

ÍNDICE

7	MANUAL DE PRÁCTICAS.....	2
7.1	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.....	2
7.1.1	Introducción.....	2
7.1.2	Descripción.....	4
7.1.3	Posibilidades prácticas.....	5
7.1.4	Especificaciones	5
7.1.5	Dimensiones y pesos	6
7.1.6	Servicios requeridos	6
7.2	FUNDAMENTO TEÓRICO.....	8
7.2.1	NÚMERO DE REYNOLDS	8
7.2.2	PERFIL PARABÓLICO DE VELOCIDADES:	11
7.3	PRÁCTICAS DE LABORATORIO.....	14
7.3.1	Práctica 1: Observación del régimen laminar, de transición y turbulento en un flujo	14
7.3.2	Práctica 2: Clasificación de los distintos tipos de regímenes en función del número de Reynolds	18
7.3.3	Práctica 3: Visualización del perfil parabólico de velocidades.....	24
7.4	ANEXOS.....	27
7.4.1	ANEXO 1. INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA.....	27
7.4.2	ANEXO 2. MEDIDA DEL CAUDAL.....	28
7.4.3	ANEXO 3. TABLA DE VISCOSIDADES CINEMÁTICAS DEL AGUA.....	29

7 MANUAL DE PRÁCTICAS

7.1 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

7.1.1 Introducción

El experimento de Osbourne – Reynolds se utiliza para estudiar las características de un caudal de líquido que circula a través de una tubería y para determinar el número de Reynolds en cada uno de los estados del líquido.

El diseño del equipo Demostración de Osborne – Reynolds Horizontal, FME31, permite estudiar las características del caudal del líquido en una tubería, el comportamiento de dicho caudal, y determinar el rango del régimen laminar y turbulento mediante el empleo del número de Reynolds. De esta forma, se permite demostrar la diferencia entre el régimen laminar, turbulento e intermedio y el número de Reynolds en cada uno de ellos.



Figura 1.1.1 Foto general

Este accesorio consiste en una sección de tubería transparente y horizontal que permite la visualización del fluido, un tanque de alimentación de agua que garantiza la homogeneidad del caudal y una aguja acoplada a un depósito desde el que se suministra el colorante. El caudal de agua en la sección de ensayo se puede regular mediante una válvula. El agua se puede alimentar empleando el Banco Hidráulico o desde el Grupo Hidráulico.

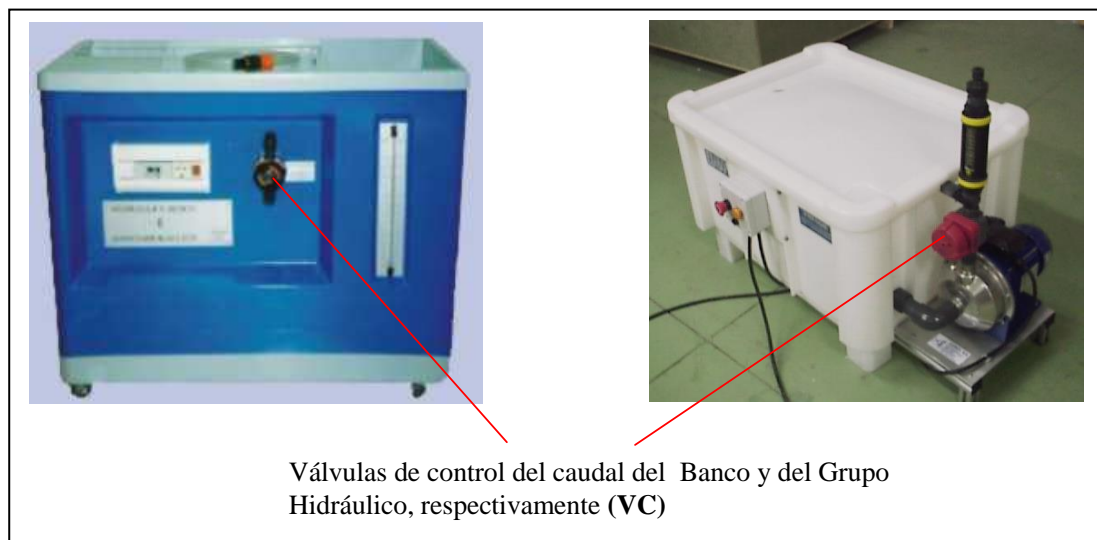
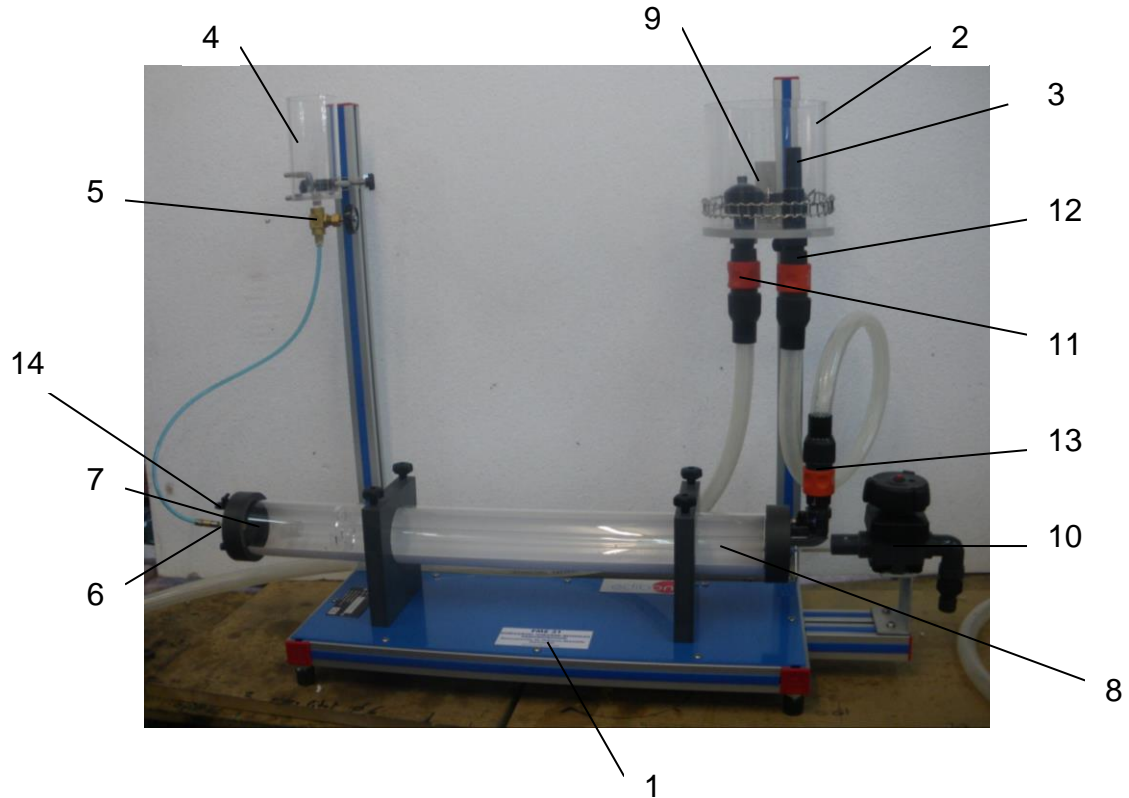


Figura 1.1.3

La empresa EDIBON dispone en su catalogo del equipo Demostración de Osborne – Reynolds, FME06, que permite la observación del régimen laminar, de transición y turbulento, el estudio del perfil de velocidades y calculo del número de Reynolds a través de un módulo que se dispone verticalmente.

7.1.2 Descripción



El equipo Demostración de Osborne – Reynolds Horizontal, FME31, está montado sobre una estructura de aluminio (1), y está formado por:

- Tubería de ensayo de metacrilato (8) con una sección de entrada aerodinámica (7).
- Depósito de alimentación de agua (2), con ajuste de altura (9) y conexión para su alimentación (11). Dispone de una sección (3) que permite generar una presión constante a la entrada del tanque. Incluye una salida para el agua (12) para conectarla, a través de una manguera, a la entrada de la tubería de ensayo (13).
- Depósito de tinta (4) con una válvula (5) y una aguja de inyección (6).

- Válvula de regulación (10) que permite ajustar el caudal de agua en los experimentos.
- Válvula de control de caudal (14) para purgar el aire residual de la tubería de ensayo.

Para la visualización del caudal se recomienda usar colorante, que se introducirá del depósito al agua a través de una aguja.

El agua se puede alimentar empleando el Banco Hidráulico o desde el Grupo Hidráulico.

7.1.3 Posibilidades prácticas

- Observación del régimen laminar, de transición y turbulento en un flujo.
- Asociar los regímenes laminar, de transición y turbulento con su correspondiente número de Reynolds.
- Observación del perfil parabólico de velocidades.

7.1.4 Especificaciones

- Estructura de aluminio anodizado con paneles en acero pintado.
- Tubería de ensayo de metacrilato con una sección de entrada aerodinámica. Dimensiones:
 - Diámetro interior: 16 mm.

- Diámetro exterior: 20 mm.
- Longitud: 750 mm.
- Depósito de alimentación de agua, con ajuste del nivel y conexión para su alimentación. Dispone de una sección que permite generar una presión constante a la entrada del tanque. Capacidad: 2.4 litros.
- Depósito de tinta con una válvula y una aguja de inyección. Capacidad: 0.4 litros.
- Válvula de regulación que permite ajustar el caudal de agua en los experimentos.

La inyección de colorante se regula con una válvula de aguja.

7.1.5 Dimensiones y pesos

Dimensiones: 1100x400x700 mm, aprox..

Volumen: 0.30 m³

Peso: 20 kg., aprox.

7.1.6 Servicios requeridos

- Banco Hidráulico (FME-00) o Grupo Hidráulico (FME-00B).

- Colorante
- Cronómetro (no incluido)
- Termómetro (no incluido)

7.2 FUNDAMENTO TEÓRICO

7.2.1 NÚMERO DE REYNOLDS

El número de Reynolds, R , se utiliza como parámetro útil para clasificar el tipo de régimen en un flujo. La determinación del número de Reynolds viene determinado en función de la velocidad crítica del fluido que corresponde con la velocidad de paso de régimen laminar a turbulento. Osborne Reynolds demostró que se podían establecer dos tipos de corriente en el interior de una tubería.

Consiguió clasificar el tipo de corriente independientemente del tamaño y tipo de tubería a través de un parámetro adimensional, el Número de Reynolds.

- **Corriente en régimen laminar.** Se denomina régimen laminar cuando sólo tienen lugar en el fluido movimientos de traslación y deformación, las trayectorias y líneas de corriente de las diferentes partículas del fluido se disponen paralelamente, pudiéndose considerar el movimiento del fluido a lo largo de capas o láminas que no se mezclan ni se cruzan entre sí. Bajo estas condiciones, las trayectorias de las partículas de colorante pueden ser fácilmente identificadas como una línea. Existe una relación de proporcionalidad entre la pérdida de carga y la velocidad de la corriente. El régimen queda determinado para valores de Reynolds inferiores a 2000.
- **Corriente en régimen intermedio:** Zona donde no existía una relación clara entre la pérdida de carga y la velocidad del flujo. El régimen queda determinado para valores de Reynolds entre los 2000 y 4000.
- **Corriente en régimen turbulento.** Se denomina régimen turbulento

cuando las partículas de un fluido están sometidas a los movimientos de traslación, rotación y deformación. El flujo resulta desordenado y las líneas de corriente se entrecruzan entre si. Bajo estas condiciones, el colorante se dispersa en el agua y la trayectoria de sus partículas no puede ser observada. La pérdida de carga es proporcional al cuadrado de la velocidad. Esto se debe a la formación turbulencias y reflujos dentro de la tubería. El régimen queda determinado para valores de Reynolds superiores a los 4000.

Este número viene definido por la siguiente fórmula:

$$Re = \frac{\rho \cdot u \cdot d}{\mu} \quad (1)$$

siendo:

ρ Densidad del fluido [kg/m³].

u Velocidad del caudal del líquido[m/s].

μ Viscosidad dinámica [kg/m*s].

d Diámetro de la tubería [m].

Se puede relacionar la viscosidad cinemática ν y dinámica μ mediante la siguiente expresión:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2)$$

y se obtiene, despejando en la fórmula del número de Reynolds:

$$R = \frac{u \cdot d}{\nu} \quad (3)$$

, quedando el número de Reynolds en función de la velocidad y del diámetro interior de la tubería e inversamente proporcional a la viscosidad cinemática.

Se pueden conocer los valores de la viscosidad cinemática del agua en función de la temperatura con la tabla siguiente:

Temperatura °C	Viscosidad cinemática (m ² /seg).10 ⁻⁶
5	1.52
10	1.308
15	1.142
20	1.007
25	0.897
30	0.804
35	0.727
40	0.661
50	0.556

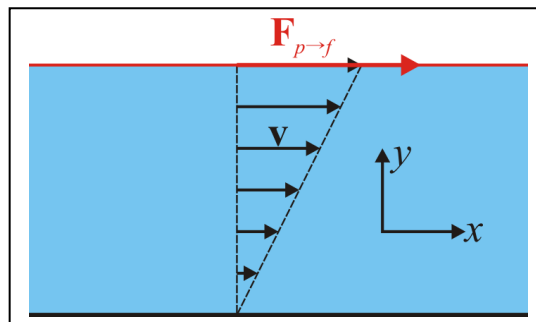
Tabla 2.0.1

Si al medir con el termómetro la temperatura es, por ejemplo de 18°C, y como se puede observar no aparece en la tabla, se procederá a interpolar para obtener el valor dado.

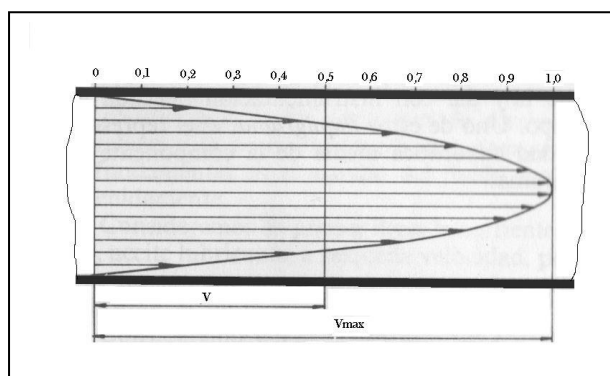
7.2.2 PERFIL PARABÓLICO DE VELOCIDADES:

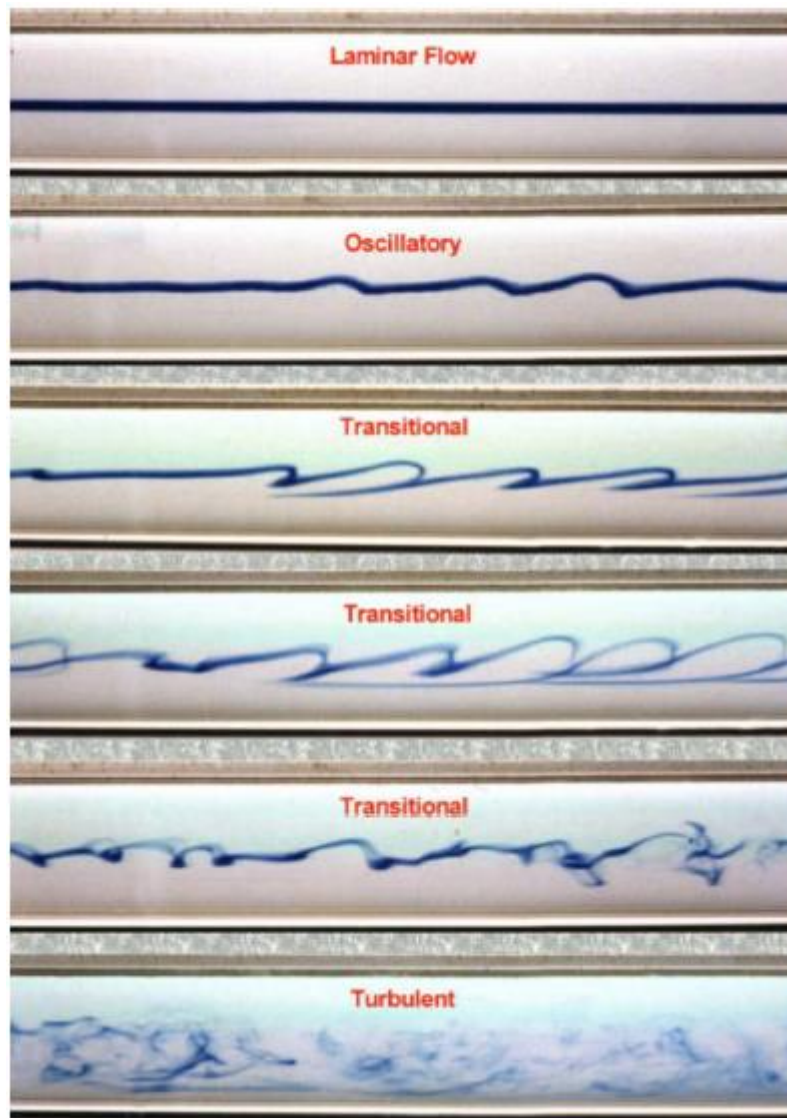
La propiedad definitoria de los fluidos es su comportamiento frente a una fuerza de cizalla (una fuerza tangencial a su superficie), mientras que en un sólido se deforma en la dirección de la fuerza, un fluido adquiere una velocidad en dicha dirección. No obstante, debido al rozamiento entre las distintas capas del fluido provoca que no todo él adquiera la misma velocidad.

El caso más sencillo (conocido como perfil de Couette) es el de un líquido comprendido entre dos láminas paralelas, una de las cuales está fija, mientras que la otra se mueve arrastrando al líquido con ella. El resultado del perfil de velocidades, considerando móvil la placa superior, sería algo similar al siguiente esquema:



En el caso de una tubería, se ha aplicado sobre el fluido una diferencia de presiones que lo pone en movimiento. El rozamiento con las paredes impone que justo sobre ellas la velocidad es nula, y esta va aumentando a medida que nos acercamos al centro del tubo, lo que produce el denominado perfil parabólico de velocidades (o de Poiseuille), con un máximo en el plano central y un valor nulo sobre las paredes.

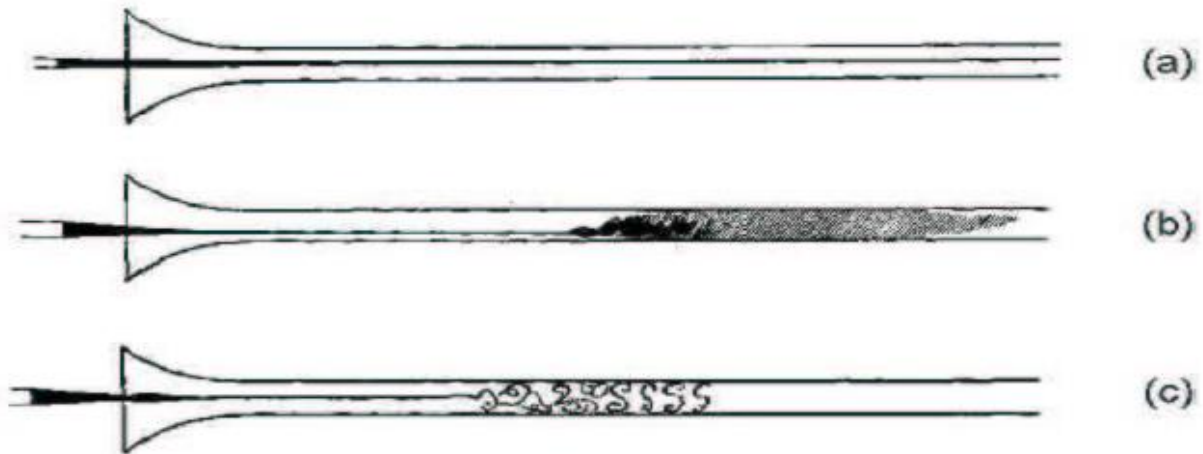




Fotografías de los diferentes regímenes de flujo observados en el Tanque de Reynolds

Cuando la velocidad del agua sea muy baja, el hilo de colorante será perfectamente nítido, hecho indicativo de que se está en un régimen de flujo laminar, como se observa en la (a). Si la velocidad del agua aumenta, comienza a perderse la nitidez del hilo de colorante (régimen de flujo de transición), como se observa en la (b). Finalmente, cuando se continúan aumentando las velocidades de circulación del

agua, llega un momento en que el hilo de colorante se rompe completamente, alcanzándose entonces el régimen de flujo turbulento, como se observa en la (c).



Detalle de las distintas formas del hilo de colorante en el tubo de visualización del flujo

7.3 PRÁCTICAS DE LABORATORIO

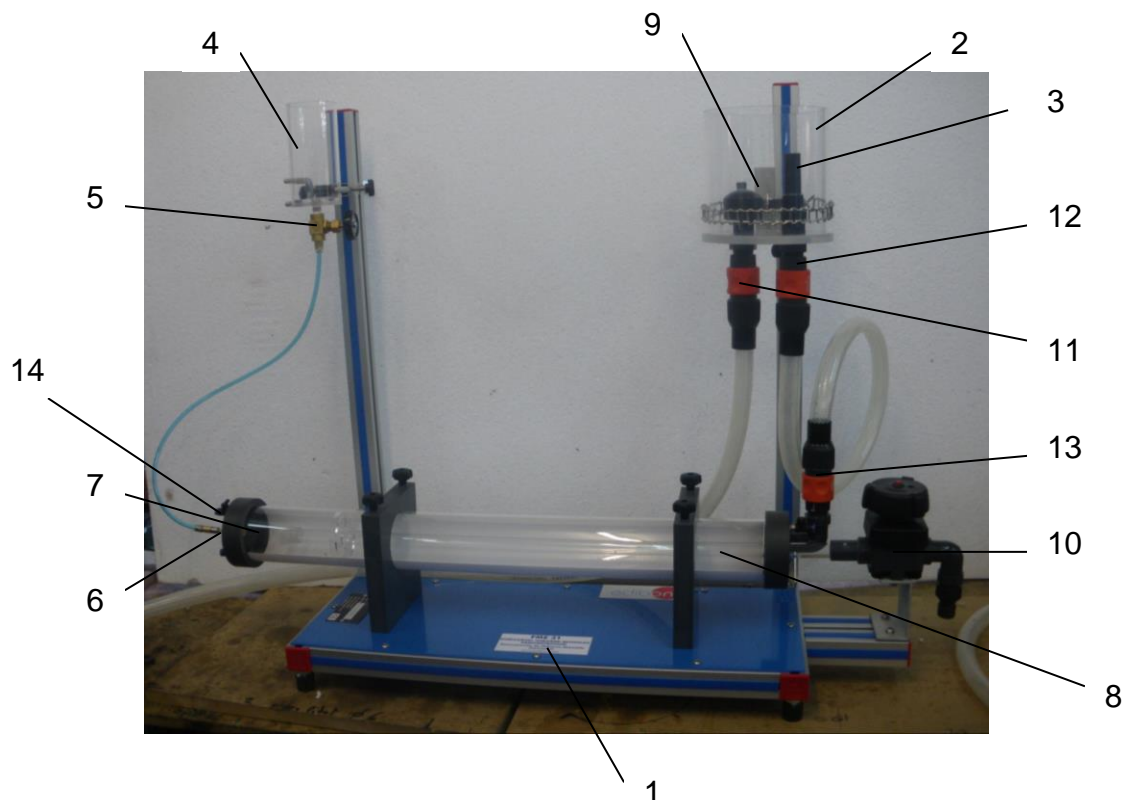
7.3.1 Práctica 1: Observación del régimen laminar, de transición y turbulento en un flujo

7.3.1.1 Objetivo

El experimento consiste en determinar visualmente las condiciones que diferencian el régimen laminar, de transición y turbulento en un fluido (agua).

7.3.1.2 Elementos necesarios

- Banco hidráulico FME00 o Grupo Hidráulico FME00B
- Equipo de Osborne-Reynolds Horizontal FME31
- Colorante.



7.3.1.3 Procedimiento experimental

El procedimiento experimental a seguir para alcanzar el objetivo de la práctica se basa en los siguientes pasos:

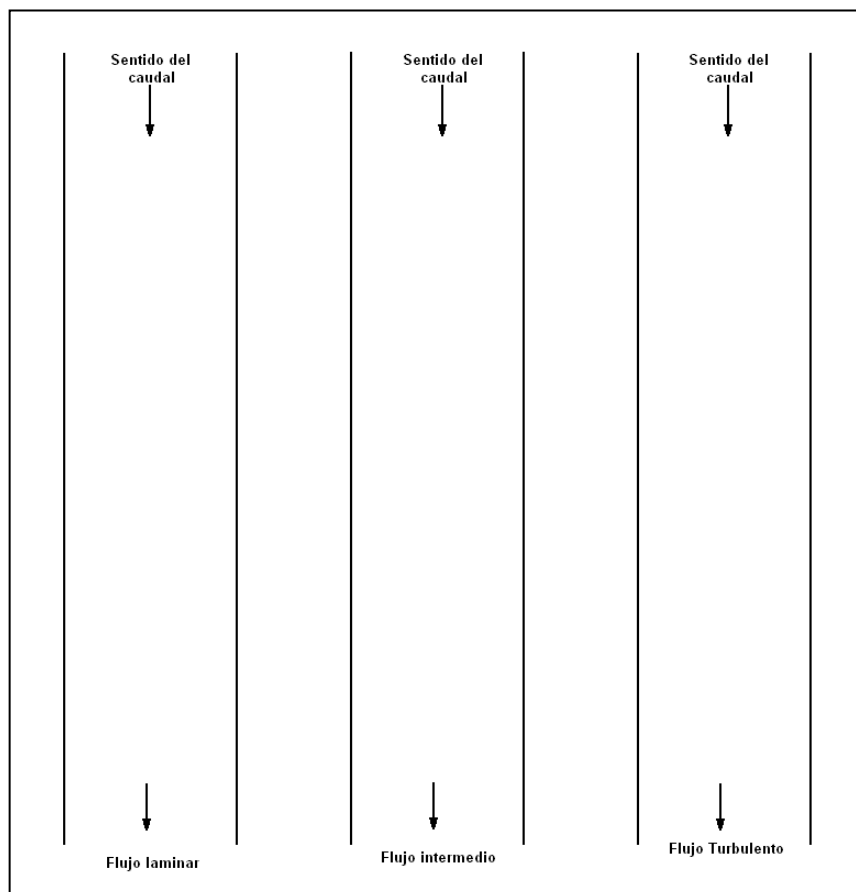
- Cerrar la válvula de drenaje (10).
- Encender la alimentación de agua. Poner en marcha la bomba y llenar lentamente el depósito hasta alcanzar el nivel del rebosadero; después cerrar por completo la válvula de control del Banco Hidráulico o del Grupo Hidráulico, para evitar que retorne el agua, y parar la bomba.
- Dejar que se remanse completamente el líquido en el aparato dejando pasar al menos diez minutos antes de proceder al experimento
- Poner en marcha la bomba y abrir cuidadosamente la válvula de control del Banco o del Grupo hasta que el agua salga por el rebosadero.
- Abrir la válvula de manera que se mantenga un nivel constante estable en el tanque de alimentación de agua.
- Después de un tiempo, la tubería (8) de ensayo se rellena de agua.
- El aire remanente se puede purgar de la tubería mediante una válvula (14) de control de flujo, abriéndola y cerrándola varias veces.
- Cuando se consiga un nivel constante en el interior del tanque, se abrirá, poco a poco, la válvula (5) de inyección de colorante hasta conseguir una corriente lenta con el colorante.
- El colorante ha de salir muy lentamente, arrastrado por la corriente de agua.
- Ir variando el caudal con la válvula de control, hasta conseguir visualizar a

lo largo del tubo que el colorante traza una línea paralela en el interior del tubo de visualización de flujo (Régimen Laminar).

- Incrementando el flujo, abriendo progresivamente la válvula de control y a su vez abriendo la válvula de control de flujo del Banco para compensar la bajada de nivel por la apertura de la válvula de control de flujo, irán apareciendo alteraciones en el colorante, empezará a oscilar (Régimen de transición) hasta que, finalmente, el colorante se dispersa completamente en el agua (Régimen turbulento).

7.3.1.4 Resultados y tablas

Realice un esquema de la forma de las líneas de colorante en el interior del tubo, en función de lo visualizado en cada uno de los regímenes.



7.3.1.5 Cuestiones

C1. ¿A qué se debe la aparición del flujo turbulento?

C.2 ¿En cuál de los tres regímenes es mas adecuado si queremos que el fluido sea lo más homogéneo posible?

7.3.2 Práctica 2: Clasificación de los distintos tipos de regímenes en función del número de Reynolds

7.3.2.1 Objetivo

El Objetivo de este experimento es relacionar el valor del número de Reynolds con cada uno de los regímenes, laminar, transición y turbulento.

7.3.2.2 Fundamento teórico

Los tipos de regímenes de una corriente se pueden clasificar a través del parámetro adimensional Número de Reynolds:

- Si el Número de Reynolds es inferior a 2000, la corriente se encuentra en régimen laminar.
- Si el Número de Reynolds se encuentra entre 2000 y 4000, la corriente se encuentra en régimen intermedio.
- Si el Número de Reynolds es superior a 4000, la corriente se encuentra en régimen turbulento.

El número de Reynolds se puede calcular a partir de la ecuación:

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu}$$

, siendo:

d: Diámetro interno de la tubería de ensayo (m)

w: Velocidad del flujo (m/s)

v: Viscosidad del medio (m²/s). En el caso del agua, el valor es 1·10⁻⁶ m²/s.

La velocidad del caudal se puede determinar usando un tanque graduado y un cronometro:

$$w = \frac{V}{A} \quad A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu}$$

, siendo:

d: Diámetro interno de la tubería de ensayo; 16 mm

V: Velocidad volumétrica de caudal

A: Sección transversal de la tubería de visualización.

7.3.2.3 Elementos necesarios

- Banco hidráulico FME00 o Grupo Hidráulico FME00B
- Equipo de Osborne-Reynolds Horizontal FME31
- Cronómetro (solo cuando se utiliza FME-00)
- Colorante.
- Termómetro

7.3.2.4 Procedimiento experimental

Seguir los pasos descritos en la practica 1.

A continuación medir y anotar los caudales para los cuales tenemos cada uno de los distintos regímenes. Anotar también el caudal al cual se encuentre la frontera entre cada uno de ellos. (Véase anexo A)

Medir la temperatura del agua.

7.3.2.5 Resultados y tablas

Experimento	Régimen visualizado	Volumen medido [m ³]	Tiempo cronometrado [s]
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

Tabla 3.2.1

Temperatura del agua, $\theta =$

Determine la viscosidad cinemática del agua, adecuada para la temperatura medida. (véase Anexo B).

Calcule el caudal para cada uno de los muestreos realizados. (Véase anexo A)

Sabiendo que el diámetro interior del tubo de vidrio es de 16 mm y conociendo el caudal que circula por su interior, obtener el valor de la velocidad del fluido.

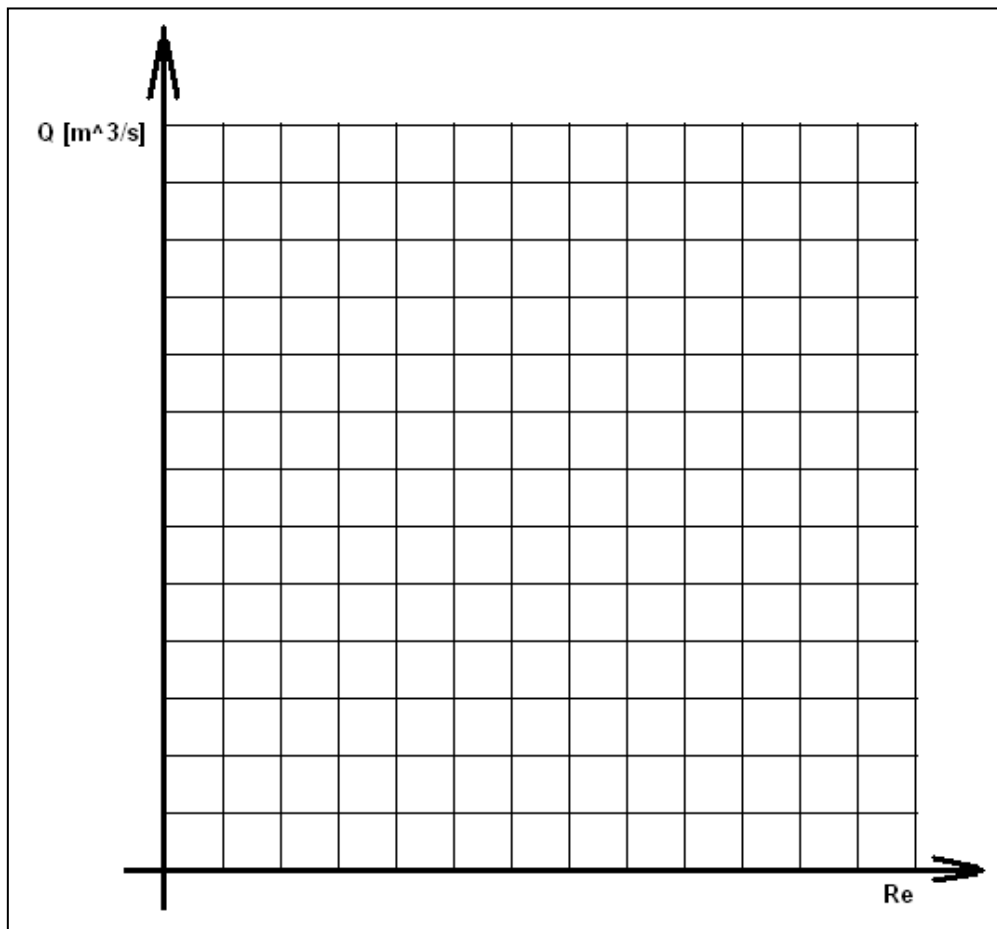
Mediante la ecuación (3) calcule el número de Reynolds, para cada uno de los caudales.

Rellene la siguiente tabla:

Régimen visualizado	Caudal [m ³ /s]	Velocidad [m/s]	Número de Reynolds.

Tabla 3.2.2

Represente gráficamente caudal frente a número de Reynolds.



7.3.2.6 Cuestiones

- C1.** ¿Cómo varía el número de Reynolds con el aumento del caudal?
- C2.** ¿Hasta que número de Reynolds se puede obtener flujo laminar?
- C3.** ¿Desde qué rangos del número de Reynolds obtenemos flujo de transición?
- C4.** ¿A partir de qué número de Reynolds aparece el flujo turbulento?
- C5.** ¿Tienen coherencia estos resultados con los obtenidos por Osborne Reynolds?

7.3.3 Práctica 3: Visualización del perfil parabólico de velocidades

7.3.3.1 Objetivo

El objetivo de este experimento es lograr visualizar el perfil de velocidades típico de un fluido circulando por el interior de un canal con simetría cilíndrica.

7.3.3.2 Elementos necesarios

- Banco hidráulico FME00 o Grupo Hidráulico FME00B
- Equipo de Osborne-Reynolds Horizontal FME31
- Cronómetro (solo cuando se utiliza FME-00)
- Colorante.

7.3.3.3 Procedimiento experimental

El procedimiento experimental a seguir para alcanzar el objetivo de la práctica se basa en los siguientes pasos:

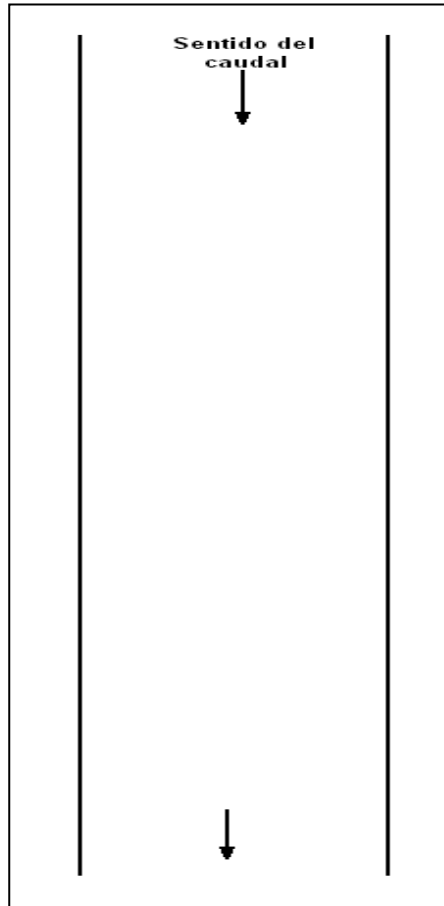
- Cerrar la válvula de drenaje (10).
- Encender la alimentación de agua. Poner en marcha la bomba y llenar lentamente el depósito hasta alcanzar el nivel del rebosadero; después cerrar por completo la válvula de control del Banco Hidráulico o del Grupo Hidráulico para evitar que retorne el agua, y parar la bomba.
- Dejar que se remanse completamente el líquido en el aparato dejando pasar

al menos diez minutos antes de proceder al experimento.

- Poner en marcha la bomba y abrir cuidadosamente la válvula de control del Banco o del Grupo hasta que el agua salga por el rebosadero.
- Con la válvula (14) de control de flujo cerrada, abrir la válvula (5) del depósito de tinta.
- Dejar que se acumule la tinta a la entrada de la tobera de admisión, hasta que el diámetro interior de esta se encuentre completamente cubierto de tinta.
- Abrir rápidamente la válvula de control (14) y observar como se genera el perfil parabólico de velocidades en el interior del tubo de vidrio.
- Repita el experimento para varias aperturas de la válvula de control.

7.3.3.4 Resultados y tablas

Realice un esquema de la forma del perfil de velocidades en el interior del tubo.



7.4 ANEXOS

7.4.1 ANEXO 1. INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA

Se deben de seguir los siguientes pasos para preparar el equipo para realizar los experimentos:

- Ubicar la unidad FME31 sobre el canal del Banco Hidráulico (procurar no inclinarlo) o sobre la superficie del Grupo Hidráulico. Si no se va a utilizar el Banco Hidráulico (FME-00) o Grupo Hidráulico (FME-00B), deberá disponerse de una alimentación de agua permanente cerca de la unidad.
- Conectar la manguera de drenaje de agua a la salida de la válvula de drenaje (10), o ubicar la unidad sobre un drenaje. Si se emplea el Banco Hidráulico o Grupo Hidráulico, colocar las mangueras de salida y desagüe en el aliviadero del banco.
- Conectar la salida (12) del depósito de alimentación de agua a la entrada (13) de la tubería de ensayo a través de una manguera.
- Conectar el agua de alimentación de entrada (11) al depósito de agua a través de una manguera.
- Rellenar el depósito de tinta (4) con, aproximadamente, 100ml de agua y añadir 1ml. de colorante. La válvula (5) de este depósito deberá cerrarse.

7.4.2 ANEXO 2. MEDIDA DEL CAUDAL

El procedimiento para la realización de esta práctica es el siguiente:

1. Compruebe que las conexiones de entrada y salida del equipo son las correctas:

Manguera de entrada conectada a la toma de presión

Manguera de salida del equipo colocada en el depósito de medida.

Rebosadero del equipo conectado al rebosadero del banco.

2. Tapone el desagüe del depósito del Banco Hidráulico (Caso del Banco FME 00) con la llave preparada para tal fin.
3. Encienda la bomba, tome una referencia del volumen y simultáneamente encienda el cronómetro.
4. Deje circular el agua durante 1min (recomendación).
5. Obtenga el volumen de agua recogido durante el tiempo cronometrado.

Para obtener el caudal utilice la siguiente fórmula:

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

Donde:

Q: Caudal [m³/s].

t : Tiempo cronometrado [s].

V: Volumen recogido en el depósito [m³].

7.4.3 ANEXO 3. TABLA DE VISCOSIDADES CINEMÁTICAS DEL AGUA

Temperatura °C	Viscosidad cinemática (m ² /seg).10 ⁻⁶
5	1.52
10	1.308
15	1.142
20	1.007
25	0.897
30	0.804
35	0.727
40	0.661
50	0.556