ondulaciones variables en el tiempo. [5]

1.4.6 Pérdidas de Energía

Las pérdidas de energía son importantes al analizar el flujo en tuberías, ya que son estructuras largas. Estas pérdidas pueden ser: pérdidas mayores y pérdidas menores, la sumatoria de estas dos da como resultado las pérdidas totales.

1.4.6.1 Pérdidas Mayores h_f

Las pérdidas mayores o pérdidas por fricción se determinan usualmente a través de la Ecuación de Darcy-Weisbach o de la ecuación de Hazen-Williams las cuales se detallan a continuación. [14]

1.4.6.1.1 Ecuación de Darcy Weisbach

La ecuación de Darcy - Weisbach es una ecuación comúnmente aplicada en hidráulica, ya que a través de esta se calcula las pérdidas por fricción considerando el tipo de fluido, velocidad, diámetro y material de la tubería. Esta ecuación se aplica para cualquier tipo de tubo y flujo en conductos circulares a presión. [15]

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

Ecuación 1.12 Pérdidas Mayores-Ecuación de Darcy-Weisbach

Donde:

h_f : pérdida por fricción para tuberías (m)

f = factor de fricción

L= longitud de la tubería (m)

d_o= diámetro de la tubería (m)

V=velocidad del flujo (m/s)

g= gravedad (m/s²)

1.4.6.1.2 Ecuación de Hazen-Williams

La ecuación de Hazen-Williams es aplicable solo cuando se tiene velocidades menores a 4 m/s, diámetros de tubería superiores o iguales a 2" y numero de Reynolds altos. [15]

$$H = 10.67 L Q^{1.852} C^{-1.852} D^{-4.867}$$

Ecuación 1.13 Pérdidas Mayores-Ecuación de Hazen -Williams

Donde:

H: pérdida por fricción para tuberías en, m

L= longitud de la tubería (m)

Q= caudal (m³/s)

D=diámetro interno tubería en, m

C=coeficiente de Hazen-Williams para fricción

1.4.6.1.3 Factor de fricción f

El factor de fricción es un valor adimensional que depende del diámetro de la tubería, la rugosidad del material y el tipo de flujo (número de Reynolds). A continuación, se presentan algunas ecuaciones para el cálculo del factor de fricción cuyo valor se puede reemplazar en la ecuación de Darcy-Weisbach

a) Para flujo laminar y tubos lisos

$$f = \frac{64}{Re}$$

Ecuación 1.14 Factor de fricción f para Flujo Laminar-Poiseuille

Donde,

f: factor de fricción

Re: Numero de Reynolds, es aplicable para Re < 2 000. (**Ecuación 1.11**)

b) Para flujo turbulento

Para tuberías lisas y rugosas, la **ecuación de Colebrook** es considerada por el Hydraulic Institute de los Estados Unidos, como la más aceptable para calcular f:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3.7 d} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$$

Ecuación 1.15 Factor de fricción f para Flujo Turbulento. Ecuación de Colebrook.

Donde,

f: factor de fricción

$\frac{\varepsilon}{d}$: Rugosidad relativa

Re: Numero de Reynolds, cuyo valor práctico mínimo es de 4 000, para que el flujo sea turbulento. (**Ecuación 1.11**)

La rugosidad relativa la relación entre la rugosidad absoluta y el diámetro de la tubería:

$$Rugosidad\ relativa = \frac{\varepsilon}{d}$$

Ecuación 1.16 Rugosidad Relativa

Donde,

ε : Rugosidad Absoluta

d: diámetro de tubería

La resolución de la ecuación de Colebrook es imposible resolver analíticamente, sin embargo, se la puede solucionar de forma aproximada a través de métodos numéricos. Además, para su resolución también se dispone de diagramas, como el diagrama de Moody, que relacionan el coeficiente de fricción f, el número de Reynolds Re y la rugosidad relativa.

- Diagrama de Moody

El diagrama de Moody es una representación gráfica en escala logarítmica doble, elaborada por Lewis Ferry Moody, utilizada para resolver problemas sobre flujos con fricción en conductos circulares, no circulares o canales abiertos, ya que

relaciona el factor de fricción en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa de una tubería.

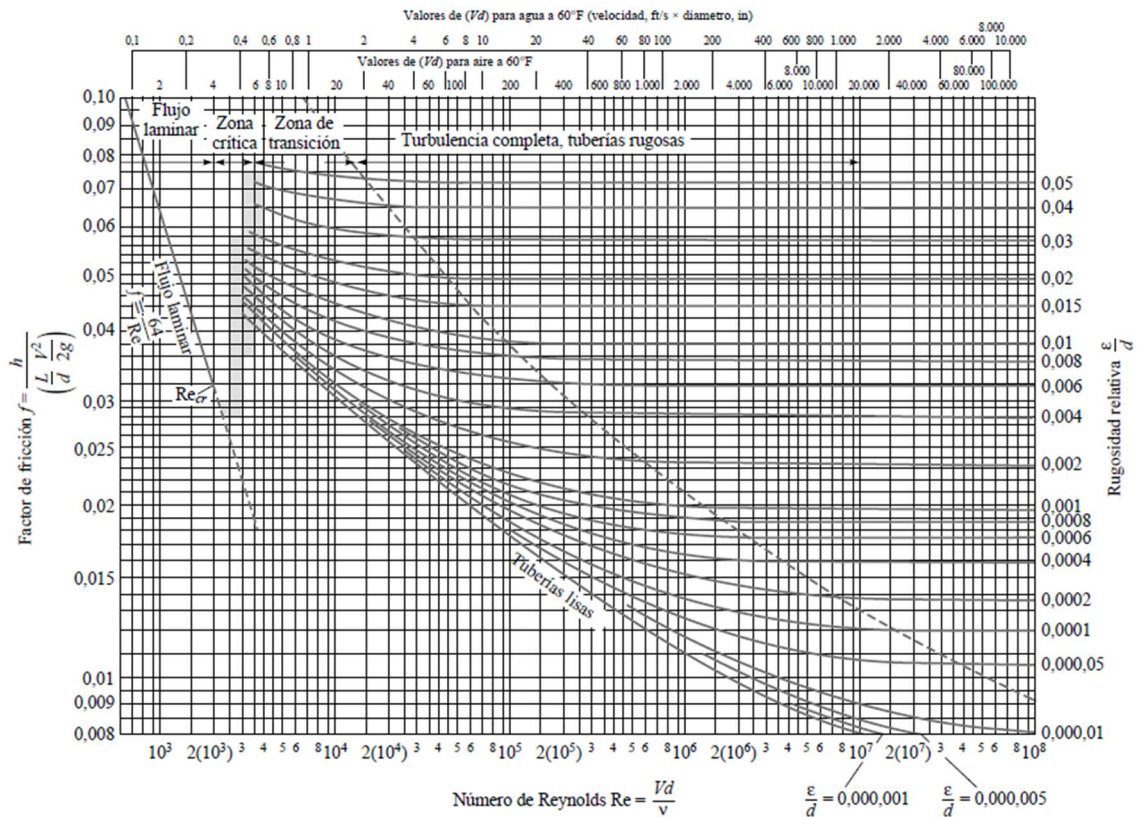


Figura 1.7 Diagrama de Moody.

Fuente: Mecánica de Fluidos, Frank M. White (2003)

La **Tabla 1.4** presenta valores de rugosidad absoluta recomendados en la Norma de Diseño de Agua Potable-EMAAP [15] :

Tabla 1.4 Coeficientes de Rugosidad Absoluta.

Clase de Tubería y Revestimiento Interno	ϵ [mm]	
	Factibilidad líneas expresas (1)	Diseño detallado líneas expresas (2)
PVC	0.120	0.060
Polietileno de alta densidad	0.120	0.060
GRP (Fibra de vidrio)	0.120	0.060
Acero con revestimiento interno de coaltar, enamel o epoxi	0.120	0.060
CCP (Concrete cylinder pipe)	0.240	0.120
Hierro dúctil y acero con revestimiento interno en mortero de cemento.	0.240	0.120

Referencia: Norma RAS-2000, Título B. República de Colombia.

Notas:

(1) En los estudios de factibilidad, las rugosidades propuestas incluyen provisión para las pérdidas locales y en consecuencia no se incluyen por separado.

(2) En los diseños definitivos, las rugosidades consideradas son para el cálculo de pérdidas por fricción únicamente. Las pérdidas locales se calculan separadamente.

Polietileno: Corresponde a polietileno de alta densidad, que es el único aceptado en sistemas de agua potable a presión

GRP: Glass Reinforced Pipe, Tubería de Fibra de vidrio

CCP: (Concrete Cylinder Pipe), Tubería de concreto con cilindro de acero.

Elaborado por: Gabriela Narváez

Se puede encontrar más tablas de rugosidad absoluta propuestas por varios autores en el **ANEXO I**

- Aproximación Explícita del factor de fricción

Otro de los métodos para calcular el factor de fricción f de forma aproximada y de manera directa sin iteraciones, es con la ecuación de Swamee [16] propuesta en 1976:

$$f = \frac{0.25}{\left(\log_{10} \left(\frac{\varepsilon/d}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right)\right)^2}$$

Ecuación 1.17 Factor de fricción f . Ecuación de Swamme

Donde,

f : factor de fricción

$\frac{\varepsilon}{d}$: *Rugosidad relativa* (**Ecuación 1.18**)

Re : Numero de Reynolds (**Ecuación 1.11**)

Esta ecuación tiene un error de aproximación menor al 1%, sin embargo, cuando se desea una mayor exactitud la estimación de f con la ecuación de Swamme puede ser usada como aproximación inicial para una resolución iterativa de la ecuación de Colebrook-White. [16]

1.4.6.2 Pérdidas Menores h_{Loc}

Las pérdidas menores también conocidas como pérdidas por accesorios o pérdidas locales son aquellas que se generan debido a [5]:

- Entrada o salida de tuberías
- Ensanchamientos o contracciones bruscas o graduales
- Curvas y accesorios como: codos, tes
- Válvulas abiertas o parcialmente abiertas

Las pérdidas menores se calculan con la siguiente ecuación:

$$h_{Loc} = K \frac{V^2}{2g}$$

Ecuación 1.19 Pérdidas Menores

donde,

h_{Loc} : Pérdidas menores o locales (m)

K : coeficiente de pérdidas menores.

V =velocidad del flujo aguas abajo del accesorio, (m/s)

g = gravedad en, m/s²

A continuación, en la **Tabla 1.5**, se resumen principales valores de coeficiente K , de acuerdo al tipo de perturbación, consultados en varios libros [11]:

Tabla 1.5 Coeficiente de pérdidas menores K de acuerdo al tipo de perdida

Tipo de Perdida	Detalle	K
Pérdida por entrada	Bordes agudos	0.5
	Bordes ligeramente redondeados	0.26
	Bordes acampanados	0.04 a 1
	Bordes entrantes	1
Pérdida por cambio de dirección	Codo de 90° radio corto	0.9
	Codo de 45	0.4 a 0.42
Pérdida por accesorio	Unión	0.30
Pérdida por válvulas	Válvula de globo	10
	Válvula de compuerta	0,19
	Válvula Check	2,5

Fuente: Hidráulica General-Volumen 1. G. Sotelo [11],

Mecánica de Fluidos e Hidráulica, Ranald Giles, Jack Evett, Cheng Liu [6],

Mecánica de Fluidos, Frank M. White (2003) [5]

Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento. Libro 10: Conducciones [17]

Elaborado por: Gabriela Narvárez

Otros valores de coeficiente K para pérdidas menores se puede encontrar en el **ANEXO II**

1.4.7 Medición de caudal: Aforo volumétrico

Una de las formas para conocer el caudal que pasa por una sección determinada es la medición del tiempo que se tarda en llenar un recipiente. [18] Para determinar el caudal mediante aforo volumétrico, se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{V' (l)}{t (s)}$$

Ecuación 1.20 Caudal (aforo volumétrico)

Donde:

Q: Caudal (l/s)

V': volumen (l)

t: tiempo (s)

Pasos para un aforo volumétrico:

- Colocar un recipiente en la salida del flujo constante de la tubería y tomar el tiempo con ayuda de un cronómetro.
- Detener el cronómetro cuando el recipiente esté lleno.
- Como resultado se obtiene el volumen de llenado durante un tiempo determinado. Se puede realizar varias mediciones para comprobar los resultados.

1.4.8 Estado del Arte

De acuerdo con la bibliografía consultada acerca del experimento de Reynolds, se encontraron varias tesis cuyo tema principal es la construcción de equipos para observar y analizar los tipos de flujos a través del cálculo del número de Reynolds.

A continuación, en la **Tabla 1.6** se resume la bibliografía encontrada acerca del diseño y construcción de equipos para el experimento de Reynolds, en la cual se detalla el título del proyecto, el objetivo, su autor y la universidad en donde se encuentra el equipo.

Tabla 1.6 Tesis Encontradas acerca del Diseño y Construcción de Equipos para Experimento de Reynolds

N.º	UNIVERSIDAD	AUTOR	TITULO DEL PROYECTO	OBJETIVO
1	UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR	“Changoluisa Analuisa Gabriela Elizabeth”	“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DE LABORATORIO PARA LA DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE REYNOLDS” [19]	“Replicar los ensayos de Reynolds mediante un equipo hidráulico que permita observar y determinar los tipos de flujos.” [19]
2	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL (UTE)	“Fernando Roberto Rivera Martínez Anderson German Mantilla Burbano”	“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PARA DETERMINAR EL NÚMERO DE REYNOLDS “ [20]	“Diseñar y construir un equipo para determinar el número de Reynolds” [20]
3	UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA	“Marco Julio Avellaneda Piñeros”	“IMPLEMENTACIÓN DEL MONTAJE EXPERIMENTAL PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO DE UN FLUJO MEDIANTE EL EXPERIMENTO DE REYNOLDS” [21]	“Diseñar e implementar un montaje experimental, basado en el experimento realizado por Osborne Reynolds en 1883, orientado en los cambios y propiedades de un flujo de agua.” [21]
4	UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA	“Adriana Milena Calderón Ramírez Gerderson Nain Vargas Pidiache Yeisson Javier Morales Gutiérrez”	“EXPERIMENTO DE REYNOLDS (CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO)” [22]	“Diseñar y construir el modelo del prototipo de Reynolds a escala para efectuar el procedimiento de identificación de flujos.” [22]

Elaborado por: Gabriela Narváez

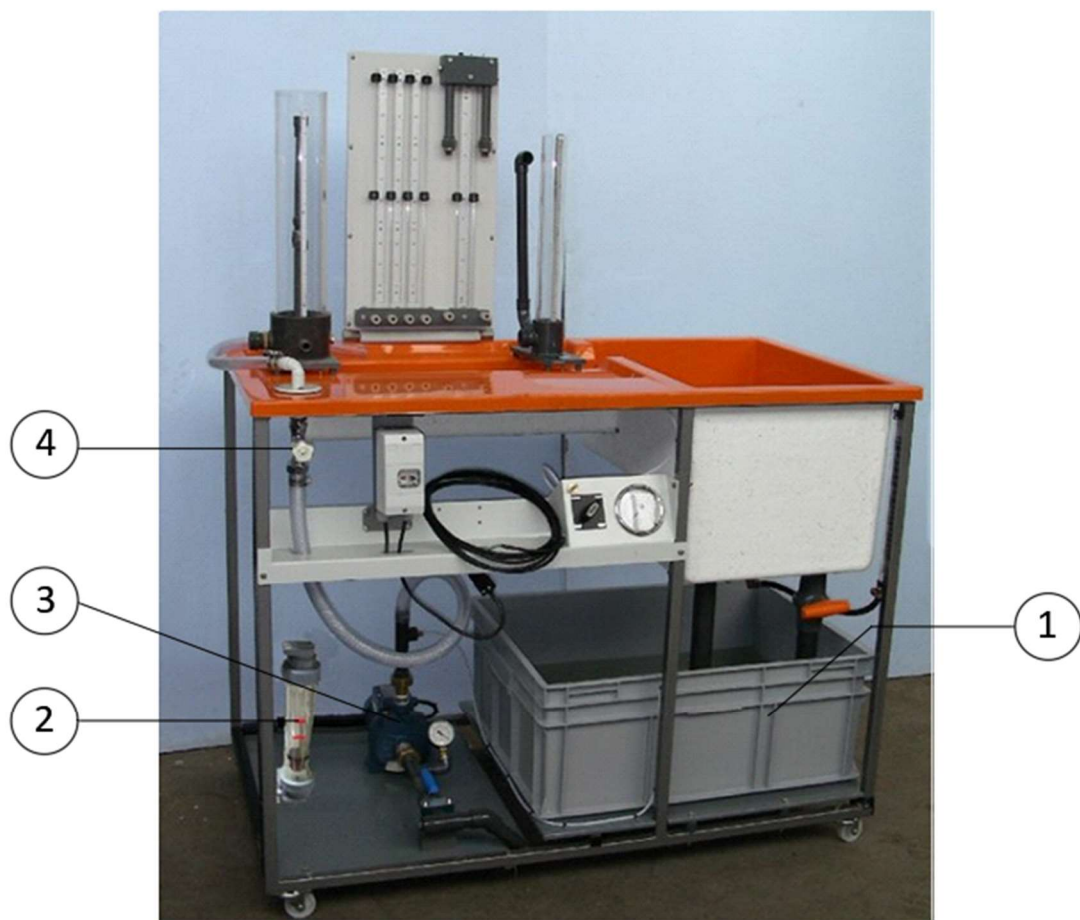
1.4.9 Banco Hidráulico

El banco hidráulico es un equipo, conformado por varios accesorios, se utiliza para estudiar el comportamiento de los fluidos, la teoría hidráulica y las propiedades de los fluidos.

Presenta un sistema de circuito cerrado, es decir, el fluido que circula es constantemente retroalimentado por acción de una bomba. [23]

1.4.9.1 Banco Hidráulico P6100

El banco hidráulico P6100 disponible en el Laboratorio Docente de hidráulica de la Escuela Politécnica Nacional provee los servicios básicos para el bombeo y medición volumétrica del suministro de agua, además tiene una capacidad de depósito central de 120 litros. A continuación, se mencionan las partes del banco hidráulico que serán utilizadas al momento de adaptar el accesorio propuesto en este proyecto:



1	MÓDULO CABINA DE DEPÓSITO CENTRAL	3	BOMBA
2	ROTÁMETRO	4	VÁLVULA REGULADORA DE FLUJO

Figura 1.8 Banco Hidráulico del Laboratorio Docente de Hidráulica de la EPN.

Fuente: Manual Banco Hidráulico. Cussons Tenchnology.

Elaborado por: Gabriela Narvárez

1) Módulo cabina de depósito central

Tanque de almacenamiento, cuya función principal es abastecer de agua al banco hidráulico.

2) Rotámetro

El rotámetro es un medidor de flujo montado entre la impulsión de la bomba y la válvula reguladora de flujo, proporciona una lectura directa del caudal obtenido de la bomba o bombas. Según el manual del Banco Hidráulico P6100, el rotámetro puede medir caudales desde 0,4 hasta 4 m³/h. [24]

3) Bomba

La bomba es una máquina que permite incrementar la capacidad de caudal al sistema cuando sea necesario. Tiene una velocidad variable de hasta 42 litros/min (2.52 m³/h) [24]

4) Válvula reguladora de flujo

Válvula que permite controlar el caudal que pasa por el sistema, a través del rotámetro.

5) Convertidor de frecuencia

Sistema que se encuentra entre la fuente de alimentación eléctrica y los motores eléctricos. Su función es regular la velocidad de giro de los motores de corriente alterna. [25]

Rango de frecuencia: 1800 -5400 revoluciones.



Figura 1.9 Convertidor de Frecuencia-Commander SK

2. METODOLOGÍA

En este capítulo se describe el procedimiento que se siguió para el diseño y construcción del accesorio adaptable al Banco Hidráulico, selección del material y dimensionamiento del equipo.

2.1 Descripción del accesorio

El accesorio propuesto cumple con el propósito de ser utilizado por los estudiantes como ayuda didáctica en el Laboratorio Docente de Hidráulica. Este accesorio se adapta al Banco Hidráulico mencionado en el apartado **1.4.9.1** y permite observar el comportamiento del flujo laminar y turbulento con el fin de que puedan relacionar los conocimientos teóricos con la práctica.

El esquema del accesorio se presenta en la **Figura 2.1**, el cual está conformado por:

- 1) Conexión entrada de Agua
- 2) Tanque de carga
- 3) Conducto de agua
- 4) Sistema de tinta o suministro de trazador
- 5) Tanque para descarga
- 6) Desagüe
- 7) Estructura de soporte (Mesa)

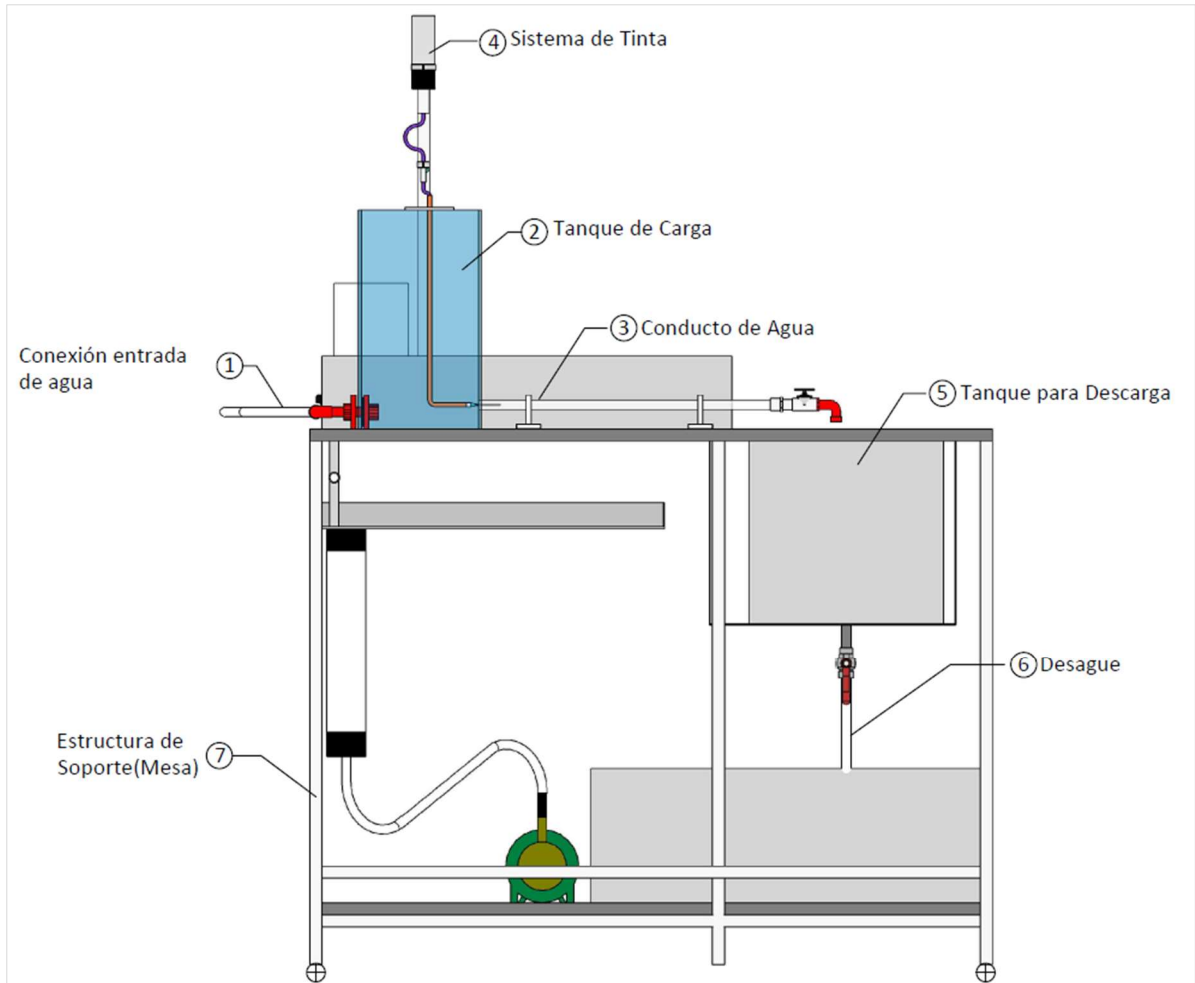


Figura 2.1 Esquema Accesorio

Elaborado por: Gabriela Narváez

2.1.1 Conexión entrada de agua

Consiste en la conducción del agua desde el rotámetro hasta el tanque de carga.

La salida de agua del rotámetro es de $\frac{3}{4}$ " por lo que, para la conexión se usara accesorios de $\frac{3}{4}$ " los cuales se detallan a continuación: manguera, conector "Y" (conformado por: 2 válvulas, unión de bronce, abrazadera, adaptador para manguera), universal, neplo roscable, codo a 90°, adaptador para tanque.

Se puede observar los accesorios utilizados en el **ANEXO I**

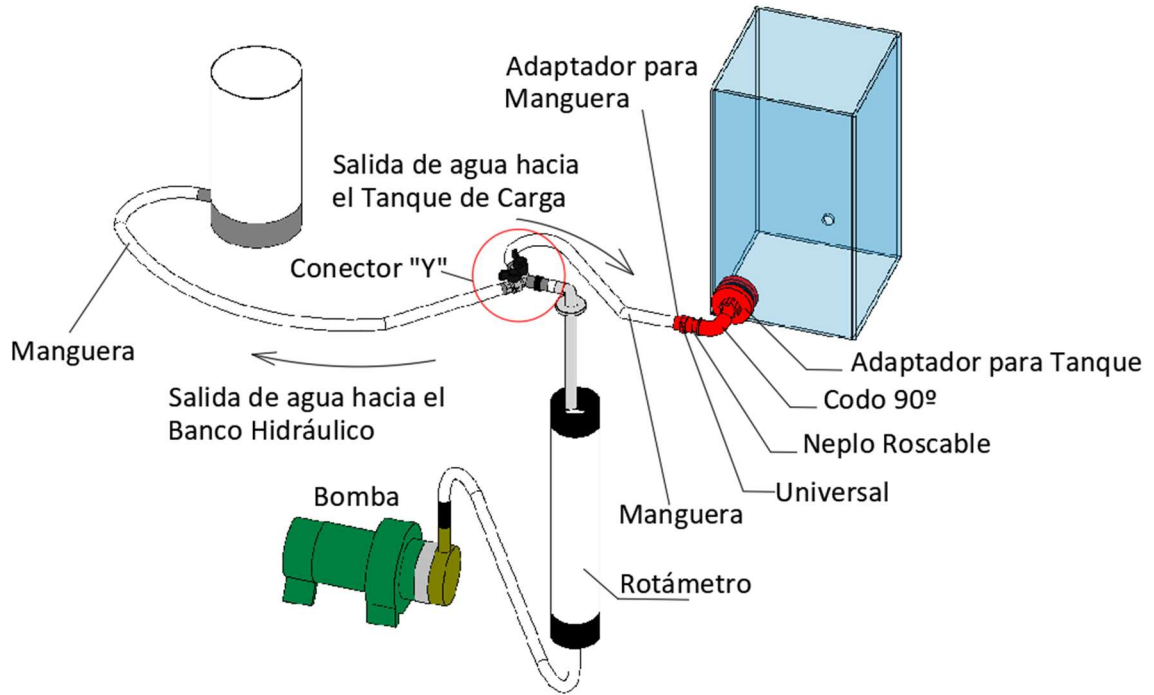


Figura 2.2 Conexión Entrada de Agua

Elaborado por: Gabriela Narváez

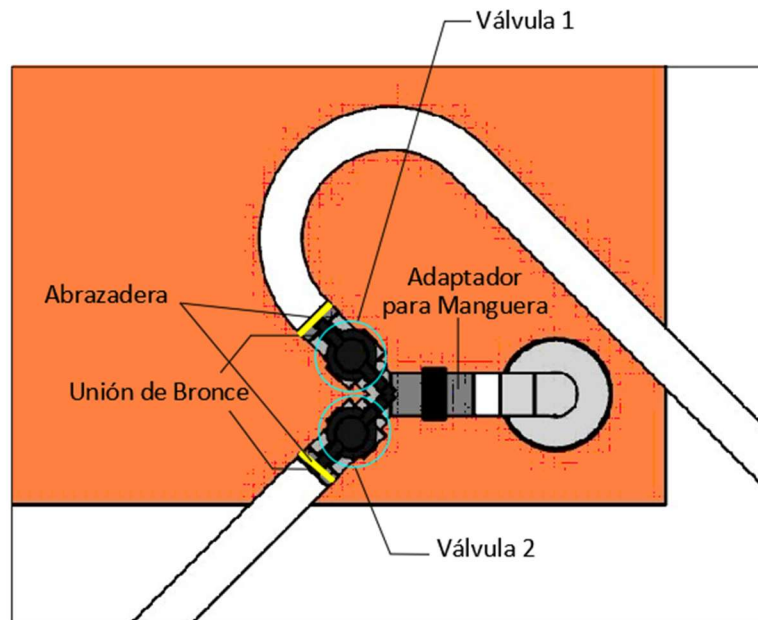


Figura 2.3 Conector "Y"

Elaborado por: Gabriela Narváez

2.1.2 Tanque de carga

El tanque de carga cumple la función de mantener la columna de agua a nivel constante con el fin de mantener el caudal necesario durante la práctica. El tanque de carga presenta dos orificios:

- Orificio 1: ubicado en la parte frontal del tanque de carga. Aquí se coloca la tubería de salida (conducto de agua).
- Orificio 2: ubicado en la parte posterior izquierda del tanque de carga. A través de este orificio se abastece de agua al tanque de carga.

La construcción del tanque se realizó con acrílico, el cual es un material termoplástico considerado como el mejor plástico transparente y durable del mercado. Tiene una transparencia superior a la del vidrio, no se opaca con el tiempo y es usado en cubiertas, publicidad, decoración, etc. [21]

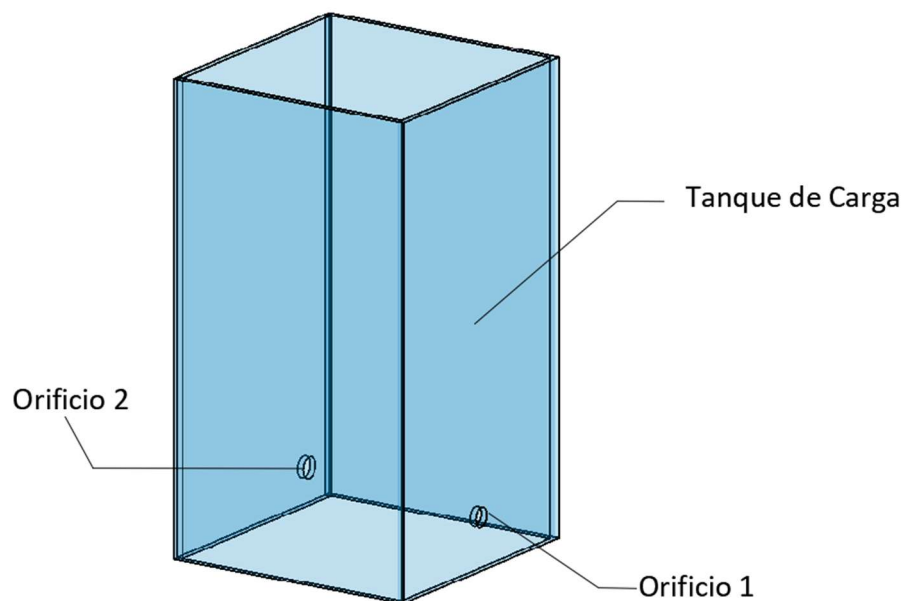


Figura 2.4 Tanque de Carga

Elaborado por: Gabriela Narváez

2.1.3 Conducto de agua

La función del conducto de agua es transportar el agua a través de la tubería para observar los diferentes tipos de flujos (teoría de Reynolds apartado 1.4.5.2). El conducto de agua

está conformado por una tubería, una unión, una válvula de compuerta, una unión y un codo.

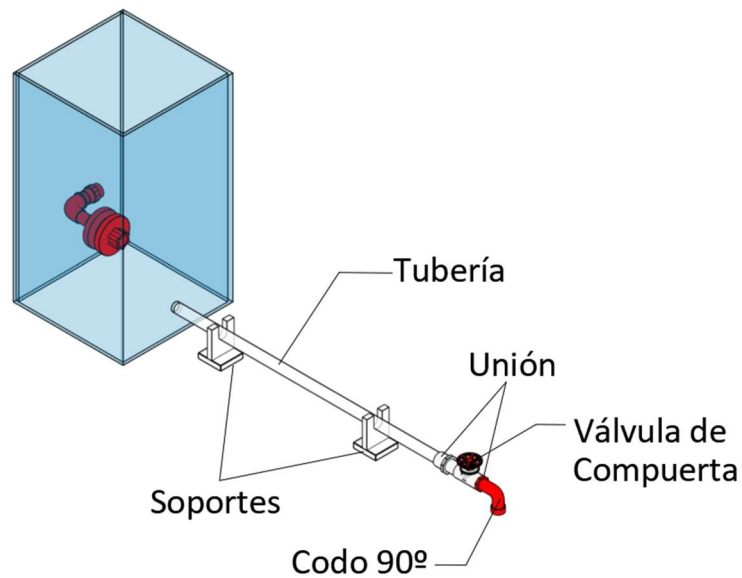


Figura 2.5 Conducto de Agua

Elaborado por: Gabriela Narváez

2.1.4 Sistema de tinta o suministro de trazador

Conformado por un recipiente, una manguera de suero con su llave reguladora, un soporte de madera, una tubería de cobre, un dispositivo de punción + aguja. Su función es conducir el trazador (permanganato de potasio) desde el recipiente hasta el centro del conducto de agua con el fin de observar el tipo de flujo que circula.

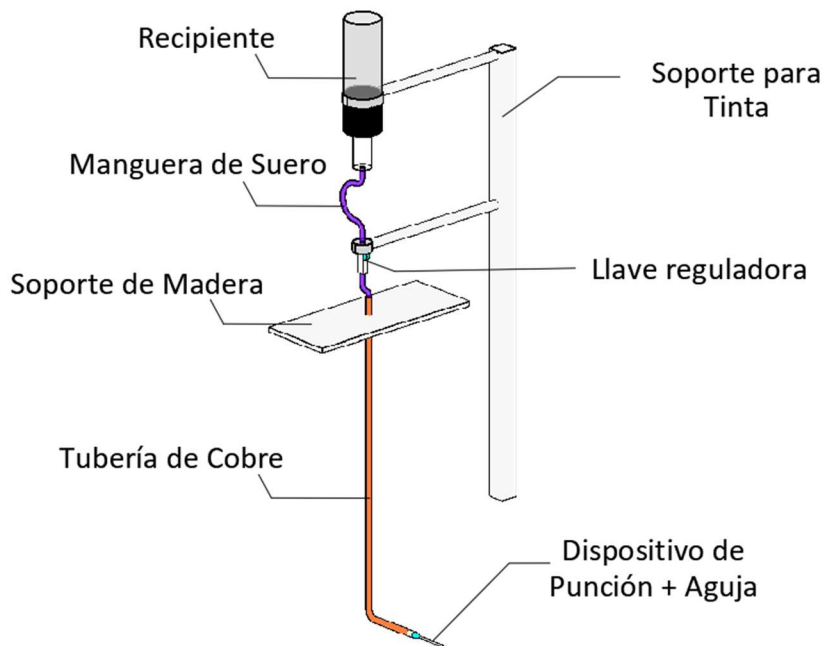


Figura 2.6 Sistema de Tinta o suministro de Trazador

Elaborado por: Gabriela Narváez

2.1.5 Tanque para descarga

El tanque para descarga es utilizado para recibir el agua mientras se prepara el accesorio para tomar medidas. Aquí se realiza aforo volumétrico con ayuda de un vaso de precipitación. Además, permite almacenar el agua con tinta para luego desecharla. Tiene un orificio de 1/2" en la parte inferior central que sirve como desagüe.

El tanque de descarga está fabricado en acero inoxidable, ya que estará en contacto frecuente con agua. El acero inoxidable es un metal cuya principal característica es la resistencia a la corrosión y a la oxidación, resiste altas temperaturas y humedad. [26]

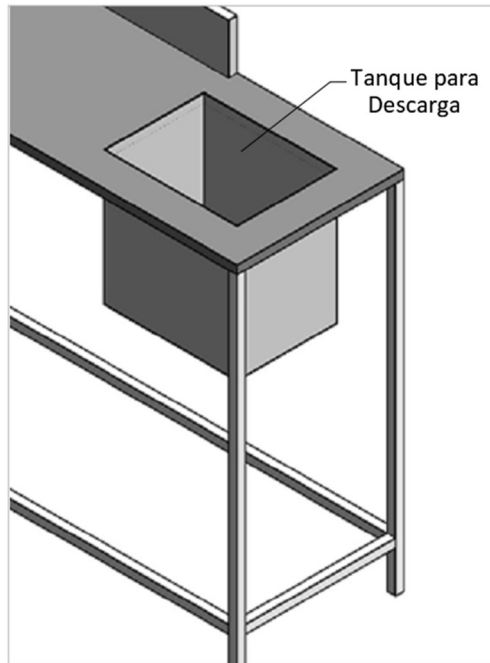


Figura 2.7 Tanque para descarga

Elaborado por: Gabriela Narváez

2.1.6 Desagüe

El desagüe cumple la función de vaciar el tanque al finalizar la práctica. Además, mientras se calibra el accesorio, permite la recirculación del agua. El desagüe estará conformado por un neplo de hierro galvanizado, una válvula esférica, un adaptador para manguera y una manguera.

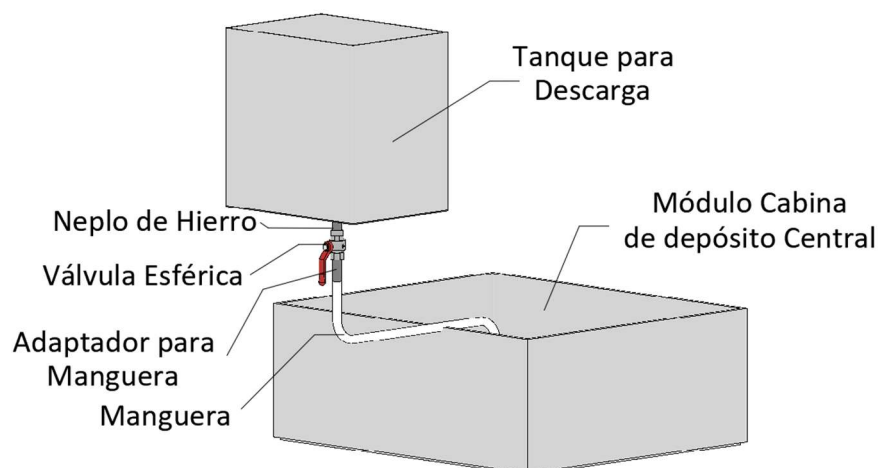


Figura 2.8 Desagüe

Elaborado por: Gabriela Narváez

2.1.7 Estructura de soporte (mesa)

Con el fin de que el accesorio se encuentre a una altura adecuada para observar el flujo, se construyó una mesa de hierro sobre la cual se apoya el accesorio. Sus dimensiones son: 1.40m x 0.50m x 1.10m.

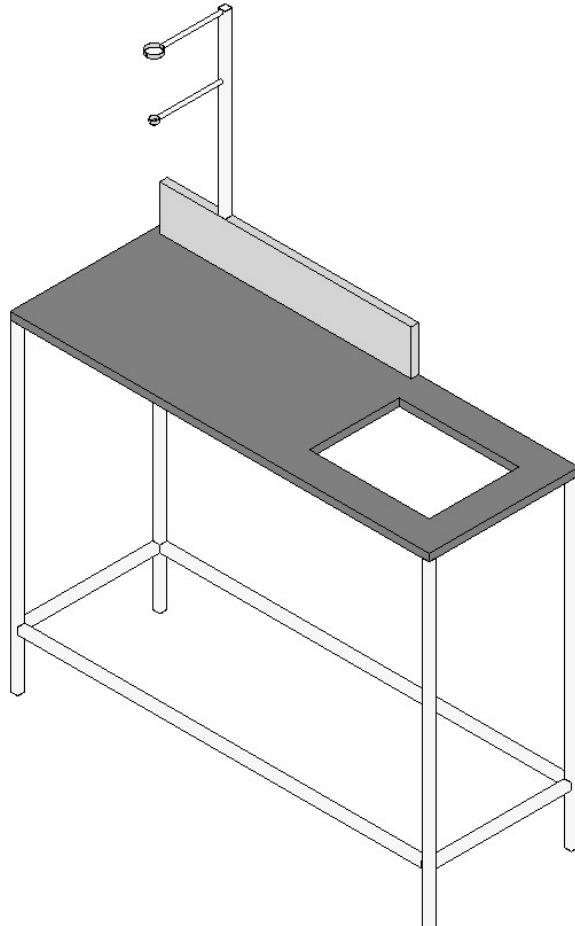


Figura 2.9 Estructura de Soporte (mesa)

Elaborado por: Gabriela Narvárez

2.2 Diseño accesorio experimento de Reynolds

2.2.1 Caudales, diámetros, tipos de flujo

Según el manual del Banco Hidráulico P6100, mencionado en la sección **1.4.9.1**, el caudal máximo que proporciona la bomba es de 42 l/min (2.52 m³/h), y el rango de lectura de caudales que proporciona el rotámetro es de 0,4 m³/h a 4 m³/h, por lo que se propone realizar un análisis de tipos de flujo con un rango de caudales de 0.4 m³/h a 2.52 m³/h y con varios diámetros propuestos (3/4", 1" y 4").

La **Tabla 2.1**, **Tabla 2.2** y **Tabla 2.3** contienen la siguiente información:

- Columna 1 y 2 contiene el caudal en m³/h y m³/s
 - Columna 3 y 4 contiene el diámetro interno de la tubería en mm y m
 - La columna 5 contiene el área de la sección transversal calculada en m², la cual se obtiene con la **Ecuación 1.5** de la sección **1.4.4**
 - La columna 6 contiene la velocidad que circula a través de la tubería en m/s, calculada con la **Ecuación 1.6** de la sección **1.4.5**
 - En la columna 7 se calcula el número de Reynolds Re, con la **Ecuación 1.11** de la sección **1.4.5.5**
 - La columna 8 contiene el tipo de flujo clasificado según la **Tabla 1.3** de la sección **1.4.5.6**
- Cálculos para diámetro de 3/4"

Tabla 2.1 Determinación del tipo de Flujo con Diámetro de 3/4"

Determinación del Tipo de Flujo							
Col. 1	Col. 2	Col. 3	Col. 4	Col. 5	Col. 6	Col. 7	Col. 8
Q [m ³ /h]	Q [m ³ /s]	D [mm]	D [m]	A [m ²]	V [m/s]	Re	Tipo de Flujo
0,4	1,11E-04	19,05	0,01905	0,00029	0,39	6514	Flujo Turbulento
0,6	1,67E-04	19,05	0,01905	0,00029	0,58	9771	Flujo Turbulento
0,8	2,22E-04	19,05	0,01905	0,00029	0,78	13029	Flujo Turbulento
1	2,78E-04	19,05	0,01905	0,00029	0,97	16286	Flujo Turbulento
1,2	3,33E-04	19,05	0,01905	0,00029	1,17	19543	Flujo Turbulento
1,4	3,89E-04	19,05	0,01905	0,00029	1,36	22800	Flujo Turbulento
1,6	4,44E-04	19,05	0,01905	0,00029	1,56	26057	Flujo Turbulento
1,8	5,00E-04	19,05	0,01905	0,00029	1,75	29314	Flujo Turbulento
2	5,56E-04	19,05	0,01905	0,00029	1,95	32572	Flujo Turbulento
2,2	6,11E-04	19,05	0,01905	0,00029	2,14	35829	Flujo Turbulento
2,4	6,67E-04	19,05	0,01905	0,00029	2,34	39086	Flujo Turbulento
2,52	7,00E-04	19,05	0,01905	0,00029	2,46	41040	Flujo Turbulento

Elaborado por: Gabriela Narváez

- Cálculos para diámetro de 1"

Tabla 2.2 Determinación del tipo de Flujo con Diámetro de 1"

Determinación del Tipo de Flujo							
Col. 1	Col. 2	Col. 3	Col. 4	Col. 5	Col. 6	Col. 7	Col. 8
Q [m3/h]	Q [m3/s]	D [mm]	D [m]	A [m2]	V [m/s]	Re	Tipo de Flujo
0,4	1,11E-04	25,4	0,0254	0,00051	0,22	4886	Flujo Turbulento
0,6	1,67E-04	25,4	0,0254	0,00051	0,33	7329	Flujo Turbulento
0,8	2,22E-04	25,4	0,0254	0,00051	0,44	9771	Flujo Turbulento
1	2,78E-04	25,4	0,0254	0,00051	0,55	12214	Flujo Turbulento
1,2	3,33E-04	25,4	0,0254	0,00051	0,66	14657	Flujo Turbulento
1,4	3,89E-04	25,4	0,0254	0,00051	0,77	17100	Flujo Turbulento
1,6	4,44E-04	25,4	0,0254	0,00051	0,88	19543	Flujo Turbulento
1,8	5,00E-04	25,4	0,0254	0,00051	0,99	21986	Flujo Turbulento
2	5,56E-04	25,4	0,0254	0,00051	1,10	24429	Flujo Turbulento
2,2	6,11E-04	25,4	0,0254	0,00051	1,21	26871	Flujo Turbulento
2,4	6,67E-04	25,4	0,0254	0,00051	1,32	29314	Flujo Turbulento
2,52	7,00E-04	25,4	0,0254	0,00051	1,38	30780	Flujo Turbulento

Elaborado por: Gabriela Narváez

- Cálculos para diámetro de 4"

Tabla 2.3 Determinación del tipo de Flujo con Diámetro de 4"

Determinación del Tipo de Flujo							
Col. 1	Col. 2	Col. 3	Col. 4	Col. 5	Col. 6	Col. 7	Col. 8
Q [m3/h]	Q [m3/s]	D [mm]	D [m]	A [m2]	V [m/s]	Re	Tipo de Flujo
0,4	1,11E-04	101,6	0,1016	0,00811	0,01	1221	Flujo Laminar
0,6	1,67E-04	101,6	0,1016	0,00811	0,02	1832	Flujo Laminar
0,8	2,22E-04	101,6	0,1016	0,00811	0,03	2443	Flujo Transición
1	2,78E-04	101,6	0,1016	0,00811	0,03	3054	Flujo Transición
1,2	3,33E-04	101,6	0,1016	0,00811	0,04	3664	Flujo Transición
1,4	3,89E-04	101,6	0,1016	0,00811	0,05	4275	Flujo Turbulento
1,6	4,44E-04	101,6	0,1016	0,00811	0,05	4886	Flujo Turbulento
1,8	5,00E-04	101,6	0,1016	0,00811	0,06	5496	Flujo Turbulento
2	5,56E-04	101,6	0,1016	0,00811	0,07	6107	Flujo Turbulento
2,2	6,11E-04	101,6	0,1016	0,00811	0,08	6718	Flujo Turbulento

2,4	6,67E-04	101,6	0,1016	0,00811	0,08	7329	Flujo Turbulento
2,52	7,00E-04	101,6	0,1016	0,00811	0,09	7695	Flujo Turbulento

Elaborado por: Gabriela Narváez

De acuerdo a los valores obtenidos en la **Tabla 2.1** y **Tabla 2.2** para ningún caudal analizado con diámetro de 1" y 3/4" se logra cumplir un flujo laminar y de transición, mientras que, en la **Tabla 2.3** se observa que para un diámetro de 4", sí. Constructivamente, elaborar un accesorio con una tubería y accesorios de 4" se dificulta tanto en costo como en fabricación.

Según el Estado de Arte mencionado en el apartado **1.4.8**, varios equipos para Experimentos de Reynolds han sido construidos con diámetros de 1/2", 3/4" y 1", por lo que se propone analizar el tipo de flujo en una tubería de 3/4" con caudales desde 0.05 m³/h hasta 2.52 m³/h como se muestra en la **Tabla 2.4**, sin hacer uso del rotámetro.

Es decir que, para demostrar un flujo laminar y de transición se usará una válvula de compuerta la cual se abrirá o cerrará progresivamente para conseguir caudales menores o iguales a 0.2 m³/h, como se indica en la **Tabla 2.4**. En la práctica este caudal será medido a través del método de aforo volumétrico mencionado en la sección **1.4.7**. Mientras que para demostrar el flujo turbulento se utilizará el rotámetro para medir caudales superiores a 0.4 m³/h.

Tabla 2.4 Determinación del tipo de Flujo con Diámetro de 3/4" para caudales de 0.04 m³/h hasta 2.52 m³/h

Determinación del Tipo de Flujo							
Col. 1	Col. 2	Col. 3	Col. 4	Col. 5	Col. 6	Col. 7	Col. 8
Q [m ³ /h]	Q [m ³ /s]	D [mm]	D [m]	A [m ²]	V [m/s]	Re	Tipo de Flujo
0,04	1,11E-05	19,05	0,01905	0,00029	0,04	651	Flujo Laminar
0,06	1,67E-05	19,05	0,01905	0,00029	0,06	977	Flujo Laminar
0,08	2,22E-05	19,05	0,01905	0,00029	0,08	1303	Flujo Laminar
0,1	2,78E-05	19,05	0,01905	0,00029	0,10	1629	Flujo Laminar
0,2	5,56E-05	19,05	0,01905	0,00029	0,19	3257	Flujo Transición
0,3	8,33E-05	19,05	0,01905	0,00029	0,29	4886	Flujo Turbulento
0,5	1,39E-04	19,05	0,01905	0,00029	0,49	8143	Flujo Turbulento
0,7	1,94E-04	19,05	0,01905	0,00029	0,68	11400	Flujo Turbulento
0,9	2,50E-04	19,05	0,01905	0,00029	0,88	14657	Flujo Turbulento
1,1	3,06E-04	19,05	0,01905	0,00029	1,07	17914	Flujo Turbulento

1,3	3,61E-04	19,05	0,01905	0,00029	1,27	21171	Flujo Turbulento
1,5	4,17E-04	19,05	0,01905	0,00029	1,46	24429	Flujo Turbulento
1,7	4,72E-04	19,05	0,01905	0,00029	1,66	27686	Flujo Turbulento
1,9	5,28E-04	19,05	0,01905	0,00029	1,85	30943	Flujo Turbulento
2,1	5,83E-04	19,05	0,01905	0,00029	2,05	34200	Flujo Turbulento
2,3	6,39E-04	19,05	0,01905	0,00029	2,24	37457	Flujo Turbulento
2,52	7,00E-04	19,05	0,01905	0,00029	2,46	41040	Flujo Turbulento

Elaborado por: Gabriela Narváez

2.2.2 Altura del tanque de carga para diferentes caudales.

En la **Tabla 2.6**, se calcula la altura del tanque de carga para diferentes caudales y valores de velocidad obtenidos en la **Tabla 2.4**.

La altura del tanque de carga es la suma de todas las pérdidas que tiene el accesorio por lo que para su cálculo es necesario plantear la **Ecuación 1.8** (Ecuación de Bernoulli) de la **sección 1.4.4**.

La **Tabla 2.6**, contiene la siguiente información:

- Las columnas 1, 2, 3 y 4 contienen información del caudal en m³/h, velocidad en m/s, número de Reynolds Re, y tipo de flujo respectivamente (valores obtenidos de la **Tabla 2.4**)
- La columna 5 contiene el cálculo de carga de velocidad en m.
- En la columna 6 se calcula el factor de fricción para flujo laminar con la **Ecuación 1.14** de la sección **1.4.6.1.3**
- En la columna 7 se calcula el factor de fricción para flujo turbulento con la **Ecuación 1.15** de la sección **1.4.6.1.3**
- En la columna 8 se calcula el factor de fricción para flujo turbulento con la **Ecuación 1.17** de la sección **1.4.6.1.3**
- En la columna 9 se calcula el factor de fricción con el diagrama de Moody (**Figura 1.7**) de la sección **1.4.6.1.3**

Nota: Se calcula el factor de fricción de tres formas distintas, con el objetivo de comparar los resultados y verificar que sea iguales o aproximados.

- En la columna 10 se calcula la pérdida por fricción con la **Ecuación 1.12** de la sección **1.4.6.1.1** (en esta ecuación se utiliza el valor de fricción f calculado con la **Ecuación 1.14** y la **Ecuación 1.15**, ya que son las más utilizadas en hidráulica y dan valores más exactos.)
- En la columna 11 se coloca el coeficiente K total debido a la pérdida por accesorios. El coeficiente de pérdidas K total se obtiene sumando los k debido a los accesorios colocados a lo largo de la tubería. Dichos coeficientes se obtienen de la **Tabla 1.5** del apartado **1.4.6.2**. A continuación, en la **Tabla 2.5** se presentan las constantes K usadas para el diseño.

Tabla 2.5 Constantes K usadas en el Diseño

Coeficiente K	
K_entrada	1
K_Tinta	0,19
K_Unión	0,3
K_válvula	0,19
K_codo	0,9
K_Unión	0,3
Ktotal	2,88

Elaborado por: Gabriela Narváez

Debido a que en la entrada del conducto de acrílico se coloca la tubería que permite la salida de la tinta y obstruye parcialmente la entrada del fluido (agua) se asume un K de tinta igual a 0.19 ya que no se tiene un valor reflejado en tablas, como los demás accesorios.

- En la columna 12 se calculan las pérdidas menores con la **Ecuación 1.19** de la sección **1.4.6.2**.
- En la columna 13 y 14 se calcula la altura del tanque Y_1 , sumando los valores de la columna 5, columna 10 y columna 12.

Tabla 2.6 Calculo de altura de Tanque de Carga

Determinación de Y1 (altura de tanque)													
Col. 1	Col. 2	Col. 3	Col. 4	Col. 5	Col. 6	Col. 7	Col. 8	Col. 9	Col. 10	Col. 11	Col. 12	Col. 13	Col.14
Q [m3/h]	V [m/s]	Re	Tipo de Flujo	$\frac{v^2}{2 \cdot g}$ [m]	f_Poiseuille	f_Colebrook	f_Swamee	f_Diagr. Moody	hfricción (m)	k_tablas	hLOC (m)	Y1 [m]	Y1[cm]
0,04	0,04	651	Flujo Laminar	0,000	0,0982			0,098	0,000	2,88	0,000	0,00	0,1
0,06	0,06	977	Flujo Laminar	0,000	0,0655			0,072	0,000	2,88	0,001	0,00	0,1
0,08	0,08	1303	Flujo Laminar	0,000	0,0491			0,065	0,001	2,88	0,001	0,00	0,2
0,10	0,10	1629	Flujo Laminar	0,000	0,0393			0,039	0,001	2,88	0,001	0,00	0,3
0,20	0,19	3257	Flujo Transición	0,002		0,045	0,047	0,043	0,003	2,88	0,006	0,01	1
0,30	0,29	4886	Flujo Turbulento	0,004		0,041	0,042	0,415	0,007	2,88	0,013	0,02	2
0,50	0,49	8143	Flujo Turbulento	0,012		0,037	0,037	0,036	0,016	2,88	0,035	0,06	6
0,70	0,68	11400	Flujo Turbulento	0,024		0,035	0,035	0,034	0,030	2,88	0,068	0,12	12
0,90	0,88	14657	Flujo Turbulento	0,039		0,033	0,034	0,033	0,048	2,88	0,113	0,20	20
1,10	1,07	17914	Flujo Turbulento	0,059		0,032	0,033	0,032	0,069	2,88	0,169	0,30	30
1,30	1,27	21171	Flujo Turbulento	0,082		0,031	0,032	0,031	0,095	2,88	0,236	0,41	41
1,50	1,46	24429	Flujo Turbulento	0,109		0,031	0,031	0,031	0,124	2,88	0,314	0,55	55
1,70	1,66	27686	Flujo Turbulento	0,140		0,030	0,031	0,030	0,157	2,88	0,403	0,70	70
1,90	1,85	30943	Flujo Turbulento	0,175		0,030	0,031	0,029	0,194	2,88	0,503	0,87	87
2,10	2,05	34200	Flujo Turbulento	0,213		0,030	0,030	0,029	0,234	2,88	0,615	1,06	106
2,30	2,24	37457	Flujo Turbulento	0,256		0,030	0,030	0,029	0,279	2,88	0,738	1,27	127
2,52	2,46	41040	Flujo Turbulento	0,307		0,029	0,030	0,029	0,332	2,88	0,885	1,52	152

Elaborado por: Gabriela Narváez

2.2.3 Dimensionamiento del tanque para descarga

Las dimensiones del tanque para descarga se obtienen despejando el volumen del caudal analizado para un tiempo $t=2\text{min}$ (tiempo estimado en colocar la tinta y observar el tipo de flujo), los resultados se presentan en la **Tabla 2.7**

- En la columna 1 y 2 se tiene el caudal en m^3/h y l/s
- En la columna 3 y 4 se calcula el volumen con la **Ecuación 1.20** de la sección **1.4.7**
- Con el volumen en m^3 , se propone las dimensiones en planta del tanque, siendo a: largo y b: ancho ($0.40\text{m} \times 0.30$)
- En la columna 5 y 6 se calcula la altura del tanque en m y cm

Tabla 2.7 Dimensionamiento del Tanque Inferior

Dimensión Tanque Inf					
a [m]	0,4				
b [m]	0,3				
Determinación del H del Tanque Inferior					
Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	Columna 6
Q [m^3/h]	Q [l/s]	Volumen (m^3)	Volumen (l)	h tanq Inf [m]	h tanq Inf [cm]
0,04	0,011	0,0013	0,00	0,011	1,11
0,06	0,017	0,0020	2,00	0,017	1,67
0,08	0,022	0,0027	2,67	0,022	2,22
0,1	0,028	0,0033	3,33	0,028	2,78
0,2	0,056	0,0067	6,67	0,056	5,56
0,3	0,083	0,0100	10,00	0,083	8,33
0,5	0,139	0,0167	16,67	0,139	13,89
0,7	0,194	0,0233	23,33	0,194	19,44
0,9	0,250	0,0300	30,00	0,250	25,00
1,1	0,306	0,0367	36,67	0,306	30,56
1,3	0,361	0,0433	43,33	0,361	36,11
1,5	0,417	0,0500	0,00	0,417	41,67
1,7	0,472	0,0567	0,00	0,472	47,22
1,9	0,528	0,0633	0,00	0,528	52,78
2,1	0,583	0,0700	0,00	0,583	58,33
2,3	0,639	0,0767	0,00	0,639	63,89
2,52	0,700	0,0840	0,00	0,700	70,00

Elaborado por: Gabriela Narváez

2.2.4 Selección de parámetros y medidas para el diseño

La altura de tanque de carga y el volumen del tanque para descarga dependen del caudal, esto se evidencia en la **Tabla 2.6** y la **Tabla 2.7**, para un caudal alto se necesita un tanque de carga alto y un tanque para descarga con mayor capacidad y eso implica mayor costo en material. Por lo que se toma en cuenta medidas que faciliten la operación del accesorio y que el costo se encuentre dentro de lo planificado.

Para el diseño del accesorio se propone un caudal máximo de 1.1 m³/h, por lo que según los valores obtenidos en la **Tabla 2.6** y **Tabla 2.7** se necesita una altura de tanque de carga de 30 cm y un volumen de tanque para descarga de 36.67 litros.

Se propone construir un tanque de carga de 25cm x25cm x45 cm y un tanque para descarga de 40cm x30cm x 40cm (volumen de 48 litros)

Tabla 2.8 Resumen de Parámetros de Diseño

Parámetro	Medida	Unidad
Diámetro	19.05	mm
Caudal	1.10	m ³ /h
Longitud de tubería	0.70	m
Tanque de Carga	0.25x0.25x0.45	m ³
Tanque para descarga	0.40x0.30x0.40	m ³

Elaborado por: Gabriela Narváez

Los valores presentados en la **Tabla 2.4**, **Tabla 2.6** y **Tabla 2.7** se puede verificar con un ejemplo de cálculo presentado en el **ANEXO III** para un caudal de 1.10 m³/h.

Los planos del diseño final del accesorio se pueden observar en el **ANEXO VII**

2.3 Construcción del Accesorio

La construcción del accesorio se dividió en 4 etapas:

2.3.1 Etapa 1: Construcción del tanque de carga y adaptación de la tubería de acrílico

La construcción del tanque de carga y adaptación de la tubería de acrílico se realizó con ayuda del personal del Centro de Investigaciones y Estudios en Recursos Hídricos (CIERHI). El proceso constructivo se detalla en la **Figura 2.10**

2.3.2 Etapa 2: Construcción de soporte (mesa)

La construcción del soporte se realizó en un taller de soldadura, el proceso constructivo se detalla en la **Figura 2.11**

2.3.3 Etapa 3: Construcción y adaptación del sistema de tintas

La construcción del sistema de tintas y su adaptación al accesorio se detalla se en la **Figura 2.12**

2.3.4 Etapa 4: Adaptación de accesorios para la entrada y salida de agua

El procedimiento para la adaptación de accesorios de entrada y salida de agua se detalla en la **Figura 2.13**

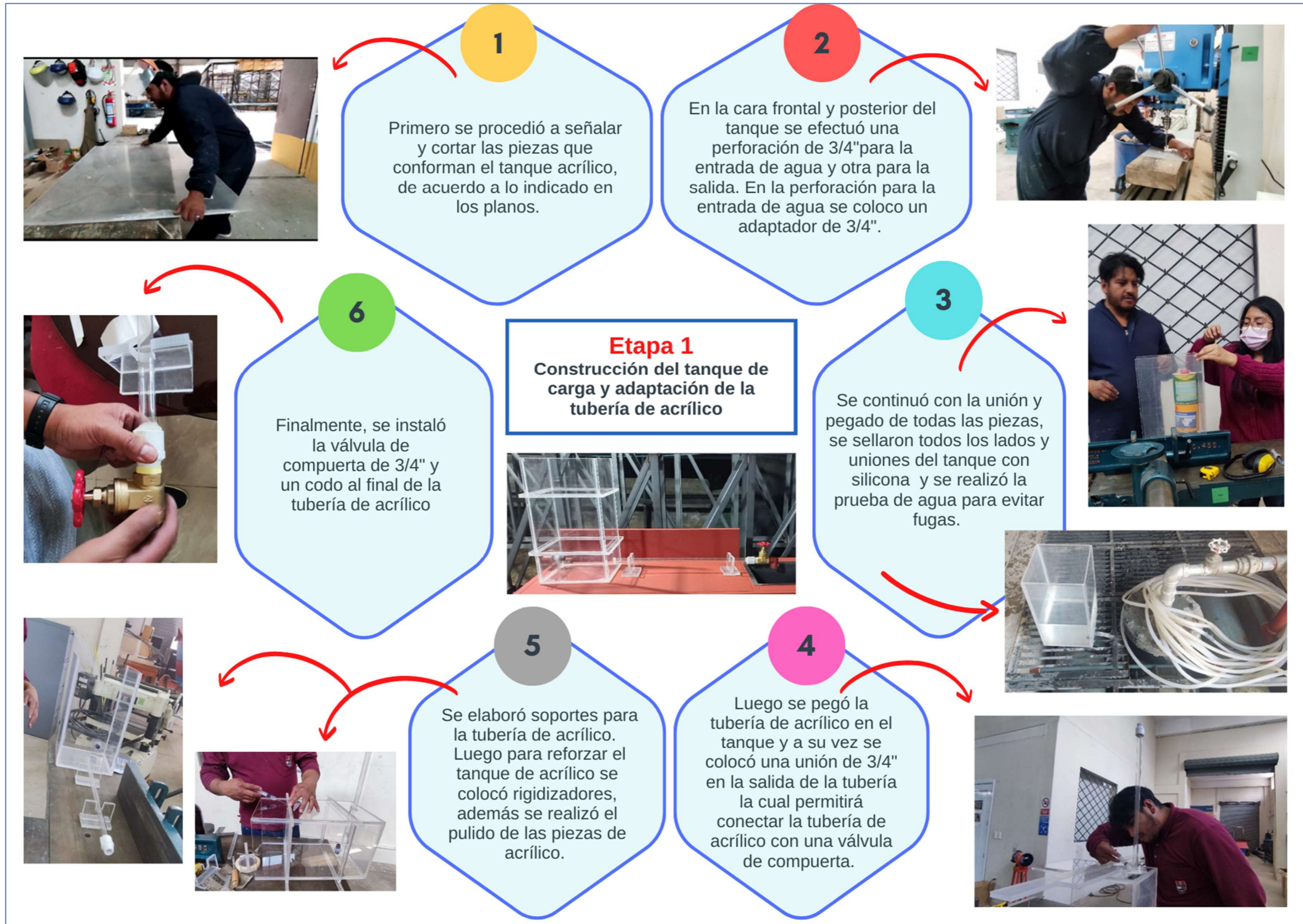


Figura 2.10 Diagrama Proceso Constructivo Etapa 1

Elaborado por: Gabriela Narváez

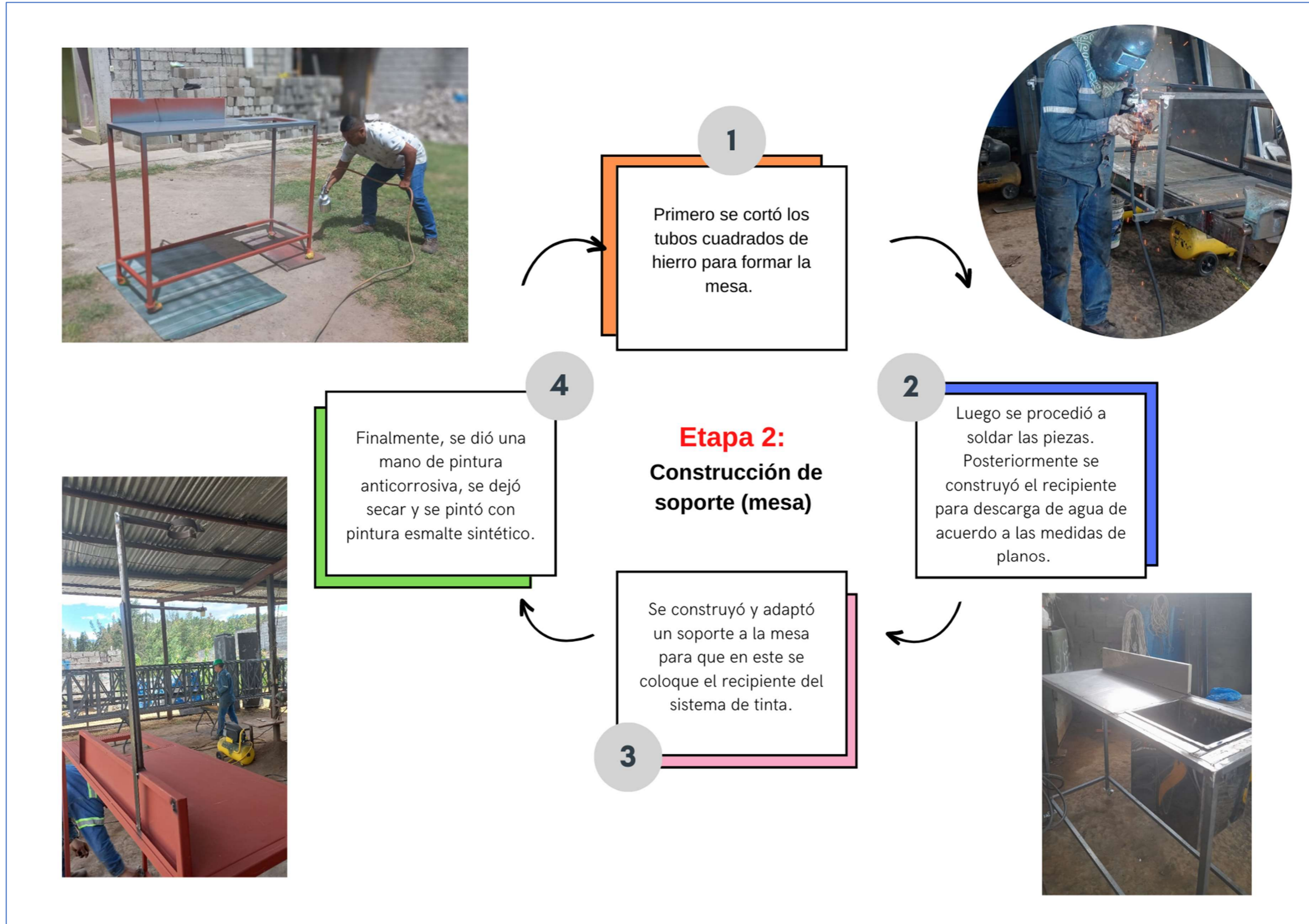


Figura 2.11 Diagrama Proceso Constructivo Etapa 2

Elaborado por: Gabriela Narváez

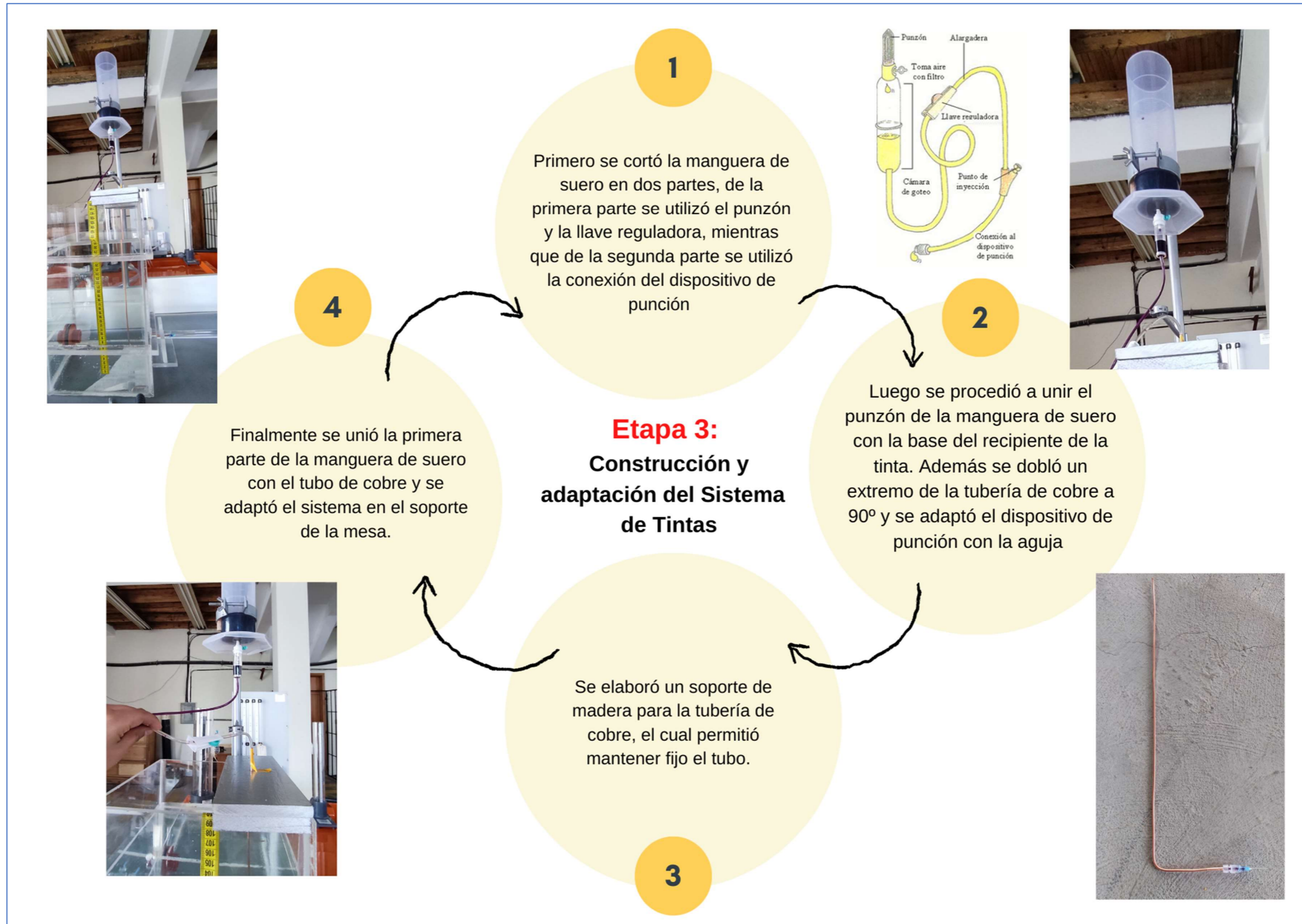


Figura 2.12 Diagrama Proceso Constructivo Etapa 3

Elaborado por: Gabriela Narváez

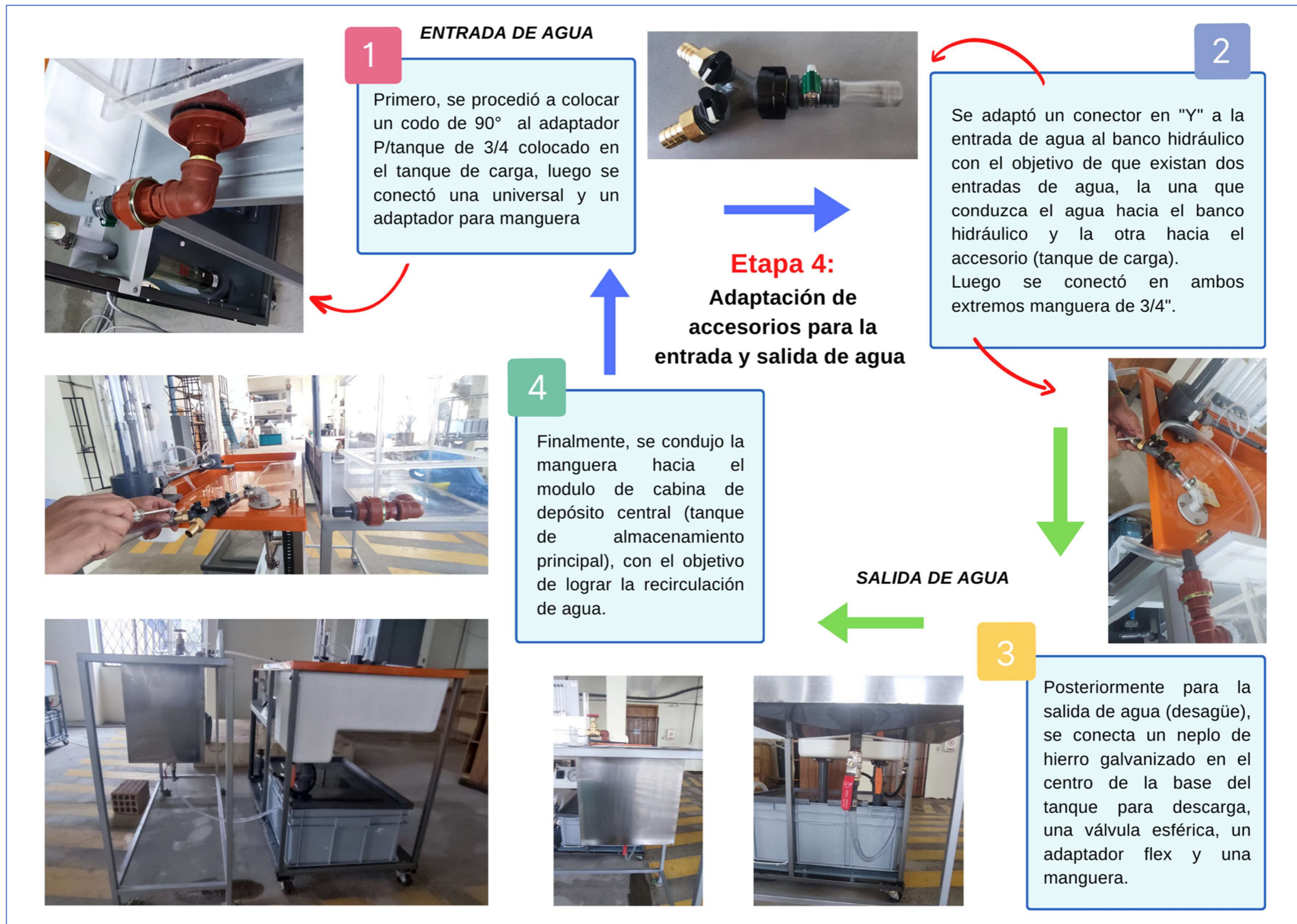


Figura 2.13 Diagrama Proceso Constructivo Etapa 4

Elaborado por: Gabriela Narváez

2.4 Costo del equipo

A continuación, en la **Tabla 2.9** se desglosa la cantidad y precio de los materiales usados para la construcción del accesorio para el banco hidráulico:

Tabla 2.9 Costo del Accesorio

PARTES DEL ACCESORIO	DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	P TOTAL
ESTRUCTURA Y TANQUE DE DESCARGA	Mesa de hierro con soporte para tinta y pozo de acero inoxidable	u	1	\$170,00	\$170,00
	Ruedas con freno 1 1/2"	u	4	\$2,44	\$9,75
ENTRADA DE AGUA Y TANQUE DE CARGA	Conector "Y" P/Manguera 3/4"	u	1	\$5,75	\$5,75
	Unión bronce p/manguera 3/4"	u	2	\$3,61	\$7,22
	Adaptador Flex 3/4"	u	2	\$0,25	\$0,50
	Abrazadera Manguera 11-25x12,7mm	u	4	\$0,78	\$3,11
	Manguera Transparente 3/4"	m	1	\$4,16	\$4,16
	Universal 3/4"	u	1	\$2,04	\$2,04
	Neplo roscable 3/4"	u	1	\$0,35	\$0,35
	Codo cachimba blanco	u	1	\$1,08	\$1,08
	Adaptador P/Tanque 3/4"	u	1	2,9	2,9
CONDUCTO	Tanque de acrílico	u	1	\$40,00	\$40,00
	Cinta métrica	u	1	\$0,50	\$0,50

	Tubo de acrílico 3/4"	u	1	\$10,00	\$10,00
	Adaptador PVC	u	1	\$0,77	\$0,77
	Válvula de compuerta 3/4"	u	2	\$7,78	\$15,56
	Codo cachimba blanco	u	1	\$1,08	\$1,08
DESAGÜE	Vaso de Precipitación de 1000 ml	u	1	\$10,00	\$5,00
	Neplo de hierro galvanizado 1/2"	u	1	\$0,89	\$0,89
	Válvula esférica 1/2"	u	1	\$3,99	\$3,99
	Adaptador Flex 1/2"	u	1	\$0,38	\$0,38
	Manguera 1/2"	m	1	\$0,94	\$0,94
SISTEMA DE TINTA SUMINISTRO DE TRAZADOR	Probeta de Precipitación 500 ml	u	1	\$7,00	\$7,00
	Manguera de Suero	u	1	\$0,50	\$0,50
	Tubería de cobre	m	1	\$2,65	\$2,65
	Permanganato de Potasio	u	1	\$10,00	\$10,00
				Total	\$311,12

Elaborado por: Gabriela Narváez

La mano de obra en la construcción del accesorio se pudo realizar sin ningún costo, ya que el trabajo en acrílico se realizó con la colaboración del CIERHI y la unión y montaje de la estructura se realizó bajo cuenta propia.

En la **Tabla H** del **ANEXO IV**, se puede observar a detalle los materiales utilizados para la construcción del accesorio.

3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Resultados

3.1.1 Accesorio instalado

A continuación, en la **Figura 3.1** se presenta el accesorio construido y adaptado al banco hidráulico

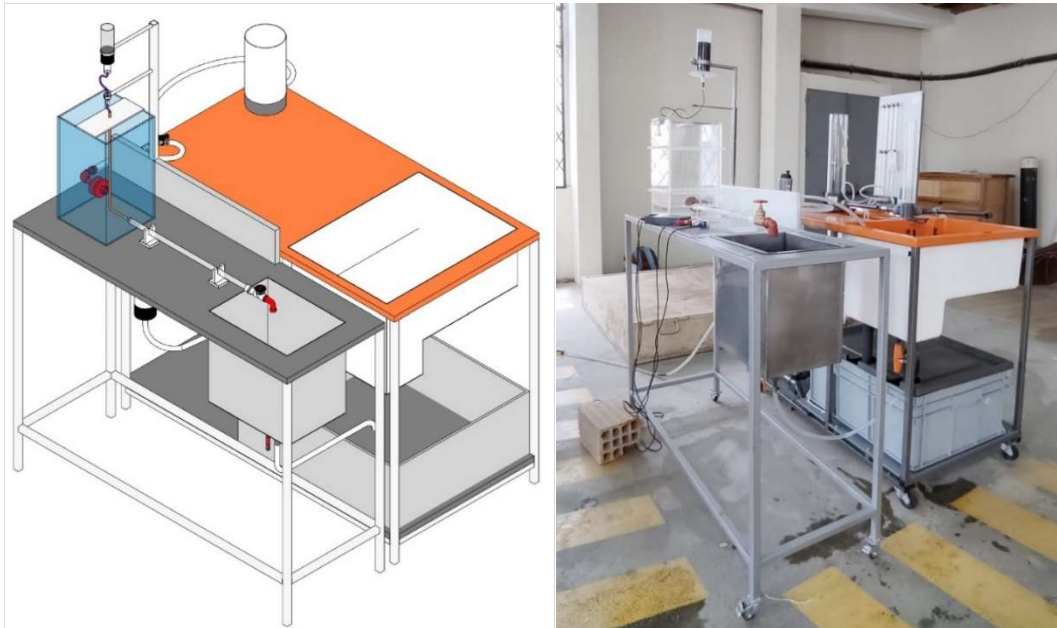


Figura 3.1 Accesorio Construido para Experimentación de Flujo Laminar y Turbulento en Tuberías

Elaborado por: Gabriela Narváez

3.1.2 Ensayos

Para demostrar el correcto funcionamiento del accesorio construido, se realizaron pruebas. Para los tres tipos de flujos a analizar se toman 3 medidas de volumen y de tiempo por cada caudal elegido, luego se calcula un caudal promedio y se realiza los cálculos respectivos.

3.1.2.1 Procedimiento para uso de accesorio

Materiales:

- Accesorio Banco Hidráulico
- Vaso de precipitación

- Cronómetro
- Trazador (Permanganato de Potasio KMnO₄)
- Balde

Preparación del equipo

- Verificar que el módulo de cabina de depósito central (tanque de almacenamiento de agua principal) se encuentre lleno.
- Colocar el trazador (Permanganato de Potasio KMnO₄), en el recipiente de tinta
- Cerrar la válvula esférica colocada en el desagüe
- Colocar la manguera de desagüe en un balde.
- Abrir la válvula reguladora de flujo (rotámetro).
- Abrir la válvula del conector en “Y” que permite el paso hacia el accesorio construido de flujo laminar y turbulento (válvula 1) y cerrar la válvula de paso de agua hacia el banco hidráulico (válvula 2)
- Cerrar la válvula de compuerta de la tubería de acrílico
- Prender la bomba, dejar llenar parcialmente el tanque y cuando el agua pase por la tubería de acrílico se debe abrir la válvula de compuerta y eliminar las burbujas de aire. Al mismo tiempo se debe abrir la llave del suministro de trazador para verificar su flujo
- Recibir el agua mezclada con el trazador en el tanque para descarga.
- Abrir la válvula esférica de desagüe y dejar caer el agua mezclada con el trazador en el balde.

Procedimiento de la práctica

- Preparar el accesorio como se explicó anteriormente.
- Colocar la manguera de desagüe en el módulo de cabina de depósito central.
- Prender la bomba y dejar que entre agua al tanque de carga (Esperar de 15 segundos aproximadamente).
- Abrir la válvula de compuerta y eliminar las burbujas de aire.

- Dejar que el agua se estabilice a una altura determinada en el tanque de carga (aproximadamente 3 min) realizando aperturas graduales de la válvula de compuerta y de la válvula reguladora de flujo para controlar el caudal de entrada y de salida.
- Mientras se realiza el paso anterior se debe abrir la válvula esférica del desagüe para que exista recirculación de agua.
- Una vez estabilizada el agua a una altura determinada, cerrar la válvula esférica de desagüe.
- Abrir la válvula del suministro de trazador y visualizar las líneas de flujo en función del caudal que atraviesa por la tubería. El agua con la tinta se almacenará en el recipiente para descarga.
- Medir el caudal a través de aforo volumétrico con ayuda de un vaso de precipitación y un cronómetro (3 medidas por caudal).
- Una vez terminada la práctica, apagar la bomba y cerrar la válvula reguladora de flujo del banco hidráulico para evitar entrada de aire a la bomba.
- Colocar la manguera de desagüe en un balde y abrir la válvula esférica para recolectar el agua con trazador. Luego desecharla con el fin de evitar que el agua con trazador contamine el agua de la cabina de depósito central.
- Repetir el procedimiento y realizar 3 medidas de caudal por cada línea de flujo observada (laminar, transición, turbulento)

Nota:

- Se debe regular el convertidor de frecuencia a 1800 revoluciones cuando se toman los datos para el flujo laminar y de transición e ir abriendo o cerrando parcialmente la válvula de compuerta y la válvula reguladora de flujo.
- Si se desea tomar datos para la válvula de compuerta totalmente abierta a una altura máxima de 30 cm, se debe regular el convertidor de frecuencia por lo menos a 3504 revoluciones.

3.1.2.2 Ensayo para: Flujo Turbulento

De acuerdo con la **Tabla 2.6** de la sección **2.2.2**, para conseguir un flujo turbulento, se requiere mantener una altura de agua constante en el tanque de carga mayor a 2 cm y con

caudales mayores a 0.30 m³/h .Por lo que en este ensayo se procede a mantener una altura constante de 30 cm y 2cm , siguiendo el procedimiento detallado en la sección **3.1.2.1**

En este caso para demostrar el flujo turbulento se mide el caudal que entra al tanque de carga con el rotámetro, dejando pasar un caudal de 1.10 m³/h hasta mantener la altura de agua de 30 cm constante, sin embargo, en la práctica se pudo constatar que el rotámetro no se encuentra calibrado, ya que con un caudal de 0.8 m³/h se logra mantener constante dicha altura. Es decir, el valor de caudal que marca el rotámetro es menor al que en realidad está conduciendo el sistema.

Para determinar el caudal que circula hacia el tanque de carga se utilizó un medidor de caudal ultrasónico portátil de la Escuela de Formación de Tecnólogos (ESFOT), y se constató que al momento en que el rotámetro marca 0.8 m³/h en realidad circula un caudal de 1.13m³/h.

Entonces con un caudal de 1.13 m³/h, una altura constante de 30 cm y 2 cm y la válvula de compuerta totalmente abierta se obtiene los datos de la **Tabla 3.1**

Tabla 3.1 Datos para demostrar Flujo Turbulento

# Ensayo	Altura Tanque	Volumen Recipiente	Tiempo
	Y1 [cm]	V' [ml]	t [s]
1	30	800	2,94
2		820	2,86
3		850	2,78
4	2	720	8.43
5		880	10.51
6		900	10.57

Elaborado por: Gabriela Narváez

3.1.2.3 Ensayo para: Flujo Laminar y de Transición

De acuerdo con la **Tabla 2.6** de la sección **2.2.2**, para conseguir un flujo laminar y de transición, se requiere mantener una altura de agua constante en el tanque de carga, menor a 2 cm, lo cual es complicado de lograr ya que son alturas muy pequeñas, por lo que se procede a mantener una altura constante cualquiera abriendo o cerrando parcialmente la válvula de compuerta y la válvula reguladora de flujo siguiendo el procedimiento detallado en la sección **3.1.2.1**

Los datos obtenidos se presentan en la **Tabla 3.2** y **Tabla 3.3**

Tabla 3.2 Datos para demostrar Flujo en Transición

# Ensayo	Volumen	Tiempo
	V' [ml]	t [s]
7	800	23,24
8	810	23,5
9	800	22,93

Elaborado por: Gabriela Narváez

Tabla 3.3 Datos para demostrar Flujo Laminar

# Ensayo	Volumen	Tiempo
	V' [ml]	t [s]
10	290	36,79
11	300	38,06
12	285	36,19

Elaborado por: Gabriela Narváez

3.1.2.4 Procesamiento de la información

Con los datos de la **Tabla 3.1**, **Tabla 3.2** y **Tabla 3.3** y la **Ecuación 1.20** de la sección **1.4.7**, se calcula los caudales, luego se promedia y se calcula la velocidad que circula a través de la tubería con la **Ecuación 1.6** y los datos de la **Tabla 3.4**

Finalmente se calcula el número de Reynolds con la **Ecuación 1.11**, asumiendo que el agua presenta una temperatura de 15°C y una viscosidad de 1.14×10^{-6} .

En función del número de Reynolds se determina el tipo de flujo de acuerdo con la clasificación presentada en la **Tabla 1.3** de la sección **1.4.5.6** Además, se realiza una comparación del caudal teórico (1.10 m³/h) con el calculado experimentalmente (1.04 m³/h) y se obtiene un error del 5.68% (Ensayo 1-2-3 de la **Tabla 3.5**)

El resultado de los cálculos se presenta en la **Tabla 3.5**, **Tabla 3.6** y **Tabla 3.7**, y se adjunta evidencia fotográfica de los ensayos realizados en la **Fotografía 3.1**, **Fotografía 3.2**, **Fotografía 3.3**, **Fotografía 3.4**, **Fotografía 3.5** y **Fotografía 3.6**

Tabla 3.4 Datos del Conducto y del Fluido

DATOS DEL CONDUCTO		
Longitud	L [m]=	0,7
Diámetro	D [mm]=	19,05
Área	A [cm ²]=	0,00029
DATOS DEL FLUIDO		
Temperatura	T [°C]=	15
Viscosidad Cinemática	ν [m ² /s]=	1,14E-06

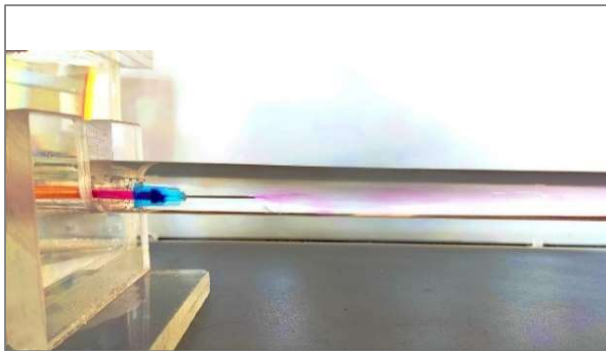
Elaborado por: Gabriela Narváez

Flujo Turbulento

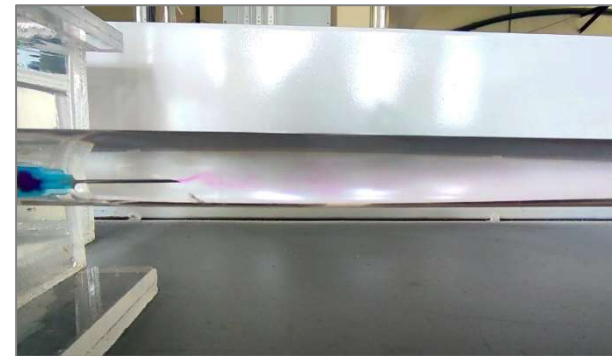
Tabla 3.5 Determinación de Número de Reynolds. Flujo Turbulento

# Ensayo	Datos de Ensayo				Resultados Obtenidos							
	Altura Tanque	Volumen Recipiente	Tiempo	Caudal	Caudal Promedio			Velocidad	Reynolds	Tipo de Flujo	Caudal Teórico	Error
	Y1 [cm]	V' [ml]	t [s]	Q [ml/s]	Q [ml/s]	Q [m3/h]	Q [m3/s]	V [m/s]	Re		Q [m3/h]	%
1	30	800	2,94	272,109	288,19	1,04	0,0003	1,00	16710	Flujo Turbulento	1,1	5,68
2		820	2,86	286,713								
3		850	2,78	305,755								
4	2	720	8,43	85,409	84,76	0,31	0,0001	0,29	4915	Flujo Turbulento	0,3	1,71
5		880	10,51	83,730								
6		900	10,57	85,147								

Elaborado por: Gabriela Narváez



Fotografía 3.1 Flujo Turbulento-Ensayo 1,2,3



Fotografía 3.2 Flujo Turbulento-Ensayo 4,5,6

En la **Fotografía 3.1** y **Fotografía 3.2**, se puede observar que el trazador se mezcla completamente con el agua cerca de la entrada y se puede apreciar que las partículas se dispersan de forma desordenada. Según el apartado **1.4.5.2** y las características mencionadas, se puede concluir que el caudal que pasa a través de la tubería es alto y corresponde a un flujo turbulento.

Flujo en Transición

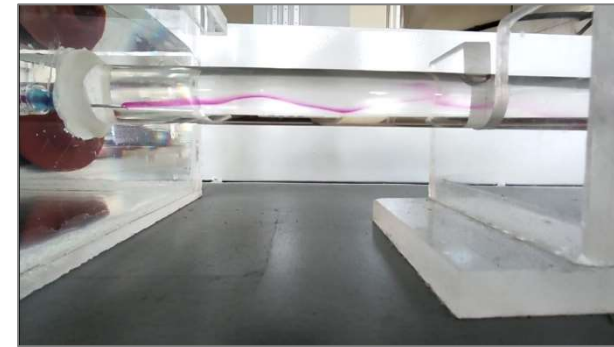
Tabla 3.6 Determinación de Número de Reynolds_Flujo en Transición

# Ensayo	Datos de Ensayo			Resultados Obtenidos					
	Volumen	Tiempo	Caudal	Caudal Promedio			Velocidad	Reynolds	Tipo de Flujo
	V´ [ml]	t [s]	Q [ml/s]	Q [ml/s]	Q [m3/h]	Q [m3/s]	V [m//s]	Re	
7	800	23,24	34,42	34,59	0,12	0,00003	0,120	2005,79	Flujo en Transición
8	810	23,5	34,47						
9	800	22,93	34,89						

Elaborado por: Gabriela Narváez



Fotografía 3.3 Flujo en Transición-Ensayo 7-8-9



Fotografía 3.4 Flujo en Transición-Ensayo 7-8-9

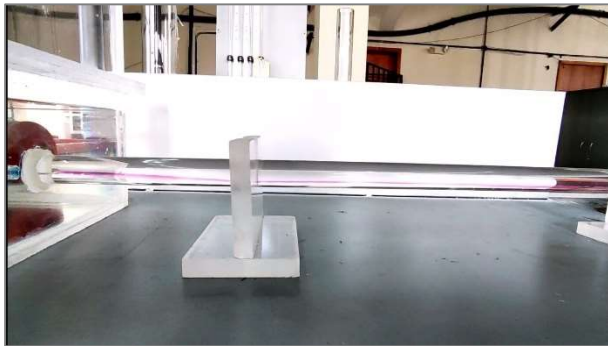
En la **Fotografía 3.3** y **Fotografía 3.4**, se puede observar ondulaciones del filamento del trazador, el comportamiento de las partículas es inestable. Según la teoría descrita en el apartado **1.4.5.2** y las características mencionadas, se puede concluir que el caudal que pasa a través de la tubería es un caudal intermedio que corresponde a un flujo en transición.

Flujo Laminar

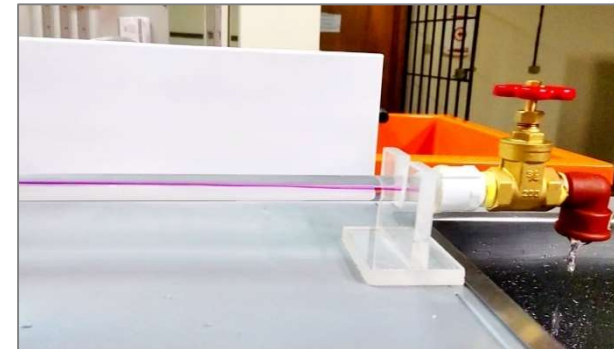
Tabla 3.7 Determinación de Numero de Reynolds_Flujo Laminar

# Ensayo	Datos de Ensayo			Resultados Obtenidos					
	Volumen	Tiempo	Caudal	Caudal Promedio			Velocidad	Reynolds	Tipo de Flujo
	V [ml]	t [s]	Q [ml/s]	Q [ml/s]	Q [m3/h]	Q [m3/s]	V [m//s]	Re	
10	290	36,79	7,88	7,88	0,03	0,00001	0,027	456,90	Flujo Laminar
11	300	38,06	7,88						
12	285	36,19	7,88						

Elaborado por: Gabriela Narváez



Fotografía 3.5 Flujo Laminar Ensayo 10,11,12



Fotografía 3.6 Flujo Laminar Ensayo 10,11,12

En la **Fotografía 3.5** y **Fotografía 3.6**, se puede observar que el filamento del trazador se mantiene uniforme y no se mezcla con la tinta. Según la teoría del apartado **1.4.5.2** y las características mencionadas, se puede concluir que el caudal que pasa a través de la tubería es bajo y se verifica que es un flujo laminar

3.1.3 Instructivo

Una vez comprobado el funcionamiento del accesorio se elaboró un instructivo para que sea utilizado en las prácticas de laboratorio de las cátedras: Hidráulica Básica, Hidráulica en canales y tuberías e Hidráulica Básica y Laboratorio.

En el **ANEXO V** se adjunta el instructivo, además también puede ser descargado del enlace adjunto en el **ANEXO VI**

3.1.4 Video Tutorial

En el **ANEXO VI** se adjunta el enlace del video tutorial para el uso del accesorio construido en el presente Trabajo de Integración Curricular.

3.2 Conclusiones

- Con la ejecución del trabajo de integración curricular se logró diseñar y construir el accesorio adaptable al banco hidráulico, además se elaboró un instructivo y un video tutorial para que los estudiantes puedan aplicarlo en sus prácticas de laboratorio de hidráulica.
- El accesorio construido y adaptable al Banco Hidráulico del Laboratorio Docente de Hidráulica, permite realizar el experimento de Reynolds para un caudal máximo de 1.10 m³/h a una altura constante de 30 cm y la válvula de compuerta completamente abierta.
- Se consultó bibliografía referente a equipos para experimentación de tipos de flujos en tuberías para tomar en cuenta los parámetros hidráulicos, materiales, dimensiones y diámetros de tuberías utilizados.
- Se realizaron 4 ensayos en los que se pudo observar experimentalmente los 3 tipos de flujos: laminar, turbulento y de transición y se pudo constatar que, para el accesorio propuesto, se logra conseguir flujos turbulentos con caudales mayores o iguales a 0.3 m³/h mientras que para tener flujos de transición y laminares se debe tener caudales menores o iguales a 0.2 m³/h.
- Se comparó el caudal obtenido en la práctica con el caudal teórico y se concluye que existe un error del 5.68% como se muestra en la **Tabla 3.5**, esto se debe a que en el sistema existen más pérdidas de las contempladas en el cálculo teórico (constante K de pérdidas por accesorios) y a la precisión con la que se realizó el aforo volumétrico.

3.3 Recomendaciones

- Se recomienda investigar en varias fuentes bibliográficas la constante K de pérdida por accesorios y calcular el factor de fricción f de dos formas diferentes para comprobar si el cálculo es correcto ya que la altura del tanque de carga depende completamente de la suma de todas las pérdidas.
- Al momento de suministrar el trazador hacia la tubería de acrílico se debe abrir despacio la válvula para que no se genere turbulencia y lograr apreciar el correcto comportamiento del flujo.
- Estar pendiente de que el módulo de cabina de depósito central (tanque de almacenamiento) del banco hidráulico se mantenga lleno.
- Los tiempos tomados con el cronómetro deben ser lo más exactos posibles.
- Se recomienda tomar 3 medidas de volumen en un tiempo determinado por ensayo para promediar el caudal.
- Mantener una altura de agua constante para no inferir en los resultados, abriendo y cerrando las válvulas
- Estar pendiente de que no se desborde el agua del tanque de carga

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] E. A. Aguilera Reyes, «Prácticas de Laboratorio: la antesala a la realidad,» *Revista Multi-Ensayos*, 2019.
- [2] S. Villanueva Hoyos , «Desarrollo de un modelo hidráulico a escala reducida de un Vertedero a Vórtice para el equipamiento del Laboratorio de hidráulica en la Universidad San Francisco de Quito,» Diciembre 2009. [En línea]. Available: <https://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/1006>.
- [3] F. Riaño Valle, «El Nacimiento de la Hidraulica Experimental,» *Ingenieria Hidraulica y Ambiental*, pp. 48-60, 2015.
- [4] A. Riocha, «Hidraulica de Tuberias y Canales,» 2007.
- [5] F. M. White, *Mecánica de Fluidos*, Quinta ed., Mc Graw Hill, 2003.
- [6] R. V. Giles , J. B. Evett y C. Liu, *Mecánica de los Fluidos e Hidráulica*, Tercera ed., M. J. Norte, Ed., Aravaca, Madrid: McGraw-Hill.
- [7] EPN, «ESCUELA POLITECNICA NACIONAL,» [En línea]. Available: <https://www.epn.edu.ec/laboratorio-de-hidraulica/>.
- [8] J. Saldarriaga, *Hidraulica de Tuberías, Abastecimiento de Agua, Redes, Riegos.*, L. J. B. D, Ed., Alfaomega, 2007.
- [9] Editorial Etecé , «Enciclopedia Concepto,» 16 Julio 2021. [En línea]. Available: <https://concepto.de/propiedades-de-los-fluidos/>. [Último acceso: 14 Diciembre 2022].
- [10] Noria Latín América, «NORIA,» 16 Enero 2020. [En línea]. Available: <https://noria.mx/analisis-de-lubricante-a/la-viscosidad-cinematica-explicada/#:~:text=La%20viscosidad%20cinem%C3%A1tica%20es%20una,a%20fluir%20bajo%20fuerzas%20gravitacionales..> [Último acceso: 03 Enero 2023].
- [1] G. S. Avila, *Hidráulica General Volumen 1-Fundamentos*, México: LIMUSA S.A. de C.V., 1994.

- [1 Sears , Zemansky , H. Young y R. Freedman , Física Universitaria, Mexico : Pearson ,
2] 2013.
- [1 V. T. Chow, Hidráulica de Canales Abiertos, M. E. Suárez, Ed., Colombia: McGRAW-
3] HILL, 2004.
- [1 M. C. Potter, D. C. Wiggert y B. H. Ramadan, Mecanica de Fluidos, S. R. C. Gonzáles,
4] Ed., Mexico: CENGAGE Learning, 2015.
- [1 EMAAP-Q, Normas de Diseño de Sistemas de Agua Potable para la EMMAAP-Q, Quito
5] : V&M Gráficas, 2008.
- [1 S. Ruiz, J. Bermúdez , F. López, V. Puig y L. Torres, «Estimación experimental de la
6] rugosidad y del factor de fricción en una tubería».
- [1 Comisión Nacional del Agua, «Manual de Agua Potable, Alcantarillado y
7] Saneamiento,» de *Libro 10: Conducciones*, México.
- [1 Universidad Tecnológica de Panamá , «Procedimiento para la Prueba de Aforo
8] Volumetrico.,» Panmá .
- [1 G. E. Changoluisa Analuisa, «Repositorio Digital UCE,» 2014. [En línea]. Available:
9] <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2627>.
- [2 F. R. Rivera Martinez y A. G. Mantilla Burbano, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN
0] EQUIPO PARA DETERMINAR EL,» Santo Domingo, 2013.
- [2 M. T. Avellaneda Piñeros , «IMPLEMENTACIÓN DEL MONTAJE EXPERIMENTAL
1] PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO DE UN FLUJO MEDIANTE EL
EXPERIMENTO DE REYNOLDS,» Bogotá, 2016.
- [2 A. M. Caleron Ramirez , G. N. Vargas Pidiache y Y. J. Morales Gutierrez ,
2] «EXPERIMENTO DE REYNOLDS,» 2017.
- [2 M. Carrillo , D. Echeverría y V. Guilcapi , «Repositorio Universidad Técnica de Ambato
3] Ingeniería en Sistemas,» 2005. [En línea]. Available:
<https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/368>. [Último acceso: 21].
- [2 Cussons Technology , *P6100-Cussons Hydraulics Bench -Part 1 With Accessories*,
4] 2014.

- [2 S&P, «S&P BLOG,» 07 Enero 2020. [En línea]. Available: 5] <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/variador-de-frecuencia/>. [Último acceso: 24 Enero 2023].
- [2 «ULMA,» 29 abril 2020. [En línea]. Available: [https://www.ulmaforge.com/noticia/acero-6\] inoxidable-propiedades-y-aplicaciones/](https://www.ulmaforge.com/noticia/acero-6] inoxidable-propiedades-y-aplicaciones/).
- [2 ConceptoABC, «ConceptoABC,» [En línea]. Available: 7] <https://conceptoabc.com/hierro/#Usos>. [Último acceso: 07 Febrero 2023].
- [2 «IMPORT ACEROS,» [En línea]. Available: [https://mediummultimedia-8\] host.com/importaceros/ecuador-quito/acero-inoxidable-304/](https://mediummultimedia-8] host.com/importaceros/ecuador-quito/acero-inoxidable-304/).
- [2 «METAL HIERRO,» [En línea]. Available: [https://metalhierro.com/producto/2431-tubo-9\] cuadrado-galvanizado](https://metalhierro.com/producto/2431-tubo-9] cuadrado-galvanizado).
- [3 «CONSTRUEX,» [En línea]. Available: 0] https://construex.com.ec/exhibidores/dismaconcobre/producto/tuberia_y_accesorios_de_cobre_para_agua.
- [3 «Kywitiendaenlinea,» [En línea]. Available: 1] <https://kywitiendaenlinea.com/product/valvula-compuerta-1-2-br/>.
- [3 «DISTRACRILICOS,» [En línea]. Available: 2] <https://www.distriacrilicos.com.ec/productosDI>.
- [3 ASOVEN , 12 Septiembre 2018. [En línea]. Available: 3] <https://www.asoven.com/pvc/que-es-el-pvc-ventajas-fabricacion-e-impacto-ambiental/>.
- [3 «LA HERRADURA,» [En línea]. Available: 4] <https://www.laherraduramateriales.com/tubos%20agua.html>.

5. ANEXOS

ANEXO I Tablas de Rugosidad Absoluta propuestas por varios autores

ANEXO II Coeficiente K para Pérdidas Menores

ANEXO III Ejemplo de Cálculo

ANEXO IV Materiales y accesorios utilizados para la construcción

ANEXO V Instructivo Practica Experimento de Reynolds

ANEXO VI Enlaces

ANEXO VII Plano Accesorio

ANEXO I

Tabla A Valores recomendados de Rugosidad Absoluta para conductos comerciales

Material	Condición	ϵ [mm]
Acero	Lámina	0.05
	metálica, nueva	
	Inoxidable	0.02
	Comercial, nuevo	0.046
	Estriado	3.0
	Oxidado	2.0
Hierro	Fundido, nuevo	0.26
	Forjado, nuevo	0.046
	Galvanizado, nuevo	0.15
	Fundido asfáltico	0.12
Latón	Laminado	0.002
Plástico	Tubo laminado	0.0015
Vidrio	-	Liso
Hormigón	Liso	0.04
	Rugoso	2.0
Caucho	Liso	0.01
Madera	En duelas	0.5

Fuente: Mecánica de Fluidos, Frank M. White (2003) [5]

Elaborado por: Gabriela Narváez

Tabla B Rugosidad Absoluta en tubos comerciales Lisos


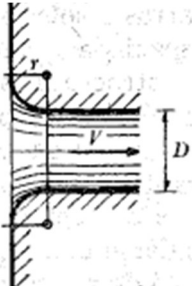
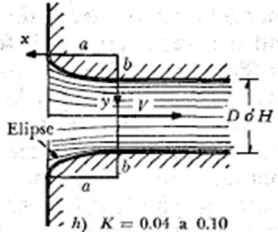
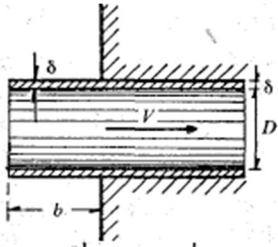
Material	ϵ [mm]
De vidrio, cobre, latón, madera (bien cepillada), acero nuevo soldado y con una mano interior de pintura; tubos de acero de precisión sin costura; serpentines industriales, plástico, hule	0.0015
Tubos industriales de latón	0.025
Tubos de madera	0.2 a 1
Hierro Forjado	0.05
Hierro fundido nuevo	0.025
Hierro fundido, con protección interior de asfaltado	0.12
Hierro fundido oxidado	1 a 1.5

Fuente: Hidráulica General-Volumen 1. G. Sotelo [11]

Elaborado por: Gabriela Narváez

ANEXO II

Tabla C Coeficientes de pérdidas menores—por entrada— para diferentes formas.

Pérdidas por entrada	
Tipo de Entrada	K
<p>Bordes agudos</p> 	0.5
<p>Bordes ligeramente redondeados</p> 	0.26
<p>Bordes acampanados</p>  <p style="font-size: small;">h) $K = 0.04$ a 0.10 para tubo circular; d de 0.07 a 0.2 para tubo rectangular.</p>	0.04 a 1
<p>Bordes entrantes</p> 	1

Fuente: Hidráulica General. Volumen 1, Sotelo. [11]

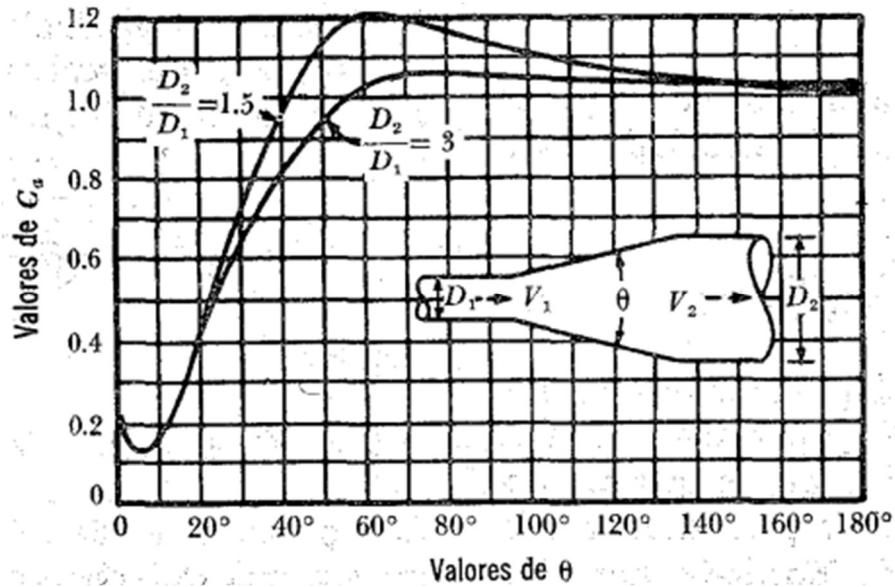


Figura. A Coeficientes de pérdida para ampliaciones graduales

Fuente: Hidráulica General. Volumen 1, Sotelo. [11]

Tabla D Coeficientes de pérdida K para válvulas abiertas, codos y «tes».

Válvulas (abiertas):	Diámetro nominal [in]									
	Roscado				Acoplado					
	1/2	1	2	4	1	2	4	8	20	
Globo	14,00	8,20	6,90	5,70	13,00	8,50	6,00	5,80	5,50	
Compuerta	0,30	0,24	0,16	0,11	0,80	0,35	0,16	0,07	0,03	
De retención	5,10	2,90	2,10	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	
De ángulo	9,00	4,70	2,00	1,00	4,50	2,40	2,00	2,00	2,00	
Codos:										
45° normal	0,39	0,32	0,30	0,29						
45° suave					0,21	0,20	0,19	0,16	0,14	
90° normal	2,00	1,50	0,95	0,64	0,50	0,39	0,30	0,26	0,21	
90° suave	1,00	0,72	0,41	0,23	0,40	0,30	0,19	0,15	0,10	
180° normal	2,00	1,50	0,95	0,64	0,41	0,35	0,30	0,25	0,20	
180° suave					0,40	0,30	0,21	0,15	0,10	
«Tes»:										
Flujo directo	0,90	0,90	0,90	0,90	0,24	0,19	0,14	0,10	0,07	
Flujo lateral	2,40	1,80	1,40	1,10	1,00	0,80	0,64	0,58	0,41	

Fuente: Mecánica de Fluidos, Frank M. White [5]

Tabla E Valores de k para cálculo de pérdidas menores

Elemento	Coefficiente K
Válvulas	
Válvula de globo, completamente abierta	10
Válvula en ángulo, completamente abierta	5
Válvula Check completamente abierta	20,5
Válvula de compuerta, completamente abierta	0,2
Válvula de compuerta, con $\frac{3}{4}$ de apertura	1 a 1,15
Válvula de compuerta, con $\frac{1}{2}$ de apertura	5,6
Válvula de compuerta, con $\frac{1}{4}$ de apertura	24
Accesorios	
Codo de radio corto ($r / d = \pm 1$)	0,9
Codo de radio mediano	0,75-0,80
Codo de gran radio ($r / d = \pm 1.5$)	0,6
Codo de 45°	0,4-0,42
Retorno (curva en U)	2,2
Tee en sentido recto	0,3
Tee a través de la salida lateral	1,8
Unión	0,3
Ye de 45°, en sentido recto	0,3
Ye de 45°, salida lateral	0,8
Entrada recta a tope	0,5
Entrada con boca acampanada	0,1
Entrada con tubo reentrante	0,9
Salida	1
Depósito a tubería (pérdida a la entrada)	
Conexión a ras de la pared	0,5
Tubería entrante	1
Conexión abocinada	0,05
De tubería a depósito (pérdida a la salida)	1
Codos y tees	
Codo de 45°	0,35-0,45
Codo de 90°	0,50-0,75
Tees	1,50-2,0

Fuente: Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento.

Libro 10: Conducciones [17]

ANEXO III

Ejemplo de Cálculo:

$$D = 3/4 [in] = 19.05 \text{ mm} = 0.01905 [m]$$

$$Q = 1.1 [m^3/h] = 3.06 \times 10^{-4} [m^3/s]$$

- **Área de la sección del Tubo**

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \quad \text{Ecuación 1.4}$$

$$A = \frac{\pi * (0.01905 \text{ m})^2}{4}$$

$$A = 0.000285 [m^2]$$

- **Velocidad**

Despejando la velocidad de la **Ecuación 1.5** se tiene:

$$Q = A V \quad \text{Ecuación 1.5}$$

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

$$V = \frac{3.06 \times 10^{-4} m^3/s}{0.000285 m^2}$$

$$V = 1.07 [m/s]$$

- **Numero de Reynolds**

Con la velocidad calculada y el diámetro propuesto se calcula el número de Reynolds, usando la **Ecuación 1.11**, considerando que, el agua que pasa por la tubería se encuentra a una temperatura aproximada de 15 °C, y tiene una viscosidad cinemática de 1.14×10^{-6} (m²/s).

$$Re = \frac{\text{Fuerzas Inercia}}{\text{Fuerzas viscosas}} = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad \text{Ecuación 1.11}$$

$$Re = \frac{1.07 \text{ m/s} \cdot 0.01905 \text{ m}}{1.14 \times 10^{-6} m^2/s} = 17914$$

$\therefore Re > 4\,000 \rightarrow \text{Flujo Turbulento}$

Con un caudal de 1.1 m³/h, una velocidad de 1.07 m/s y un diámetro de 19.05 mm se garantiza un flujo turbulento a lo largo de la tubería.

- **Altura de tanque Y1**

Para determinar la altura de agua constante Y1, es necesario aplicar la **Ecuación 1.8** de Bernoulli en la **Figura. B** y hacer un análisis en los puntos 1 y 2, debido a que la presión necesaria para generar dicha velocidad se dará por medio de la gravedad.

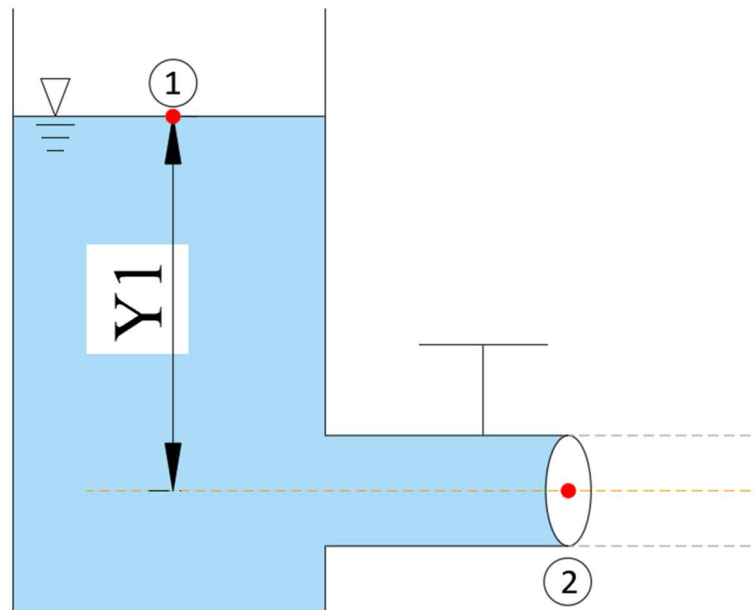


Figura. B Tanque de Carga y Tubería para aplicación de Ecuación 7 (Bernoulli)

Elaborado por: Gabriela Narváez

$$Y_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = Y_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + \sum hr \quad \text{Ecuación 1.8}$$

En el punto 1 y 2 existe presión atmosférica por lo que la presión en ambos puntos se simplifica. Además, la velocidad en el punto 1 se considera despreciable.

Quedando la ecuación de la siguiente manera:

$$Y_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \sum hr = \frac{V_2^2}{2g} + f * \frac{L}{d_o} * \frac{V_2^2}{2g} + k \frac{V_2^2}{2g}$$

Ecuación 0.1 Altura de agua Y1

$$\sum h_r = \begin{cases} \text{Pérdidas por fricción } h_f \rightarrow \text{Ecuación 1.12} \\ + \\ \text{Pérdidas locales } h_{LOC} \rightarrow \text{Ecuación 1.19} \end{cases}$$

- **Factor de fricción f:**

Primero se despeja el factor f de la **Ecuación 1.15**

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3.7 d} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad \text{Ecuación 1.15}$$

$$f_{asumido} = \left(\frac{1}{-2 \log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3.7 D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)} \right)^2$$

Se reemplaza valores de ε , D y Re y con la ayuda de una hoja de Excel se obtiene el factor de fricción, a través de iteraciones.

Como la tubería es de acrílico y los accesorios de PVC, se utiliza el valor de ε (coeficiente de rugosidad) correspondiente al PVC de la **Tabla 1.4**

Tabla F Factor de Fricción para Re=17914

D [mm]=	19,05			
ε [mm]=	0,0600			
Re=	17914			
Factor de Fricción				
# Iteración	Ff_asumido	f	error	%Error
1	0,5000000	0,0281696	-0,472	-1674,96224
2	0,0281696	0,0325087	0,004	13,34741
3	0,0325087	0,0321570	0,000	-1,09376
4	0,0321570	0,0321830	0,000	0,08096
5	0,0321830	0,0321811	0,000	-0,00604
6	0,0321811	0,0321812	0,000	0,00045
7	0,0321812	0,0321812	0,000	-0,00003
8	0,0321812	0,0321812	0,000	0,00000

Elaborado por: Gabriela Narváez

El factor de fricción para un número de Re=17914 es de f=0.03218 calculado con la **Ecuación 1.15** (Ec. Colebrook), para validar este resultado se procede a calcular el factor de fricción con la fórmula de Swamee (**Ecuación 1.17**) y con el diagrama de Moody (**Figura 1.7**), obteniendo los valores que se presenta en la **Tabla G**

Tabla G Cálculo del Factor de Fricción

Q [m3/h]	Re	Flujo Turbulento f_Coolebrook	f_Swamee	f_Diagr. Moody
1,10	17914	0,032	0,033	0,032

Elaborado por: Gabriela Narváez

- **Coefficiente de pérdidas menores k:**

El coeficiente de pérdidas k se obtiene sumando los k debido a los accesorios a lo largo de la tubería, se debe usar la **Tabla 1.5**

$$k_{entrada} = 1$$

$$k_{tinta} = 0.19$$

$$k_{unión} = 0.30$$

$$k_{válvula} = 0.19$$

$$k_{unión} = 0.30$$

$$k_{codo} = 0.90$$

$$k = 1 + 0.19 + 0.30 + 0.19 + 0.90 + 0.30 = 2.88$$

Finalmente se reemplaza los valores obtenidos (velocidad, diámetro de tubería, factor f, coeficiente k, además se propone una longitud de tubería de 0.70m) en la **Ecuación 0.1** para obtener Y2 (cota topográfica), dicha cota es la altura de agua, la cual se debe mantener constante en el tanque de carga para tener un caudal de 1.1 m3/h:

$$V = 1.07m/s$$

$$D = 0.01905 m$$

$$L = 0.70 m$$

$$f = 0.032$$

$$k = 2.88$$

$$Y_1 = \frac{V_2^2}{2g} + f * \frac{L}{d_o} * \frac{V_2^2}{2g} + k \frac{V_2^2}{2g} \quad \text{Ecuación 0.1}$$

$$Y_1 = \frac{V_2^2}{2g} \left[1 + f * \frac{L}{d_o} + k \right]$$

$$Y_1 = \frac{(1.07 \text{ m/s})^2}{2(9.81 \text{ m/s}^2)} \left[1 + 0.032 * \frac{0.70 \text{ m}}{0.01905 \text{ m}} + 2.88 \right]$$

$$Y_1 = 0.30 \text{ m} = 30 \text{ cm}$$

- **Volumen del tanque de descarga**

Las dimensiones del tanque para descarga se obtienen despejando el volumen de la **Ecuación 1.20**, sabiendo que se tiene un caudal de 1.1 m³/h y se asume un tiempo t=2min (tiempo estimado en colocar el trazador y observar el tipo de flujo)

$$Q = 1.1 \text{ m}^3/\text{h} = 3.06 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$t = 2 \text{ min} = 120 \text{ s}$$

$$Q = \frac{V' (l)}{t (s)} \quad \text{Ecuación 1.9}$$

$$V' = Q * t$$

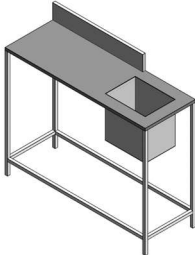





$$V' = 3.06 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} * 120 \text{ s}$$






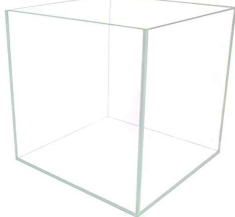


$$V' = 0.040 \text{ m}^3 = 40 \text{ litros}$$








Entonces para recibir un caudal de 1.1 m³/h en un tiempo de 2 min se necesita un recipiente de 0.0367 m³ (36.67 litros)

ANEXO IV

Tabla H Materiales Utilizados en la construcción del accesorio

PARTES DEL ACCESORIO	DETALLE	Material
ESTRUCTURA Y TANQUE DE DESCARGA	Mesa de hierro con soporte para el trazador y pozo de acero inoxidable	
	Ruedas con freno 1 1/2"	
ENTRADA DE AGUA Y TANQUE DE CARGA	Conector "Y" P/Manguera 3/4"	
	Unión bronce p/manguera 3/4"	
	Adaptador Flex 3/4"	
	Abrazadera Manguera 11-25x12,7mm	

	Manguera Transparente 3/4"	
	Universal 3/4"	
	Neplo roscable 3/4"	
	Codo cachimba	
	Adaptador P/Tanque 3/4"	
	Tanque de acrílico	
CONDUCTO	Cinta métrica	
	Tubo de acrílico 3/4"	

	Adaptador PVC	
	Válvula de compuerta 3/4"	
	Codo cachimba	
DESAGÜES	Vaso de precipitación de 1000 ml	
	Neplo de hierro galvanizado 1/2"	
	Válvula esférica 1/2"	
	Adaptador Flex 1/2"	

	Manguera 1/2"	
SISTEMA DE TINTA O SUMINISTRO DE TRAZADOR	Probeta de Precipitación 500 ml	
	Manguera de Suero	
	Tubería de cobre	
	Permanganato de Potasio	

Elaborado por: Gabriela Narváez

ANEXO V

PRACTICA N° 1

TEMA: EXPERIMENTO DE REYNOLDS

1. OBJETIVOS

- Observar los diferentes tipos de flujos: laminar, transición y turbulento a través de una tubería por la cual circula agua.
- Determinar los tipos de flujos en función del número de Reynolds.
- Conocer las diferencias entre los distintos tipos de flujos

2. MARCO TEÓRICO

El número de Reynolds es un número adimensional, que determina el comportamiento de los fluidos dentro de una tubería, y es la relación entre fuerzas de inercia y las fuerzas debidas a la viscosidad. [1]

Para determinar el número de Reynolds en tuberías se utiliza la siguiente ecuación

$$Re = \frac{\text{Fuerzas Inercia}}{\text{Fuerzas viscosas}} = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

Ecuación 1. Número de Reynolds

Donde:

Re: Número de Reynolds

V: velocidad media en m/s

D: diámetro de la tubería en m,

ν : viscosidad cinemática del flujo en m²/s (Ver **Tabla 1**)

Tabla 1. Viscosidad Cinemática del agua

Temperatura (°C)	Viscosidad Cinemática (m ² /s)
10	1.308 x 10 ⁻⁶
15	1.142 x 10 ⁻⁶
20	1.007 x 10 ⁻⁶

25	0.897×10^{-6}
30	0.804×10^{-6}

Fuente: Mecánica de Fluidos, Ranald Giles, Jack Evett, Cheng Liu

Elaborado por: Gabriela Narváez

Osborne Reynolds a través del número de Reynolds define los tipos de flujos de la siguiente manera:

- (a) Flujo Laminar
- (b) Flujo Turbulento
- (c) Flujo en Transición

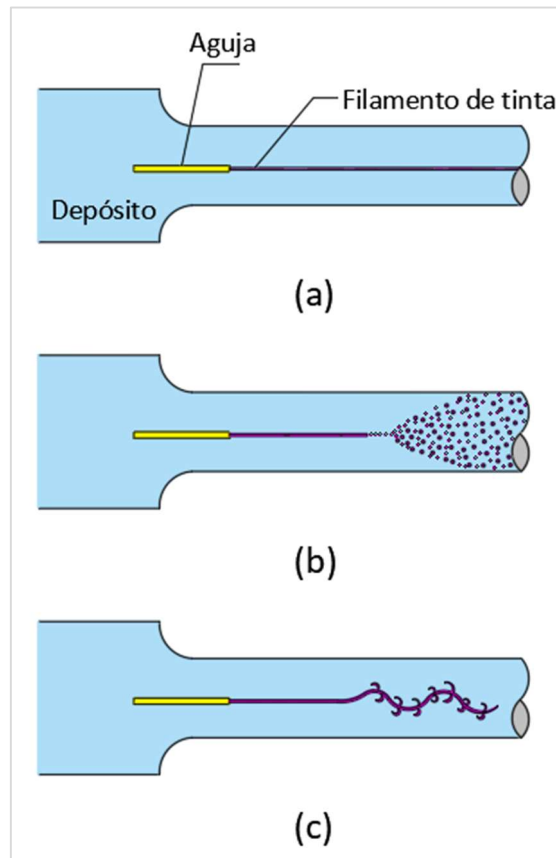


Figura 1. Esquema de Reynolds sobre la transición en Tubos

Fuente: Mecánica de Fluidos, Frank White (2003)

Para flujos en tuberías se establecen los siguientes valores críticos de Reynolds:

Tabla 2. Valores críticos de Reynolds para Flujo en Tuberías

Flujo Laminar	$Re \leq 2000$
Flujo en Transición	$2000 < Re \leq 4000$
Flujo Turbulento	$Re > 4000$

Fuente: Mecánica de Fluidos, Frank White (2003)

- Flujo Laminar

El flujo laminar es un tipo de movimiento de un fluido de forma ordenada, es decir sus partículas se mueven en trayectorias suaves definidas o líneas de corriente en el sentido y dirección del fluido formando láminas paralelas sin estremecerse. Este flujo se da debido a que las fuerzas viscosas son más fuertes que las fuerzas de inercia. [2]

- Flujo Turbulento

En un flujo turbulento, las partículas se mueven sobre trayectorias completamente irregulares, sin seguir un orden establecido. Este flujo se da debido a que las fuerzas viscosas son débiles comparadas con las fuerzas de inercia. [1]

- Flujo en Transición

El flujo en transición ocurre cuando la línea del fluido pierde estabilidad formando pequeñas ondulaciones variables en el tiempo. [3]

3. MATERIALES

- Accesorio Banco Hidráulico
- Vaso de precipitación
- Cronómetro
- Trazador (Permanganato de Potasio $KMnO_4$)
- Balde

4. PROCEDIMIENTO

4.1 Preparación del equipo

- Verificar que el módulo de cabina de depósito central (tanque de almacenamiento de agua principal) se encuentre lleno.

- Colocar el trazador (Permanganato de Potasio $KMnO_4$), en el recipiente de tinta
- Cerrar la válvula esférica colocada en el desagüe
- Colocar la manguera de desagüe en un balde.
- Abrir la válvula reguladora de flujo del banco hidráulico,
- Abrir la válvula del conector en “Y” que permite el paso hacia el accesorio construido de flujo laminar y turbulento (válvula 1) y cerrar la válvula de paso de agua hacia el banco hidráulico (válvula 2)
- Cerrar la válvula de compuerta de la tubería de acrílico
- Prender la bomba, dejar llenar parcialmente el tanque y cuando el agua pase por la tubería de acrílico se debe abrir la válvula de compuerta y eliminar las burbujas de aire. Al mismo tiempo se debe abrir la llave del suministro de trazador para verificar su flujo
- Recibir el agua mezclada con el trazador en el tanque para descarga.
- Abrir la válvula esférica de desagüe y dejar caer el agua mezclada con el trazador en el balde.

4.2 Procedimiento de la práctica

- Preparar el accesorio como se explicó anteriormente.
- Colocar la manguera de desagüe en el módulo de cabina de depósito central.
- Prender la bomba y dejar que entre agua al tanque de carga (Esperar de 15 segundos aproximadamente).
- Abrir la válvula de compuerta y eliminar las burbujas de aire.
- Dejar que el agua se estabilice a una altura determinada en el tanque de carga (aproximadamente 3 min), realizando aperturas graduales de la válvula de compuerta y de la válvula reguladora de flujo para controlar el caudal de entrada y de salida.
- Mientras se realiza el paso anterior se debe abrir la válvula esférica del desagüe para que exista recirculación de agua.

- Una vez estabilizada el agua a una altura determinada, cerrar la válvula esférica de desagüe.
- Abrir la válvula del suministro de trazador y visualizar las líneas de flujo en función del caudal que atraviesa por la tubería. El agua con el trazador se almacenará en el recipiente para descarga.
- Medir el caudal a través de aforo volumétrico con ayuda de un vaso de precipitación y un cronómetro (3 medidas por caudal).
- Una vez terminada la práctica, apagar la bomba y cerrar la válvula reguladora de flujo del banco hidráulico para evitar entrada de aire a la bomba.
- Colocar la manguera de desagüe en un balde y abrir la válvula esférica para recolectar el agua con trazador. Luego desecharla con el fin de evitar que el agua con trazador contamine el agua de la cabina de depósito central.
- Repetir el procedimiento y realizar 3 medidas de caudal por cada línea de flujo observada (laminar, transición, turbulento)

Nota:

- Se debe regular el convertidor de frecuencia a 1800 revoluciones cuando se toman los datos para el flujo laminar y de transición e ir abriendo o cerrando parcialmente la válvula de compuerta y la válvula reguladora de flujo.
- Si se desea tomar datos para la válvula de compuerta totalmente abierta a una altura de 30 cm, se debe regular el convertidor de frecuencia por lo menos a 3504 revoluciones.

5. CALCULOS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

- Tabule los datos obtenidos en la práctica
- Tabule los resultados
- Desarrolle un Ejemplo de Cálculo:

Caudal

$$Q = \frac{V'}{t} \times 10^6 \text{ (ml/s)}$$

Donde:

Q: Caudal (m³/s)

V': volumen (ml)

t: tiempo (s)

Caudal Promedio

$$Q_{prom} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{3 * 10^6} (m^3/s)$$

Donde:

Q1, Q2, Q3: Caudal (ml/s)

Velocidad

$$V = \frac{Q}{A} (m/s)$$

Donde:

V: Velocidad (m/s)

Q: Caudal (m³/s)

A: Área (m²)

Numero de Reynolds

$$Re = \frac{\text{Fuerzas Inercia}}{\text{Fuerzas viscosas}} = \frac{V * D}{\nu}$$

Donde:

Re: Número de Reynolds

V: velocidad media en m/s

D: diámetro de la tubería en m,

ν : viscosidad cinemática del flujo en m²/s

6. CONCLUSIONES

- Escriba al menos 3 conclusiones con respecto a la práctica realizada

7. RECOMENDACIONES

- Escriba al menos 3 recomendaciones con respecto a la práctica realizada

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. V. Giles, J. B. Evett y C. Liu, Mecánica de los Fluidos e Hidráulica, Tercera ed., M. J. Norte, Ed., Aravaca, Madrid: McGraw-Hill.
- [2] V. T. Chow, Hidráulica de Canales Abiertos, M. E. Suárez, Ed., Colombia: McGRAW-HILL, 2004.
- [3] F. M. White, Mecánica de Fluidos, Quinta ed., Mc Graw Hill, 2003.

9. HOJA DE REGISTRO DE DATOS

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
HOJA DE REGISTRO DE DATOS

Nombres:

Fecha:

DATOS DEL CONDUCTO		
Longitud	L [m]=	
Diámetro	D [mm]=	
Área	A [cm ²]=	
DATOS DEL FLUIDO		
Temperatura	T [°C]=	
Viscosidad Cinemática	ν [m ² /s]=	

# Ensayo	Datos de Ensayo			Resultados Obtenidos					
	Volumen	Tiempo	Caudal	Caudal Promedio			Velocidad	Reynolds	Tipo de Flujo
	V [ml]	t [s]	Q [ml/s]	Q [ml/s]	Q [m ³ /h]	Q [m ³ /s]	V [m/s]	Re	
1.1									Flujo Turbulento
1.2									
1.3									
2.1									Flujo en Transición
2.2									
2.3									
3.1									Flujo Laminar
3.2									
3.3									

ANEXO VI

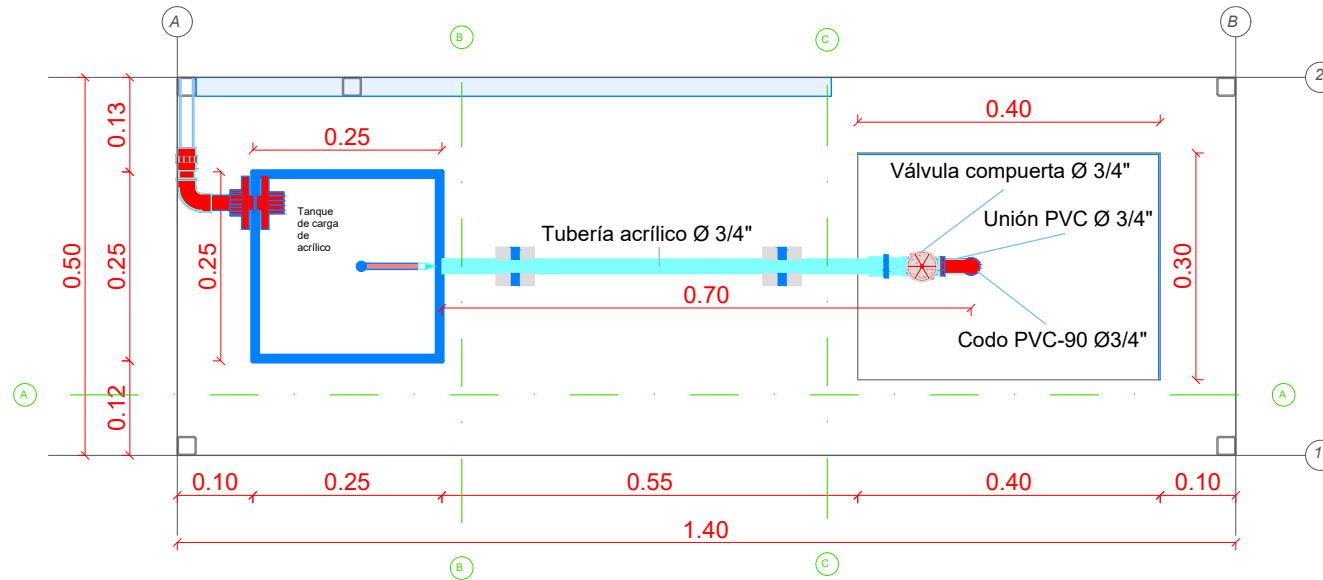
Enlace Instructivo:

https://drive.google.com/drive/folders/1f18SlkPfZqU6jZ5uV76xuEYNL_tDcPDX?usp=share_link

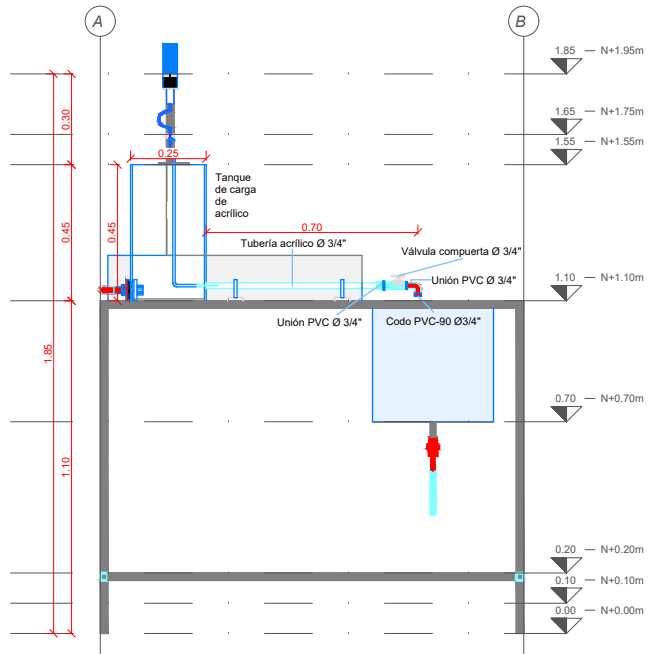
Enlace Video Tutorial:

https://drive.google.com/drive/folders/1kzxX_nN9prqdZSiaX9P8HfXNK2Ipvqf?usp=share_link

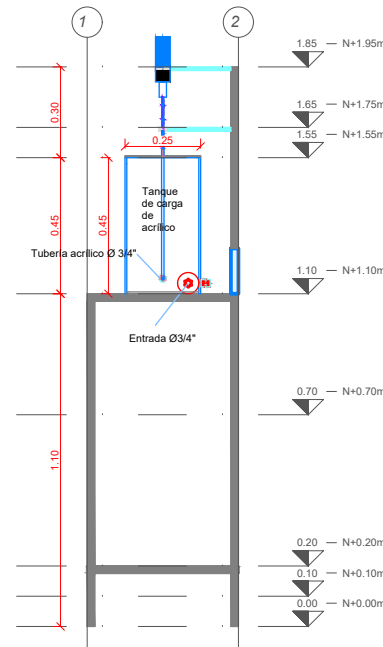
ANEXO VII



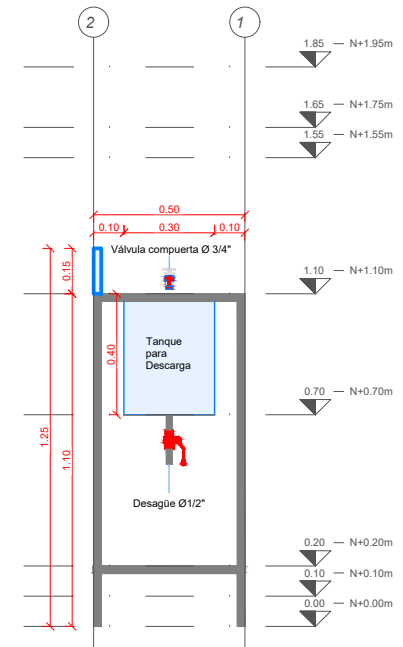
1 VISTA EN PLANTA
E 1 : 10



A CORTE A-A
E 1 : 25



B CORTE B-B
E 1 : 25



C CORTE C-C
E 1 : 25