

## **303 Hidráulica General y Aplicada**

### **Objetivos Docentes**

Son objetivos de esta asignatura que el alumno:

- 1.- Tenga un conocimiento claro de las leyes físicas por las que se rige el funcionamiento de un fluido continuo incomprensible. El agua se considera el paradigma que cumple estas condiciones (primer trimestre).
- 2.- Conozca el movimiento del agua (de los fluidos incomprensibles en general) en conducciones cerradas (tuberías); así como el funcionamiento de las máquinas hidráulicas (segundo trimestre).
- 3.- Conozca el movimiento del agua en cauces abiertos (canales, y ríos), en todo tipo de movimiento (permanente y uniforme; permanente no uniforme y variable) así como las reglas prácticas del comportamiento de las venas libres (orificios y vertederos), concluyendo con una introducción al movimiento del agua en medios porosos (tercer trimestre).

### **Programa**

#### **INTRODUCCIÓN**

Tema 1.- Características físicas de los fluidos.

Reseña histórica.- Estados de agregación de la materia.- Concepto de fluido.- Propiedades más importantes de los fluidos.

Tema 2.- Aplicación del análisis dimensional a la Ecuación General de la Hidráulica.

Aplicación del Teorema de  $\pi$  Buckingham al fenómeno hidráulico.- Ecuación General de la Hidráulica.- Significado físico de los números hidráulicos: Euler:  $E_5$ , Froude:  $F_5$ , Reynolds:  $R$ , Weber:  $W_5$ , Cauchy o Mach:  $C_5$  o  $M_5$ .

#### **HIDROSTÁTICA**

Tema 3.- Estática de los fluidos: concepto y ecuaciones que la definen.

Concepto de presión.- Equilibrio en los fluidos: Principio de Pascal.- Ecuación General de la Hidrostática.- Equilibrio de un fluido sometido al campo gravitatorio.- Presión en los líquidos.- Aplicación a la medida de presiones.

Tema 4.- Empujes sobre superficies sumergidas.

Empujes sobre superficies planas sumergidas.- Empuje sobre superficies curvas sumergidas.- Método de Poincaré.- Teorema de Arquímedes.- Estabilidad de cuerpos flotantes y sumergidos.

Tema 5.- Equilibrio relativo.

Definición de equilibrio relativo.- Aceleración lineal uniforme.- Rotación uniforme respecto a un eje vertical (vórtice forzado).- Fuerzas de presión de un fluido en el equilibrio relativo.

## CONCEPTOS Y ECUACIONES FUNDAMENTALES DEL MOVIMIENTO DE LOS FLUIDOS

Tema 6.- Ecuaciones fundamentales para el estudio del movimiento de los fluidos.

El medio continuo.- Concepto de partícula fluida.- Campo de velocidades.- Modalidades del movimiento.- Gasto o Caudal.- Concepto de sistema abierto: superficie y volumen de control.- Aplicación a los fluidos incomprensibles de las ecuaciones de continuidad, cantidad de movimiento y conservación de la energía dentro de un sistema abierto.

Tema 7.- Cinemática.

Definiciones de: Trayectorias, Líneas de traza y Líneas de corriente.- Métodos de representación del movimiento en los fluidos: Variables de Lagrange, Variables de Euler.- Transformación de unas variables en otras.

Tema 8.- Análisis del movimiento (deformación de la partícula).

Introducción al análisis del movimiento.- Velocidades de traslación, rotación y deformación. Deformación de la partícula. Interpretación del sentido físico de la deformación de la partícula (campo bidimensional).

Tema 9.- Análisis del movimiento (concepto de función corriente).

Movimiento rotacional y movimiento irrotacional.- Función potencial de la velocidad y función corriente (campo bidimensional).- Obtención de las redes de corriente.- Significado físico de las redes de corriente.

## DINÁMICA DE LOS FLUIDOS PERFECTOS

Tema 10.- Ecuaciones de la dinámica de los fluidos perfectos.

Ecuación general del movimiento de los fluidos perfectos (Ecuación de Euler).- Aplicación para el caso de líquidos en el movimiento permanente: Ecuación de Bernoulli.- Significado físico de la ecuación de Bernoulli.

Tema 11.- Aplicación de las ecuaciones generales de los fluidos perfectos al movimiento de los líquidos. Análisis en una corriente de la: Variación de la presión, Velocidad media, Expresión de la cantidad de movimiento y Expresión de la energía cinética.- Extensión de la ecuación de Bernoulli a una corriente.- Potencia de una corriente.

#### COMPORTAMIENTO DE LOS FLUIDOS PERFECTOS EN CAUCES ABIERTOS (CANAL EXPERIMENTAL) EN RÉGIMEN PERMANENTE Y UNIFORME

Tema 12.- Estudio del movimiento de los fluidos perfectos en cauces abiertos. Concepto de celeridad de la onda de peso.- Movimiento del agua en un canal rectangular sin fricción aparente.- Definición de energía específica.- Análisis de la 10 y 20 curvas de Koch.- Energía específica en un canal de forma cualquiera.

Tema 13.- Análisis de las transiciones.

Variación de la sección en un canal rectangular en el que permanecen constantes la energía y el caudal: a) Cuando el ancho del canal permanece constante; b) Cuando la solera del canal permanece constante; c) Cuando varían conjuntamente el ancho y la solera del canal.- Secciones determinantes.

Tema 14.- Resalto Hidráulico.

El fenómeno del resalto hidráulico.- Definición de los calados conjugados.- Determinación del valor del resalto hidráulico.- Amortiguadores de energía.- Análisis de las ondas sin fricción en un canal rectangular.

#### ECUACIONES FUNDAMENTALES DE LOS FLUIDOS REALES

Tema 15.- Fluidos reales: concepto y ecuaciones por las que se rigen.

Concepto de fluidos reales.- Ecuación del movimiento de los fluidos reales.- Sistema general de esfuerzos y deformaciones.- Ecuaciones de Navier-Stokes.- Generalización de la Ecuación de Bernoulli a los fluidos reales.

Tema 16.- La capa límite.

Concepto de capa límite (Prandtl).- Capa límite laminar y capa límite turbulenta.- Definiciones de la capa límite.- Aplicación del estudio de la capa límite laminar, con la ley de velocidades parabólicas de segundo grado, sobre un contorno plano.- Separación de la capa límite.- Conceptos de arrastre y sustentación.- Condiciones de similitud para fluidos incompresibles, en función de los números de Froude  $F_5$  y de Reynolds  $R$ .- Ecuación de la capa límite para un flujo bidimensional según Prandtl.

#### ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO LAMINAR

Tema 17.- Aplicaciones de las ecuaciones generales de los fluidos viscosos al movimiento laminar.

Movimiento uniforme en tuberías.- Conceptos de radio hidráulico y tensión de arrastre.- Experiencias de O. Reynolds: Definición de movimiento laminar.- Determinación de la ecuación que rige el movimiento laminar a partir de las ecuaciones de Navier-Stokes.- Pendiente hidráulica en el movimiento laminar: Fórmula de Hagen-Poiseuille.

#### ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO TURBULENTO

Tema 18.- Aplicación de las ecuaciones generales de los fluidos viscosos al movimiento turbulento.

Características del movimiento turbulento.- Movimiento medio y fluctuación.- Métodos empleados para el estudio de la turbulencia: Concepto de longitud de mezcla de Prandtl.

Tema 19.- Movimiento turbulento (continuación).

Distribución de la velocidad en un flujo turbulento.- Procedimiento de Bakhmeteff.- Pendiente hidráulica (pérdida de carga unitaria continua) en movimiento turbulento: Ecuación de Darcy-Weisbach.- Otras fórmulas tradicionales para determinar la pérdida de carga unitaria continua en conducciones cerradas.

Tema 20.- Movimiento turbulento en tuberías.

Leyes de fricción y velocidad en las tuberías lisas.- Concepto de rugosidad y sus efectos.- Movimiento turbulento de un flujo en tuberías de rugosidad uniforme:

experiencias de Nikuradse.- Fórmula de Colebrook-White.- Síntesis de las investigaciones encaminadas para definir del factor  $f$  de la ecuación de Darcy-Weisbach en tuberías comerciales: Ábaco de Moody, Ábaco de Lamont.- Cálculo de las pérdidas de carga continuas en tuberías comerciales.

Tema 21.- Estudio de las pérdidas de carga singulares o localizadas.

Concepto de pérdida de carga singular o localizada.- Pérdida de carga en un ensanchamiento brusco: Fórmula de Belanger.- Pérdida de carga en un ensanchamiento progresivo.- Pérdida de carga en contracciones bruscas y en contracciones progresivas.- Pérdidas de carga en otras alteraciones de la conducción.- Práctica del cálculo de tuberías.- Movimientos secundarios.

## CÁLCULO HIDRÁULICO EN CONDUCCIONES CERRADAS EN RÉGIMEN PERMANENTE

Tema 22.- Cuestiones a considerar en el cálculo de tuberías.

Influencia del perfil de la tubería en el línea de carga o energía.- Tuberías de aspiración-impulsión.- Tuberías ramificadas.- Tuberías múltiples.- Tuberías con servicio en ruta.

Tema 23.- Proyecto de abastecimiento de agua.- Redes de distribución.

Aspectos generales en un proyecto de abastecimiento de agua.- Cálculo de redes ramificadas.- Cálculo de redes en malla (Método de Hardy-Cross).

## CÁLCULO HIDRÁULICO EN CONDUCCIONES CERRADAS EN RÉGIMEN VARIABLE: GOLPE DE ARIETE

Tema 24.- Movimiento variable en conducciones cerradas.

Introducción.- Descripción del Golpe de Ariete.- Análisis del fenómeno físico según Joukowski.

## SEMEJANZA HIDRÁULICA

Tema 25.- La teoría de la semejanza en el modelaje hidráulico.

Semejanza mecánica.- Semejanza hidráulica: Aplicación del Teorema de  $\pi$  a la Ecuación General de la Hidráulica.- Condiciones de semejanza.- Clasificación de los fenómenos hidráulicos en orden a la elección de escalas de experimentación.

## MAQUINAS HIDRAULICAS

Tema 26.- Consideraciones sobre las ecuaciones del movimiento de los fluidos en el estudio de las máquinas hidráulicas.

Presión de una vena líquida permanente sobre una superficie fija (plana o curva).- Reacción de una vena líquida permanente sobre un álabe pulido y fijo que desvía el chorro incidente.- Concepto de potencia: Presión de una vena líquida permanente sobre una superficie (plana o curva) que se desplaza a su vez según el eje del chorro.

Tema 27.- Máquinas hidráulicas (continuación).

Vena líquida permanente que incide sin interrupción sobre una serie de placas (planas o curvas) fijadas radialmente a una rueda dotada de movimiento giratorio.- Definición de máquina hidráulica.- Clasificación de las máquinas hidráulicas.- Concepto y grados de reacción.- Cavitación.

Tema 28.- Estudio de las bombas hidráulicas.

Elementos constitutivos de una bomba hidráulica.- Ecuación fundamental de las turbomáquinas: Ecuación de Euler (aplicando a una bomba hidráulica).- Curvas características.

Tema 29.- Estudio de las turbinas.

Potencia teórica disponible entre dos secciones transversales de una corriente natural.- Potencia efectiva.- Curvas hidrógrafas.- Definición de turbina.- Elementos constitutivos de una turbina.- Ecuación general de las turbinas.- Clasificación de las turbinas.

Tema 30.- Semejanza y regulación en las turbomáquinas. Unidades homólogas. Leyes de semejanza en las turbinas. Velocidad específica.- Leyes de semejanza en las bombas hidráulicas.

## FLUIDOS REALES.- APLICACIÓN A CAUCES ABIERTOS

Tema 31.- Movimiento uniforme y permanente en cauces abiertos. Secciones de gasto máximo.

Condiciones del movimiento.- Distribución de la velocidad en la sección de evacuación de una corriente.- Pendiente hidráulica en cauces abiertos: concepto y cálculo.- Determinación de la pendiente del cauce. Variación del radio hidráulico con el calado.- Secciones de gasto máximo.

Tema 32.- Movimiento permanente no uniforme en cauces abiertos: Ecuación de la curva de remanso-resalto.

Estudio del escurrimiento como una sucesión de movimientos uniformes: Método geométrico.- Estudio del escurrimiento considerando la variación de las fuerzas vivas: Obtención de la ecuación de la curva de remanso-resalto.

Tema 33.- Análisis de la curva de remanso-resalto.

Integración de la ecuación de la curva de remanso-resalto.- Discusión de la curva de remanso-resalto.

Tema 34.- Movimiento variable: Ecuaciones de Saint-Venant.

Ecuaciones del movimiento de Saint-Venant.- Ecuación de continuidad.- Ecuación de la dinámica.- Tránsito de avenidas.

## VENAS LIBRES

Tema 35.- Orificios.

Concepto de venas libres.- Orificios: Concepto.- Fórmula de Torreceli.- Gasto por un orificio libre.- Gasto por un orificio sumergido.- Vaciado de depósitos por orificios.- Boquillas.

Tema 36.- Vertederos

Vertederos: Concepto de vertido y consideraciones generales respecto de los vertederos.- Gasto de un vertedero de pared delgada según Boussinesq.- Gasto de un vertedero de pared gruesa.- Gasto en otros tipos de vertederos.- Tiempo necesario para el vaciado por un vertedero.

## AFOROS DE CAUDALES

Tema 37.- Métodos directos- Métodos basados en la medida de la velocidad.

Introducción: Necesidad de aforar.- Métodos directos (de pesada, volumétricos).- Métodos basados en la medida de la velocidad: flotadores, ondas coloreadas, pantallas móviles, método de Allen, por cálculo directo (formulación), por hidrotímetros (tubo de Pitot-Darcy, molinete Woltmann).- Determinación del caudal en la sección transversal de un cauce, conocida la velocidad del agua en puntos concretos de la misma.

Tema 38.- Métodos basados en la utilización de estructuras o dispositivos.- Métodos basados en el uso de trazadores.

Métodos basados en la utilización de estructuras o dispositivos: limnímetros y limnógrafos, vertederos, venturímetros (tubos y /o canales), método Gibson.-

Métodos basados en el uso de trazadores: método de inyección continua, método de integración.

## MOVIMIENTO DEL AGUA EN MEDIOS POROSOS SATURADOS

Tema 39.- Estudio del movimiento del agua en medios permeables.

Movimiento del agua a través de un suelo saturado (Ley de Darcy).- Ecuación General del movimiento del agua en una capa freática.- Pozos artesianos.- Pozos ordinarios.- Zanjas practicadas en una capa freática.