

**EXPERIMENTO DE REYNOLDS
(CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO)**

ADRIANA MILENA CALDERON RAMIREZ

GERDERSON NAIN VARGAS PIDIACHE

YEISSON JAVIER MORALES GUTIERREZ

UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERIAS

PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

VILLAVICENCIO

2017

**EXPERIMENTO DE REYNOLDS
(CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO)**

ADRIANA MILENA CALDERON RAMIREZ

GERDERSON NAIN VARGAS PIDIACHE

YEISSON JAVIER MORALES GUTIERREZ

Auxiliar de investigación como requisito para optar el título de Ingeniero Civil.

Asesor Técnico
Alejandro Novoa Castro
Ingeniero Agrícola Esp. Recursos Hídricos

UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERIAS

PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

VILLAVICENCIO

2017

AUTORIDADES ACADÉMICAS

DRA. MARITZA RONDÓN RANGEL
RECTORA NACIONAL

DR. CESAR PÉREZ LONDOÑO
DIRECTOR DE SEDE

DR. HENRY VERGARA BOBADILLA
SUBDIRECTOR ACADÉMICO

DRA. NANCY GIOVANA COCUNUBO
DIRECTORA DE INVESTIGACIONES

ING. RAÚL ALARCÓN BERMÚDEZ
DECANO FACULTAD

ING. NELSON EDUARDO GONZALEZ
COORDINADOR DE COMITÉ DE INVESTIGACIONES DE PROGRAMA

PÁGINA DE ADVERTENCIA

La Universidad Cooperativa de Colombia no
se hace responsable de los conceptos
emitidos por los autores de este trabajo.

NOTA DE ACEPTACIÓN

FIRMA PRESIDENTE JURADO

FIRMA DEL JURADO

DEDICATORIA

Villavicencio 11 de octubre.

Dedico este trabajo primeramente a Dios la muestra más grade de amor y humildad, de esfuerzo y recompensa; a mi familia a mi abuela Ernestina Garzón, mi madre Sandra, mi familia y de más personas docentes y amigos que me ayudaron a formar como persona e ingeniera.

Adriana Milena Calderón Ramírez

A Dios, por ser mi guía e inspiración, a mi madre por su esfuerzo y apoyo incondicional, mis hijos, mi novia y de más personas que supieron esperar y perseverar ante las adversidades de este sueño que hoy culmina.

Gerderson Nain Vargas Pidiache

A Dios por permitir que alcanzara mi meta, por darme esperanza en los momentos difíciles a mi madre, mi familia y mi abuelo que siempre me apoyaron incondicionalmente.

Yeisson Javier Morales Gutiérrez

AGRADECIMENTOS

Agradecemos enormemente de la manera más sincera al ingeniero Alejandro Novoa por su gran entrega de conocimientos, de tiempo y de buena actitud para con nosotros, por permitirnos sobrepasar el último peldaño de este proceso además de su gran carisma y enseñanzas no solo como docente si no como persona.

De igual manera a todos y cada uno de los decentes que nos enseñaron a crecer humanamente y profesionalmente para poder llegar a titularnos como Ingeniero Civil.

Sin duda un agradecimiento fraternal a nuestra universidad cooperativa de Colombia por abrirnos sus puertas y permitirnos lograr tan preciado sueño.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	13
1. Planteamiento del problema	15
2. Objetivos	16
2.1. Objetivo general.	16
2.2. Objetivos específicos.....	16
3. Justificación	17
4. Marco de referencia	19
4.1. Marco teórico.....	19
4.1.1. Definiciones.....	19
4.2. Marco conceptual	21
4.2.1. Experimento de Reynolds.....	23
4.2.2. Descripción del sistema	28
4.2.3. Procedimiento	29
4.2.4. Recomendaciones	30
4.3. Marco legal.....	31
4.3.1 Resolución 2755 de 2006.....	31
4.3.2. Decreto 1295 de 2010.....	31

	9
5. Metodología	33
5.1. Diseño.....	33
5.2. Recursos humanos.....	33
5.3. Lugar	34
5.4. Procedimiento de diseño (dimensionamiento y descripción).....	34
5.5. Descripción y dimensionamiento	34
5.6. Registro fotográfico de ensamble.....	36
6. Ensayo	38
6.1. Resultados.	38
7. Análisis de resultados	41
7.1 Actividad 1 (V1 completamente abierta y V2 completamente cerrada).	41
7.2 Actividad 2 (V1 totalmente abierta y V2 una vuelta abierta.).....	42
7.3 Actividad 3 (V1 totalmente abierta y V2 con dos vueltas abierta.)	42
7.4 Actividad 4 (V1 totalmente a vierta y V2 con tres vueltas abierta.)	43
7.5 Actividad 5 (V1 totalmente abierta y V2 con cuatro vueltas abierta).....	43
7.6 Actividad 6 (las dos válvulas totalmente abiertas).....	44
8. Conclusiones	45
9. Bibliografía	46

Lista de tablas

TABLA 1. V1 TOTALMENTE ABIERTA Y V2 TOTALMENTE CERRADA	38
TABLA 2. V1 TOTALMENTE ABIERTA Y V2 UNA VUELTA ABIERTA	38
TABLA 3. V1 TOTALMENTE ABIERTA Y V2 DOS VUELTAS ABIERTA	39
TABLA 4. V1 TOTALMENTE ABIERTA Y V2 TRES VUELTAS ABIERTA	39
TABLA 5. V1 TOTALMENTE ABIERTA Y V2 CUATRO VUELTAS ABIERTA	39
TABLA 6. V1 TOTALMENTE ABIERTA Y V2 TOTALMENTE ABIERTA	40

Listado de imágenes

IMAGEN 1 ESQUEMA DE APARATO UTILIZADO POR O. REYNOLDS PARA ESTABLECER EL RÉGIMEN DEL FLUJO E TUBERÍAS	24
IMAGEN 2 RESULTADOS DEL PRIMER EXPERIMENTO DE REYNOLDS	25
IMAGEN 3 FLUJO DE TUBERÍAS EN TURBULENCIA. A) VECTORES DE VELOCIDAD DE VARIAS PARTÍCULAS EN UN INSTANTE DADO. B) TRAYECTORIA DE UNA PARTÍCULA EN UN INTERVALO DE TIEMPO	27
IMAGEN 4 MONTAJE GENERAL PARA EL EXPERIMENTO DE REYNOLDS. LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA ECI.....	28
IMAGEN 5 . DIMENSIONES DEL TUBO DE REYNOLDS DISPONIBLE EN EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA ECI.....	29
IMAGEN 6 . DESPIECE TAQUE DE AQUIETAMIENTO. AUTOCAD	35
IMAGEN 7 . DESPIECE TANQUE DE AFORO. AUTOCAD	35
IMAGEN 8 . DISEÑO FINAL PROTOTIPO DE REYNOLDS. AUTOCAD.....	35

Lista de fotos

FOTO 1 ENSAMBLE DE DESAGÜE.....	36
FOTO 2. ENSAMBLE DE TANQUES Y SOPORTES.....	36
FOTO 3. ENSAMBLE DE BOMBA.....	36
FOTO 4. ENSAMBLE DE RETORNO.....	37
FOTO 5. ENSAMBLE DE TUBERÍA ACRÍLICA.....	37
FOTO 6. PROTOTIPO ENSAMBLADO.....	37
FOTO 7. ACTIVIDAD 1 FLUJO TRANSICIONAL.....	41
FOTO 8. ACTIVIDAD 2, F.LAMINAR Y TRANSICIONAL.....	42
FOTO 9 ACTIVIDAD 3, FLUJO LAMINAR EN LOS DOS TUBOS.....	42
FOTO 10. ACTIVIDAD 4, FLUJO LAMINAR Y FLUJO TRANSICIONAL.....	43
FOTO 11. ACTIVIDAD 5, FLUJO LAMINAR Y FLUJO TRANSICIONAL.....	43
FOTO 12. ACTIVIDAD 6, FLUJO TRANSICIONAL.....	44

Introducción

Este proyecto del diseño y construcción del prototipo del experimento de Reynolds se basa en el estudio y comprensión de las características del comportamiento de fluidos en su desplazamiento a través de sistemas de tuberías, teniendo en cuenta todas las variables que intervienen en su efecto tales como las propiedades fundamentales de cada fluido, velocidad, temperatura, entre otras.

En la ingeniería civil se manejan sistemas de transporte de fluidos donde este es principalmente es el agua, como por ejemplo sistemas de riego, alcantarillados, tuberías de transporte de agua potable entre otros. Para ello debemos estudiar su comportamiento en el transporte bajo diferentes condiciones. Su mecánica es comprendida mediante el número de Reynolds que muestra el tipo de flujo que se maneja y así llegar a conclusiones de pérdidas de energía por fricción y de más variables de su comportamiento.

Con este proyecto se complementara el laboratorio de hidráulica de la universidad y asegura que los futuros ingenieros civiles de la universidad cooperativa de Colombia manejen y comprendan el comportamiento de los fluidos bajo diferentes condiciones y sistemas, en donde no solo prime el conocimiento teórico sino también el práctico que conlleva a tener profesionales completos y competitivos para alcanzarla excelencia que caracteriza a la universidad.

Este trabajo está compuesto por cuatro partes fundamentales, la primera es la recopilación teórica o marco teórico del tema, la segunda parte plantea los diseños y el procedimiento de

Ensamble del prototipo, la tercer parte se compone de las recomendaciones de uso y del mantenimiento del prototipo para garantizar su funcionamiento y por último se encuentra la comprobación del funcionamiento a través de dos ejercicios (flujo laminar y flujo turbulento).

1. Planteamiento del problema

La universidad cooperativa de Colombia sede Villavicencio en su constante esfuerzo por mantener y mejorar la su formación en la excelencia, en el programa de ingeniería civil posee uno de los laboratorios más completos de la ciudad de Villavicencio, en el área del laboratorio de la línea de aguas, el estudiante de una manera práctica puede comprender y analizar los conceptos teóricos, lastimosamente falta uno de los prototipos básicos de la mecánica de fluidos.

Para los estudiantes poder llevar los conceptos teóricos a lo practico es de suma importancia en su formación, conceptos básicos para la mecánica de fluidos, hidráulica de más ramas que se extienden a partir de las propiedades de los fluidos, como viscosidad, densidad etc.

El experimento de Reynolds nos muestra tales conceptos y de una manera dinámica completa el proceso teórico práctico.

Con el diseño y construcción del experimento de Reynolds la universidad Cooperativa de Colombia sede Villavicencio verá mucho más completo el laboratorio de hidráulica y de igual manera el conocimiento de sus estudiantes.

En la ingeniería civil es de vital importancia entender qué tipo de flujo se genera en un fluido a medida que se transporta por esto nos enfocamos en el número de Reynolds.

2. Objetivos.

2.1. Objetivo general.

Diseñar y construir el modelo del prototipo de Reynolds a escala para efectuar el procedimiento de identificación de flujos.

2.2. Objetivos específicos.

- Diseñar el modelo de los tanques y estructura.
- Construir el prototipo siguiendo el diseño y planos propuestos.
- Ensamble del prototipo y pruebas de agua siguiendo la actividad con datos numéricos (aforo).

3. Justificación.

Para la ingeniería civil es muy importante comprender de manera concreta las teorías de los fluidos ya que en esta profesión hay campos en donde se enfocan en el movimiento de fluidos vitales tales como el agua (canales, acueductos, alcantarillas, tuberías, etc.) con este trabajo buscamos demostrar la teoría del número de Reynolds ya que es básico para poder entender el comportamiento de fluidos en movimiento.

El fin de este proyecto es que los estudiantes tengan el concepto claro y conciso del comportamiento de los fluidos en movimiento y que de manera matemática o numérica mediante la teoría Reynolds hacer de esta una teoría real y tangible.

En la hidráulica el número es una función de la densidad, la viscosidad y la velocidad del fluido, así como de un diámetro característico. Establecer la expresión del número de Reynolds mediante el análisis dimensional. (Giles, Evett, & Liu, Mecánica de los fluidos e hidráulica , 1994, pág. 161). Este número adimensional no solo es importante en la ingeniería si no en la medicina, ingeniería naval y aeronáutica.

Los tipos de flujos y la asignación de valores numéricos de cada uno, fueron reportados por primera vez por Osborne Reynolds en 1883. (Sotelo Avila, 1997, pág. 97), lo que en la actualidad facilita los cálculos para el diseño de las estructuras que tienen contacto con fluidos como el agua ya sea en su transporte, bombeo o almacenamiento. Básicamente Reynolds observó que el tipo de flujo adquirido por un fluido que fluye dentro de una tubería depende de la velocidad del líquido, el diámetro de la tubería y de algunas propiedades físicas del fluido.

Dicho número o combinación adimensional aparece en muchos casos relacionado con el hecho de que el flujo pueda considerarse laminar ($Re \leq 2000$) de transición ($2000 \leq Re \leq 4000$) o turbulento ($Re \geq 4000$)

Entonces en este orden por medio de este trabajo queremos llegar a la aplicación del conocimiento teórico práctico a la mecánica de fluidos, del manejo de datos matemáticos y de trabajo en equipo para formar profesionales competitivos y bien preparados como lo acostumbra la universidad cooperativa de Colombia sede Villavicencio.

4. Marco de referencia.

La ingeniería civil se compone de dos partes importantes que son la práctica y el conocimiento teórico e investigativo, de esta forma en varios campos que abarca la ingeniería civil se desarrollan varias investigaciones valiéndose de laboratorios experimentales para comprender de una manera concreta los problemas que se presentan en cada campo al momento de ejercer.

En este caso nuestra investigación parte desde el conocimiento básico de la mecánica de fluidos para entender de manera breve el funcionamiento y comportamiento de los fluidos, además de tener familiarizarnos con los términos y definiciones utilizados en este campo. La investigación breve fue obtenida de internet a continuación los links.

- https://es.wikipedia.org/wiki/Mec%C3%A1nica_de_fluidos “la mecánica de fluidos es la rama de la física comprendida dentro de la mecánica de medios continuos que estudia el movimiento de los fluidos”
- http://proyecto-de-fisica.blogspot.com.co/2011/07/mecanica-de-fluidos_10.html “la mecánica de fluidos es la rama de la física que estudia el movimiento de los fluidos aplicando los principios fundamentales de la mecánica general.”

4.1. Marco teórico

4.1.1. Definiciones.

4.1.1.1 *Número de Reynolds (Re)*: El número de Reynolds relaciona la densidad, viscosidad, velocidad y dimensión típica de un flujo en una expresión adimensional. Dicho número o

combinación adimensional aparece en muchos casos relacionado con el hecho de que el flujo pueda considerarse laminar o turbulento. (Mott, 2006, pág. 229).

4.1.1.2. *Viscosidad*: es la medida de su resistencia a fluir como resultado de la interacción y cohesión que tienen sus moléculas (Sotelo Avila, 1997, pág. 23), es decir, es la oposición de un fluido a deformarse y esta oposición es debida a las fuerzas de adherencia que tienen unas moléculas de un líquido o fluido con respecto a las otras moléculas del mismo líquido.

4.1.1.3. *Partículas*: es el fragmento más pequeño de materia que mantiene las propiedades químicas de un cuerpo. En este sentido, los átomos y las moléculas son partículas. Su tamaño es pequeño pero lo suficientemente grande para poder ser eliminados por una filtración.

4.1.1.4. *Flujo laminar*: En el flujo laminar las partículas fluidas se mueven según trayectorias paralelas, formando junto de ellas capas o laminas. Está gobernado por la ley que relaciona la tensión cortante con la velocidad de deformación angular. (Giles , Mecanica de los Fluidos E Hidraulica, 1973, pág. 96).

4.1.1.5. *Flujo turbulento*: En el flujo turbulento las partículas fluidas se mueven de forma desordenada en todas las dimensiones (Giles , Mecanica de los Fluidos E Hidraulica, 1973, pág. 96). Debido a esto, la trayectoria de una partícula se puede predecir hasta una cierta escala, a partir de la n cual la trayectoria de la misma es impredecible, más precisamente caótica. (Rodriguez Diaz , 2001, pág. 72)

4.2.Marco conceptual

La viscosidad es la propiedad de los fluidos que causa esfuerzos cortantes cuando estos se encuentren en movimiento. Es también uno de los medios se desarrollan irreversibilidades o pérdidas de energía.

Para estudiar la resistencia al flujo resulta necesario volver a la clasificación de los flujos y considerar las grandes diferencias entre el flujo laminar y el flujo turbulento.

El flujo de un fluido real no puede ser completamente unidimensional debido al efecto de la viscosidad, ya que la velocidad de una frontera sólida es igual a cero, pero en otro punto es distinta a cero; sin embargo, según la consideración de valores medios de las características en cada sección, se puede calificar de unidimensional. Esta hipótesis es la más importante en hidráulica, por las simplificaciones que trae consigo.

La clasificación de los flujos en laminar y turbulento es resultado propiamente de las viscosidades del fluido y no habría distinción entre estos tipos de flujo en ausencia de la misma.

El flujo laminar se caracteriza por el movimiento de las partículas se produce siéguenlo trayectorias separadas perfectamente definidas, no necesariamente paralelas, sin existir mezcla macroscópica o intercambio transversal entre ellas. Al inyectar colorante (de la misma densidad del líquido) en el flujo laminar, este se mueve como un filamento delgado que sigue las trayectorias del flujo. El flujo laminar es aquel en el que el fluido se mueve en capas o laminas, deslizándose suavemente una capa sobre la otra adyacente con un solo intercambio molecular de cantidad d movimiento. Cualquiera que sea la inestabilidad ola turbulencia, se amortigua por fuerzas cortantes viscosas que resisten el movimiento relativo de las cargas adyacentes.

En un flujo turbulento, las partículas se mueven sobre trayectorias completamente erráticas, sin seguir un orden establecido. Existen pequeños componentes de la velocidad en

direcciones transversales a las del movimiento general, las cuales no son constantes, sino que fluctúan con el tiempo, de acuerdo con la ley aleatoria, aun cuando flujo general sea permanente, ya que la permanencia respecto del tiempo se refiere a los valores medios de dichos componentes en un intervalo grande. Los componentes transversales de la velocidad en cada punto originan una mezcla intensa de las partículas que consume parte de la energía del movimiento por efecto de fricción interna y que también, en cierto modo, es resultado de los efectos viscosos del fluido. En el flujo turbulento existe un cambio de movimiento transversal muy fuerte.

El número de Reynolds señala la naturaleza del flujo laminar o turbulento y posición relativa sobre una escala que indica la importancia relativa de las tendencias de turbulento o laminar.

También se han desarrollado ecuaciones más generales que incluyen la viscosidad, esto es, se tienen en cuenta los esfuerzos cortantes, resultado de ecuaciones complejas, por ser ecuaciones diferenciales parciales no lineales cuyas soluciones generales no se han obtenido.

Osborne Reynolds las estudio para tratar de determinar cuándo dos situaciones de flujo serian semejantes. En este sentido se puede decir que en los dos casos son dinámicamente similares cuando:

1. son geoméricamente análogos, es decir, existes una relación constante entre las dimensiones lineales correspondiente.

2. las líneas de corriente correspondiente son geoméricamente semejantes, o las presiones en puntos correspondientes tiene una relación constante.

Para los flujos geoméricamente semejantes, Reynolds dedujo que serían dinamicamente similares si las ecuaciones diferenciales generales que describen su flujo son idénticas. Al cambiar las unidades de masa, longitud y tiempo en un conjunto de ecuaciones y determinar la condición que debe satisfacerse para hacerlas idénticas a las ecuaciones originales, Reynolds encontró que el grupo adimensional $\frac{vl\rho}{\mu}$ debe ser el mismo para ambos casos, siendo v la velocidad característica, l una longitud característica, ρ la densidad de masa y μ la viscosidad absoluta. (Rodríguez Díaz , 2001, pág. 70).

Ese parámetro se conoce como el número de Reynolds y se expresa:

$$NR = \frac{vl\rho}{\mu}$$

4.2.1. Experimento de Reynolds

Los desarrollos alcanzados inicialmente (1830 o antes) solo permitían la identificación de dos tipos de flujo que se diferenciaban por el comportamiento en las pérdidas de energía. Hacia 1839, Hagen encontró experimentalmente los principios del flujo laminar, en 1840 Poiseuille lo hizo de una manera analítica, (ecuación de Hagen – Poiseuille para flujo laminar) y en conciencia fue posible diferenciar esos dos tipos de flujo. La correcta descripción y formulación de los tipos de flujo fue planteada, entre 1880 y 1884, por Osborne Reynolds en la universidad de Cambridge (Inglaterra).

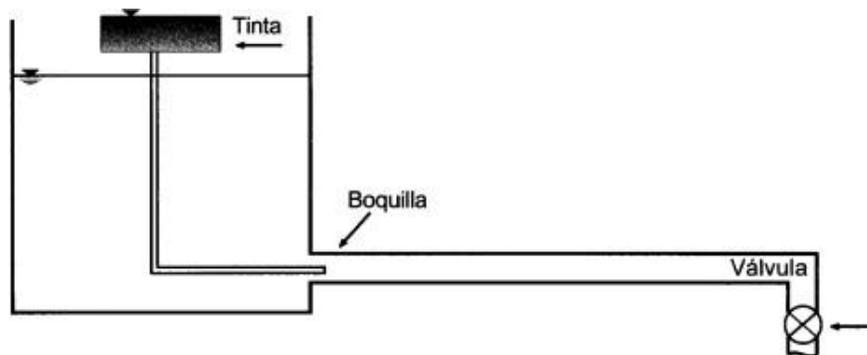
En el caso de un tubo cilíndrico transportando un flujo de presión, como el de este experimento, el número de Reynolds queda definido de la siguiente manera:

$$NR = \frac{VD}{\nu}$$

Donde V es la velocidad media, D es el diámetro del conducto ν es la viscosidad cinemática. (Rodríguez Díaz , 2001, pág. 71)

La siguiente figura describe gráficamente el primer experimento de Reynolds. Para observar el cambio de flujo, utilizo tuberías de vidrio de diferentes diámetros conectadas a un tanque de agua grande. En la línea central de las tuberías, Reynolds inyectó tinta con el fin de visualizar los cambios que experimentaba el flujo. El tamaño del tanque era el requerido para garantizar un flujo permanente en las tuberías y una turbulencia remanente muy baja. (Saldarriaga, 2007, pág. 6)

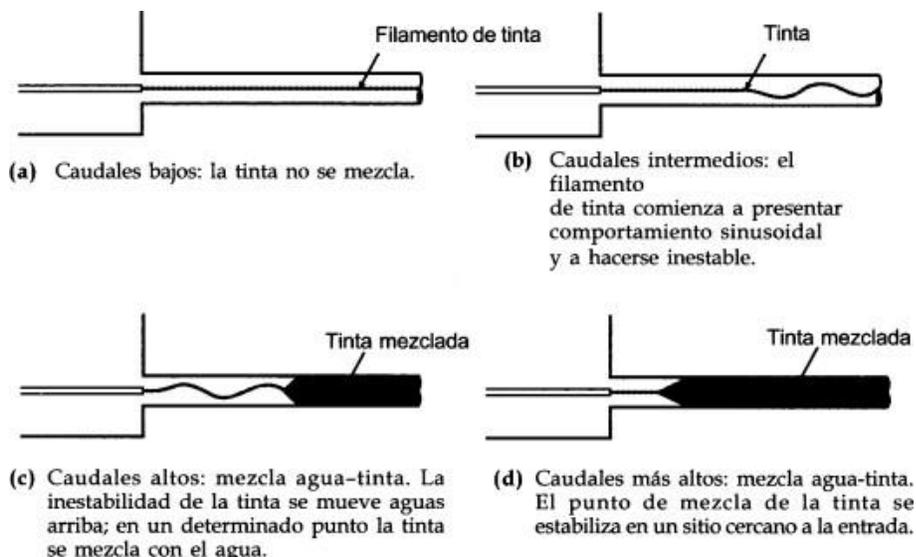
Imagen 1 Esquema de aparato utilizado por O. Reynolds para establecer el régimen del flujo e tuberías.



Fuente: (Saldarriaga, 2007), extraído de hidráulica de tuberías, capítulo 1 pág.6

Al abrir la válvula, Reynolds noto que se dan cuatro tipos de flujos, subyacentes de los dos principales laminar y turbulento, tal como se muestra en la figura 2 en la cual se esquematiza el comportamiento de la tinta trazadora. (Saldarriaga, 2007, pág. 6)

Imagen 2 Resultados del primer experimento de Reynolds.



Fuente: (Saldarriaga, 2007), extraído de hidráulica de tuberías, capítulo 1 pág.6

Se montó un tubo de vidrio, horizontal, con un extremo acampanado dentro de un tanque y con una válvula en el extremo opuesto. En la entrada acampanada lisa, en el extremo aguas arriba, se colocó un inyector de tinta dispuesto de tal manera que se pudiera establecer una alimentación continua de tinta para generar una corriente fina. El inyector se podía poner en cualquier punto frente a la boca acampanada.

Durante el desarrollo del experimento se pudo observar que para velocidades pequeñas la corriente de tinta, dentro del tubo, se movía en línea recta, mostrando que el flujo era laminar, tal como se estableció anteriormente. Al aumentar la velocidad del flujo, el número de Reynolds

obviamente también aumenta, ya que es directamente proporcional a la velocidad y esta es el único parámetro variable.

Con el aumento del caudal se llegó a la condición en que la corriente de tinta oscilaba o se rompía repentinamente, difundiéndose por todo el tubo.

El flujo, con el violento intercambio de cantidad de movimiento de las partículas, había cambiado a turbulento y en consecuencia se modificó el movimiento ordenado del flujo laminar.

Es interesante observar, como ya se mencionó, que tanto el flujo laminar como el turbulento son el resultado de la viscosidad del flujo por lo que, en ausencia de la misma, no habría distinción entre ambos. Es más, en el flujo turbulento el esfuerzo tangencial o de fricción producido por el intercambio en la cantidad de movimiento entre partículas que fluctúan lateralmente, en cierto modo es el resultado de los efectos viscosos.

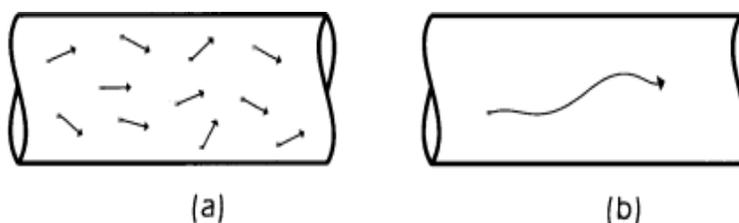
Reynolds obtuvo un valor $NR = 12.000$ antes de que se estableciera la turbulencia. Investigaciones posteriores usando el equipo original de Reynolds obtuvieron un valor de 40.000 al permitir que el agua reposara en el tanque durante varios días antes del experimento, y tomar precauciones para evitar la vibración del agua o del equipo (Eckman).

Estos números, denominados números críticos superiores de Reynolds, no tienen ningún significado práctico, ya que las instalaciones ordinarias de tubos tienen irregularidades que causan flujo turbulento a un valor mucho más pequeño que el número de Reynolds.

Al realizar el experimento a partir de flujos turbulentos Reynolds encontró que el flujo siempre se hace laminar al reducir a velocidad a un valor tal que NR sea menor que 2.000 . Este es el número definido como valor crítico inferior del número de Reynolds para flujos y es de una gran importancia en la práctica. (Rodríguez Díaz , 2001, pág. 72)

Siguiendo el procedimiento anterior y en una instalación común de tubos, el flujo deberá cambiar de laminar a turbulento en los límites de los números de Reynolds de 2.000 a 4.000.

Imagen 3 Flujo de tuberías en turbulencia. A) Vectores de velocidad de varias partículas en un instante dado. B) trayectoria de una partícula en un intervalo de tiempo.



Fuente: (Saldarriaga, 2007) extraído de hidráulica de tuberías, capítulo 1 pág.7

La naturaleza del flujo dado, para un flujo incomprensible, se caracteriza por su número de Reynolds. Para valores grandes de NR, uno o todos los del numerador son grandes con el denominador.

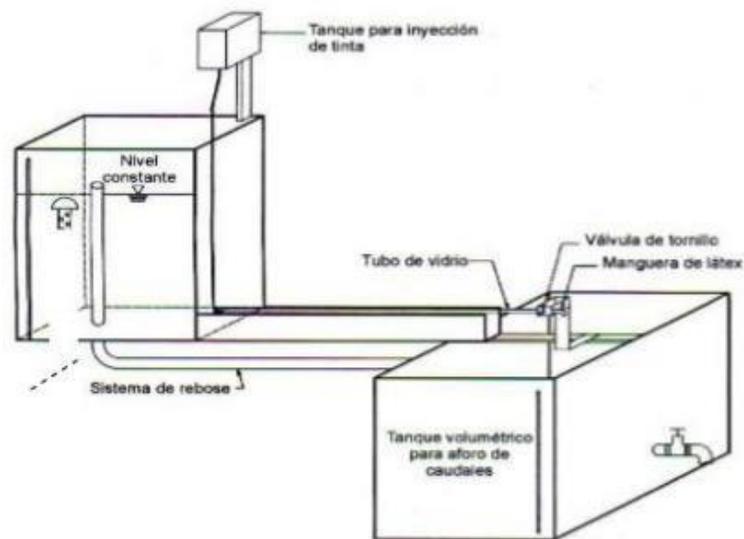
Los términos del numerador están relacionados con fuerzas inerciales o con fuerzas debidas a la aceleración del fluido. El término del denominador es el causante de las fuerzas cortantes viscosas, pudiéndose considerar este número como relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas.

Es conveniente recordar que, dadas las características de flujo, en el flujo laminar las pérdidas son directamente proporcionales a la velocidad promedio, mientras que un flujo turbulento las pérdidas son proporcionales a la velocidad elevada a una potencia variable entre 1,7 y 2,0. (Rodríguez Diaz , 2001, pág. 73)

4.2.2. Descripción del sistema.

El sistema –tal como se presenta en la figura número 4 —para el desarrollo del experimento de Reynolds está conformado por:

Imagen 4 Montaje general para el experimento de Reynolds. Laboratorio de hidráulica de la ECI



Fuente: (Rodríguez Díaz , 2001) Extraído del libro Hidráulica Experimental, capítulo 3 pág. 73

1. Tubo de vidrio horizontal de longitud L y diámetro D , acoplado a un tanque de nivel constante para la alimentación del sistema. En la figura 2 se presentan las dimensiones del tubo
2. Válvula de tronillo instalada en el extremo aguas abajo del tubo.
3. Tanque pequeño colocado en la parte superior del sistema para el almacenamiento de la tinta (anilina mineral o permanganato de potasio). Del tanque se desprende un tubo de diámetro pequeño para la inyección de tinta en la entrada acampada del tubo.

4. Probeta para la medida volumétrica del caudal.
5. Cronómetro.
6. Termómetro.

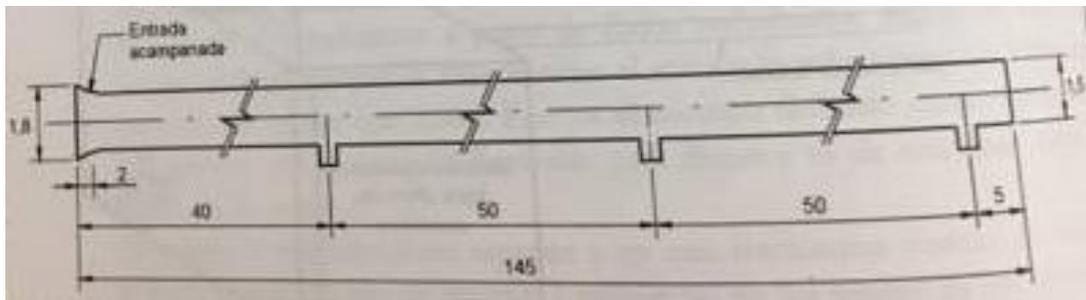
4.2.3. Procedimiento

El experimento debe efectuarse en la primera parte, partiendo de la válvula totalmente cerrada y luego abriéndola lentamente hasta alcanzar el caudal máximo disponible. En la segunda parte es necesario realizar el procedimiento inverso.

1. Llenar el tanque de alineación del sistema y garantizar que durante la ejecución del experimento su nivel sea constante.
2. Determinar la temperatura del agua.
3. Para diez ensayos (cinco partiendo de la válvula cerrada y cinco de la válvula abierta), determinar el límite (valor) entre el flujo laminar y el flujo turbulento.

Es indispensable que este procedimiento se pueda identificar, mediante la inyección continua de tinta, el límite entre los dos tipos de flujo. Identificando el límite, se procede a medir el caudal correspondiente a esta condición y la pendiente de la línea de energía.

Imagen 5 . Dimensiones del tubo de Reynolds disponible en el laboratorio de Hidráulica de la ECI.



.Fuente: unidades en centímetros, Extraído del libro Hidráulica Experimental, capítulo 3 pág. 74

4. Para flujos laminares y turbulentos, hacer inyecciones instantáneas de tinta con el fin de observar la trayectoria de las partículas.
5. Para uno de los ensayos, partiendo de la válvula totalmente abierta, se requiere tomar como mínimo diez caudales diferentes durante el proceso de cierre (el caudal máximo será con la válvula totalmente abierta y el caudal más pequeños será cercano a cero). Para cada caudal es necesario, mediante los tubos piezométricos, determinar la pendiente de la línea piezométrica.
6. Con los datos del punto anterior construir un gráfico en escala log – log de la pendiente de la línea de energía contra la velocidad. Determinar el límite entre el flujo laminar ey el flujo turbulento y calcular el número de Reynolds. A partir de las pendientes de las rectas anteriores, para el flujo laminar y para el flujo turbulento, determine la relación de proporcionalidad entre la pendiente de la línea de energía y la velocidad.
7. Hacer inyecciones instantáneas de tinta para los diferentes tipos de flujos encontrados.
(Rodriguez Diaz , 2001, pág. 75)

4.2.4. Recomendaciones

- Verificar que la tinta inyectada tenga una densidad cercana a la del agua.
- No es necesario que en el desarrollo de la práctica la válvula de inyección de tinta esté siempre abierta (ahorro de tinta).

4.3. Marco legal

4.3.1 Resolución 2755 de 2006.

“Por la cual se definen por la cual se definen las características específicas de calidad para la oferta y desarrollo de los programas académicos en la metodología a distancia, LA MINISTRA DE EDUCACIÓN NACIONAL, en ejercicio de sus facultades legales y en especial las establecidas en los artículos 1° y 52 del Decreto 2566 del 10 de septiembre de 2003”.

Artículo 1°. *Definición.* Para efectos de esta resolución, se entiende por educación superior a distancia aquella metodología educativa que se caracteriza por utilizar ambientes de aprendizaje en los cuales se hace uso intensivo de diversos medios de información y comunicación y de mediaciones pedagógicas que permiten crear una dinámica de interacciones orientada al aprendizaje autónomo y abierto; superar la docencia por exposición y el aprendizaje por recepción, así como las barreras espacio-temporales y las limitaciones de la realidad objetiva mediante simulaciones virtuales; adelantar relaciones reales o mediadas y facilitar aprendizajes por indagación y mediante la colaboración de diversos agentes educativos. (Ministerio de Educación, s.f.)

4.3.2. Decreto 1295 de 2010

Por el cual se reglamenta el registro calificado de que trata la Ley 1188 de 2008 y la oferta y desarrollo de programas académicos de educación superior EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA, en ejercicio de las facultades que le confiere el numeral 11 del artículo 189 de la Constitución Política.

Artículo 1.- Registro calificado- Para ofrecer y desarrollar un programa académico de educación superior, en el domicilio de una institución de educación superior, o en otro lugar, se requiere contar previamente con el registro calificado del mismo. El registro calificado será

otorgado por el Ministerio de Educación Nacional a las instituciones de educación superior legalmente reconocidas en Colombia, mediante acto administrativo motivado en el cual se ordenará la inscripción, modificación o renovación del programa en el Sistema Nacional de Información de la Educación Superior -SNIES-, cuando proceda. La vigencia del registro calificado será de siete (7) años contados a partir de la fecha de ejecutoria del correspondiente acto administrativo. El registro calificado ampara las cohortes iniciadas durante su vigencia. (Ministerio de educación, s.f.).

5. Metodología

La metodología utilizada en este proyecto será de tipo práctico de acuerdo con el principal objetivo del proyecto que es llevar la teoría a lo práctico de manera experimental, numérica y tangible.

Se realizaron seis (6) pruebas para probar la eficiencia del prototipo y variando la apertura de las válvulas para determinar el número de Reynolds.

5.1. Diseño

Basados en la profundización teórica y básica de la hidráulica y mecánica de fluidos; también teniendo en cuenta un factor importante que es la escala, sabiendo de antemano que en el laboratorio no hay mucho espacio, llegamos al diseño más beneficioso para llevar a cabo de manera correcta el experimento.

5.2. Recursos humanos

Las personas a cargo de esta investigación son los estudiantes de la Universidad Cooperativa de Colombia, del programa de ingeniería civil en su proyecto de grado y también de los estudiantes que cursan dicho programa que utilizaran el equipo con el fin de cumplir nuestro objetivo principal que es lograr comprender y entender el comportamiento de los fluidos en movimiento.

5.3.Lugar

El lugar donde se llevara a cabo la profundización e investigación teórica será en la biblioteca de la Universidad Cooperativa de Colombia sede Villavicencio, donde además en sus instalaciones de laboratorio específicamente en el hidráulica se ensamblara y probara el prototipo de Reynolds.

5.4.Procedimiento de diseño (dimensionamiento y descripción)

Bajo los parámetros para el diseño que debíamos tener en cuenta para el dimensionamiento del prototipo que consta de tres tanques, dos tubos y soportes.

Los materiales que utilizamos en el equipo es acrílico de alta calidad con grosor de 1 cm para los tanques y los tubos, las demás piezas son PVC, de cobre y de aluminio y una bomba.

5.5. Descripción y dimensionamiento

- Tanque de almacenamiento en acrílico con dimensiones de $h= 0.80\text{m}$ y su base de $0.50\text{m} \times 0.50\text{m}$
- Tanque de aforo en acrílico que tiene una dimensión de $h= 0.50\text{ m}$ y su base $0.50\text{m} \times 0.50\text{ m}$, además posee un compartimento de aquietamiento de $0.30\text{m} \times 0.50$ y un vertedero en V de $h= 0.20\text{m}$ y su base libre de almacenamiento es de $0.50\text{m} \times 0.20.\text{m}$
- Tanque de almacenamiento de tinta en acrílico con $h= 0.20\text{m}$ y su base de $0.10\text{m} \times 0.10\text{m}$.
- Dos tubos en acrílico de 1m de largo y de $d= 1''$ cada uno.
- Tubos de cobre con $d= 2\text{mm}$.
- Soportes en aluminio para los tanques, bomba y tubos.
- Bomba Karson Modelo KSN- 30560.

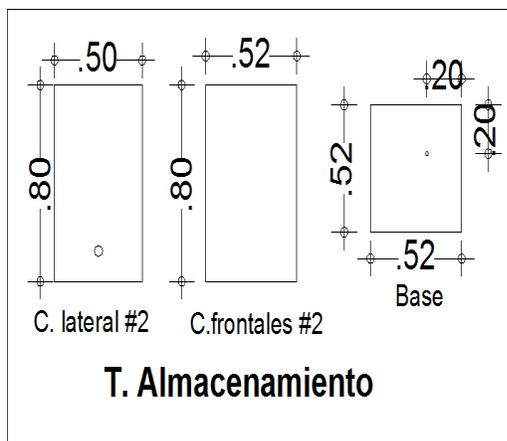


Imagen 6. Despiece Taque de aquietamiento. AutoCAD

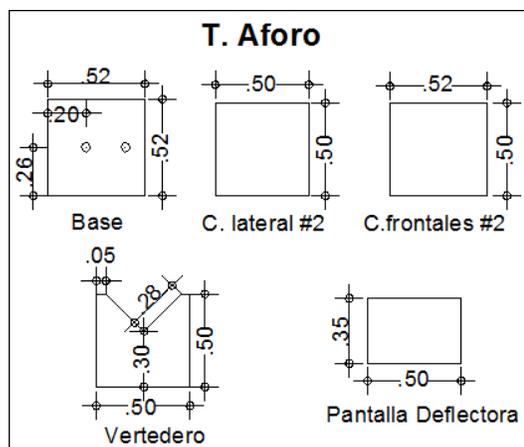


Imagen 7. Despiece Tanque de aforo. AutoCAD

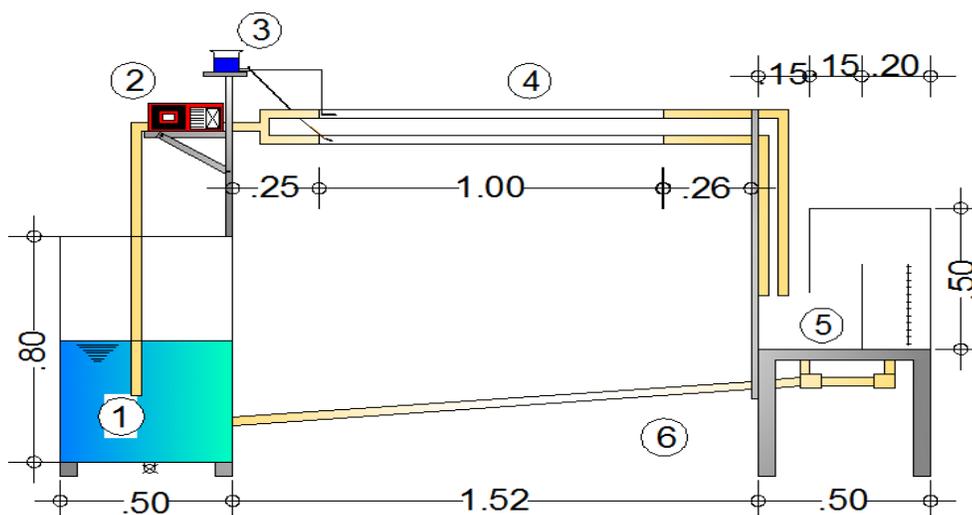


Imagen 8. Diseño final prototipo de Reynolds. AutoCAD

1. Tanque de almacenamiento.
2. Bomba.
3. Tanque de tinta.
4. Tubos en acrílico.
5. Tanque de aforo.
6. Tubo de retorno.

5.6.Registro fotográfico de ensamble



Foto 1 Ensamble de desagüe.



Foto 2. Ensamble de Tanques y soportes.



Foto 3. Ensamble de Bomba.



Foto 4. Ensamble de retorno.



Foto 5. Ensamble de tubería acrílica.



Foto 6. Prototipo ensamblado.

6. Ensayo

El ensayo consistió en abrir gradualmente las válvulas (6 datos) en donde en cada actividad se aforó y se tomaron datos.

6.1.Resultados.

Tabla 1. V1 totalmente abierta y V2 totalmente cerrada

V1 TOTALMETE ABIERTA Y V2 TOTALMENTE CERRADA						
V (lts)	t (S)	Q (LTS/S)	DELTA	Q PROMEDIO (LPS)	V (m/s)	NR
1	5	17,49	0,286	0,170		
2	5	10,45	0,478	-0,023		
3	5	9,81	0,510	-0,054	0,000049	2.551
4	5	9,75	0,513	-0,057		
5	5	10,2	0,490	-0,035		
				0,455		

Tabla 2. V1 totalmente abierta y V2 una vuelta abierta.

V1 TOTALMETE ABIERTA Y V2 UNA VUELTA ABIERTA						
V (lts)	t (S)	Q (LTS/S)	DELTA	Q PROMEDIO (M3*S)	V (m/s)	NR
1	5	15,86	0,315	0,140		
2	5	11,23	0,445	0,010		
3	5	9,3	0,538	-0,082	0,000057	2.988
4	5	10,35	0,483	-0,028		
5	5	9,67	0,517	-0,062		
				0,460		

Tabla 3. V1 totalmente abierta y V2 dos vueltas abierta.

V1 TOTALMETE ABIERTA Y V2 DOS VUELTAS ABIERTA						
V (lts)	t (S)	Q (LTS/S)	DELTA	Q PROMEDIO (M3*S)	V (m/s)	NR
1	5	17,01	0,294	0,161		
2	5	10,43	0,479	-0,024		
3	5	10,37	0,482	-0,027	0,00003741	0,081
4	5	9,63	0,519	-0,064		1.955
5	5	10,48	0,477	-0,022		
				0,450		

Tabla 4. V1 totalmente abierta y V2 tres vueltas abierta.

V1 TOTALMETE ABIERTA Y V2 TRES VUELTAS ABIERTA						
V (lts)	t (S)	Q (LTS/S)	DELTA	Q PROMEDIO (M3*S)	V (m/s)	NR
1	5	17,63	0,284	0,172		
2	5	10,11	0,495	-0,039		
3	5	10	0,500	-0,045	0,00004459	0,097
4	5	10,03	0,499	-0,043		2.330
5	5	9,97	0,502	-0,046		
				0,456		

Tabla 5. V1 totalmente abierta y V2 cuatro vueltas abierta.

V1 TOTALMETE ABIERTA Y V2 CUATRO VUELTA ABIERTA						
V (lts)	t (S)	Q (LTS/S)	DELTA	Q PROMEDIO (M3*S)	V (m/s)	NR
1	5	16,55	0,302	0,153		
2	5	10,63	0,470	-0,015		
3	5	10,03	0,499	-0,043	0,00004511	0,098
4	5	10,03	0,499	-0,043		2.357
5	5	9,91	0,505	-0,049		
				0,455		

Tabla 6. V1 totalmente abierta y V2 totalmente abierta.

V1 TOTALMETE ABIERTA Y V2 TOTALMETE ABIERTA						
V (lts)	t (S)	Q (LTS/S)	DELTA	Q PROMEDIO (M3*S)	V (m/s)	NR
1	5	16,88	0,296	0,159		
2	5	10,72	0,466	-0,011		
3	5	10,19	0,491	-0,035	0,00004507	2.355
4	5	9,78	0,511	-0,056		
5	5	10,01	0,500	-0,044		
		0,453				

7. Análisis de resultados

7.1 Actividad 1 (V1 completamente abierta y V2 completamente cerrada).

En esta actividad se obtuvieron datos que arrojaron que el tipo de flujo que se presentaba era transicional en donde por un momento era laminar y luego turbulento, para luego mezclarse la tinta en el agua. Y efectivamente el número de Reynolds obtenido fue de $Re = 2.551 \rightarrow$ Flujo transicional. (Laminar $< 2.000 >$ transicional $< 4.000 >$ Turbulento.)



Foto 7. Actividad 1 flujo transicional.

7.2 Actividad 2 (V1 totalmente abierta y V2 una vuelta abierta.)

En este punto la válvula 2 tiene una apertura de una vuelta y se observa que en el tubo 2 se presenta flujo laminar y su caudal no es muy fuerte mientras que en el tubo 1 hay flujo transicional y se obtiene un $Re = 2.988 \rightarrow$ Flujo transicional.

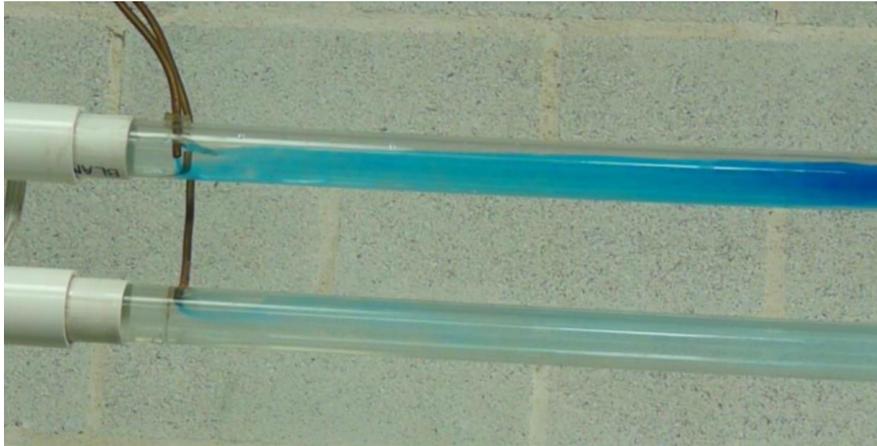


Foto 8. Actividad 2, F. laminar y transicional

7.3 Actividad 3 (V1 totalmente abierta y V2 con dos vueltas abierta.)

En esta actividad con la válvula 2 tiene dos vueltas de apertura y se observa un flujo laminar en tubo 2 con un poco más de caudal y velocidad de igual manera en el tubo 1 se obtuvo un flujo laminar con $Re = 1.955 \rightarrow$ Flujo laminar.



Foto 9 Actividad 3, Flujo laminar en los dos tubos.

7.4 Actividad 4 (V1 totalmente a vierta y V2 con tres vueltas abierta.)

En la actividad 4 se pudo percibir que visualmente que en el tubo 2 se presentó flujo laminar y en el tubo 1 obtuvimos un flujo transicional y el número de Re en esta actividad fue de $Re = 2.330 \rightarrow$ Flujo transicional.

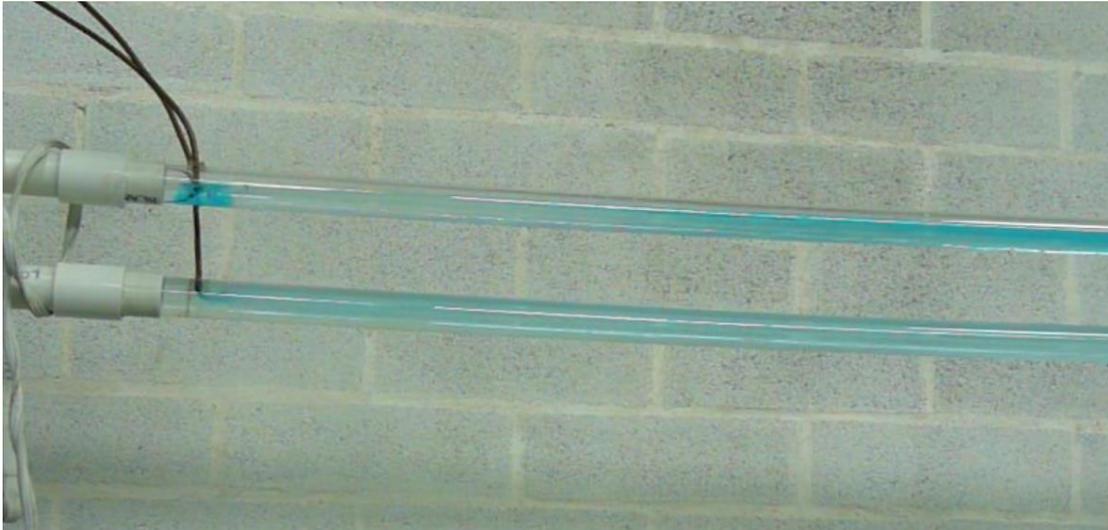


Foto 10. Actividad 4, flujo laminar y flujo transicional.

7.5 Actividad 5 (V1 totalmente abierta y V2 con cuatro vueltas abierta)

Con la válvula 2 casi abierta totalmente podemos observar en el tubo 2 visualmente se presentó un flujo laminar y en el tubo 1 un flujo transicional, además con los datos del aforo el $Re = 2.357 \rightarrow$ Flujo transicional.

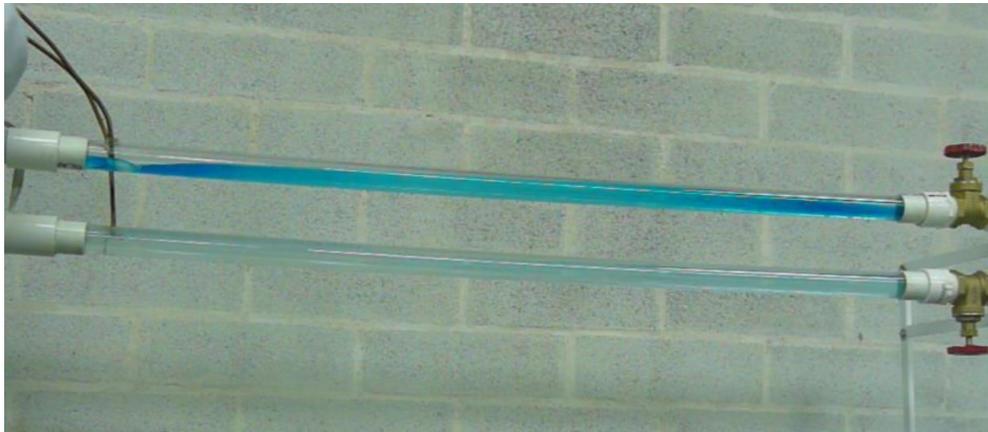


Foto 11. Actividad 5, flujo laminar y flujo transicional.

7.6 Actividad 6 (las dos válvulas totalmente abiertas).

Con las dos válvulas totalmente abiertas observamos que el caudal se reduce y se presentan en los dos tubos un flujo transicional con un $Re = 2.355 \rightarrow$ Flujo transicional.

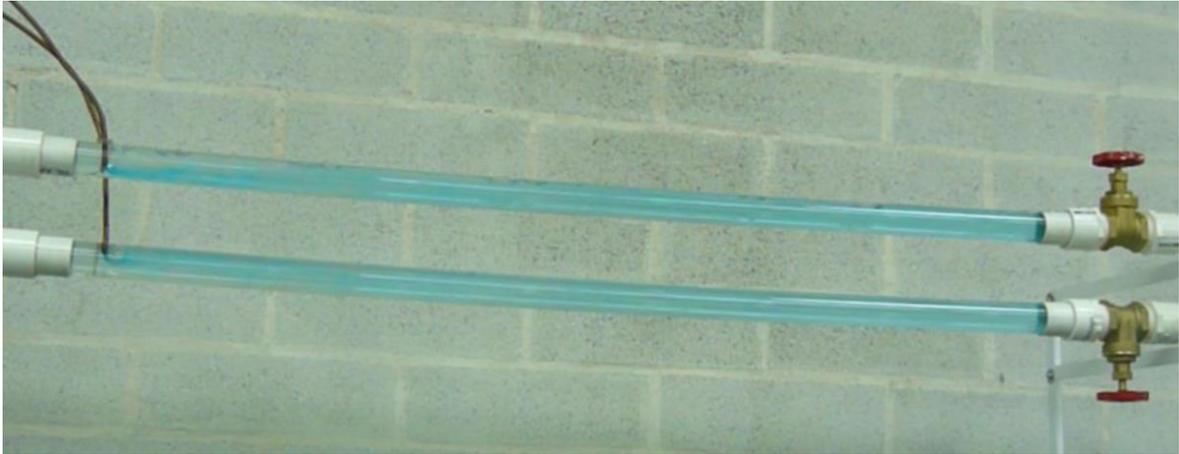


Foto 12. Actividad 6, flujo transicional.

8. Conclusiones

- Se diseñó el prototipo de Reynolds con todos los parámetros establecidos.
- Se ensablo y construyo el prototipo acorde a los planos propuestos.
- Se hicieron las pruebas de agua, para el análisis del comportamiento del fluido (agua) y determinar qué clase de flujo se presenta.
- Se aforó cada actividad de con respecto a las variantes de apertura de válvulas que en total fueron 6 actividades.

9. Bibliografía

Giles , R. V. (s.f.). *Mecanica de los Fluidos E Hidraulica*. España: McGraw Hill.

Giles, R. V., Evett, J., & Liu, C. (1994). *Mecánica de los fluidos e hidráulica* . Mc Graw - Hill .

Mott, R. L. (2006). *Mecanica de Fluidos*. mexico: Prearson prentice hall.

Rodriguez Diaz , H. A. (2001). *HIDRAULICA EXPERIMENTAL* . Bogotá: Escuela Colombiana
De Ingenieria.

Saldarriaga, J. (2007). *HIDRAULICA DE TUBERIAS*. Bogotá : Alfaomega .

Smits, A. J., & Smits, A. J. (2003). *MECANICA DE FLUIDOS una introduccion fisica*. Princeton:
alfaomega.

Sotelo Avila, G. (1997). *HIDRAULICA GENERAL*. MEXICO: Limusa noriega.

White, F. M. (2003). *Mecanica de Fluidos* . Madrid : McGRAW- HILL.

