

RESEÑA HISTORICA DEL LABORATORIO DE HIDRAULICA EN LA FACULTAD DE MINAS

**Por: Jorge I. Restrepo Mejía
Profesor del Depto. de Ingeniería, U. N.**

BREVE HISTORIA DE LA HIDRAULICA Y LOS MODELOS REDUCIDOS EN EL MUNDO.

La Ingeniería Hidráulica es tan antigua como la civilización misma. Esto es evidente si se piensa en la lucha del hombre por la supervivencia, que lo obligó a aprender a utilizar y controlar el agua. Por esto, las civilizaciones antiguas se desarrollaron en las proximidades de los grandes ríos y basaron su economía en la agricultura. Paulatinamente fueron utilizando el riego en sus formas primitivas.

Desde el momento en que el hombre logró representar sus conceptos por símbolos gráficos ha honrado el agua, dibujando líneas onduladas sobre los monumentos megalíticos y haciendo representaciones de la lluvia (tal el caso de Tláloc, la deidad azteca de la lluvia).

Del año 4000 al 2000 A. C. los egipcios y los fenicios ya tenían experiencias en problemas de agua, en la construcción de sus barcos y sus puertos. En ese tiempo, China, India, Pakistán, Egipto y Mesopotamia iniciaron el desarrollo de los sistemas de riego. Los chinos también experimentaron en la protección contra inundaciones. Después del año 500 A. C. en la Grecia antigua se construyeron acueductos y se empezaron a desarrollar fórmulas para dichos sistemas; fue éste uno de los primeros intentos para la elaboración de un modelo matemático. Después, básicamente sólo se conoce la invención del molino de viento utilizado para extraer aguas subterráneas. Ya en el siglo XVI se desarrollaron los principios de la hidráulica con científicos como Kepler y Torricelli; alrededor del año 1800 Newton, Bernouilli y Euler perfeccionaron dichas teorías.

El primer modelo físico hidráulico fué construido en el año 1795 por el Ingeniero Luis Jerónimo Fargue sobre un tramo del río Garona.

En el año 1885, Reynolds construyó un modelo del río Mersey, cerca de Liverpool. El anotó que la relación existente entre la fuerza de la inercia y la fuerza de la fricción interna era de gran importancia para el diseño de los modelos hidráulicos. Hoy en día, esta relación se denomina número de Reynolds, parámetro adimensional muy significativo en los modelos hidráulicos actuales.

El arquitecto naval William Froude, en 1870, indicó la importancia de la relación de la fuerza de inercia y de la fuerza de gravedad. En la actualidad esta relación se denomina número de Froude, parámetro adimensional básico en el análisis de los modelos hidráulicos.

El primer laboratorio hidráulico fue fundado en Dresden (Alemania), en 1891, por el Profesor Engels, y después de éste muchos otros aparecieron en casi todos los países del mundo; hoy en día hay más de un centenar, y con base en sus funciones se pueden clasificar de la siguiente manera:

- a.— Docencia e Investigación Pura**
- b.— Investigación Aplicada**

Los primeros, en cuanto a docencia, son utilizados en las universidades para demostrar a los estudiantes los fenómenos básicos de la hidráulica; en cuanto a la investigación pura, verifican las nuevas teorías en este campo.

Los otros se pueden encontrar en entidades oficiales, a veces en las empresas privadas y también en algunas universidades, y contribuyen al buen funcionamiento de las obras hidráulicas y al conocimiento y mejora de los productos industriales.

PROCESO HISTORICO DEL DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL LABORATORIO DE HIDRAULICA.

La historia del Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional, Sede en Medellín, se inicia en el período 1954—1955. El Ingeniero Luis Santiago Botero, en ese entonces Decano de la Facultad Nacional de Minas, efectuó un contrato con ingenieros alemanes, y como parte del convenio el Ingeniero Alexander Borges elaboró los primeros diseños del Laboratorio.

Durante la Decanatura del Profesor Luis de Greiff (1958—1960), uno de los científicos más distinguidos de nuestro medio, se construyó el llamado Edificio de Hidráulica, el cual alberga el actual Laboratorio y otros locales para oficinas y aulas. Su financiación fue posible, en parte con fondos provenientes de una importante donación que hiciera Ecopetrol a la Facultad. Por aquella misma época se compró e instaló el sistema de bombas y turbinas.

En el período 1960—1971 ocupó la Decanatura de la Facultad el Ingeniero Peter Santa María quien dió un gran impulso a las actividades del Laboratorio. El Ingeniero Rodrigo Cano G., Profesor de la Facultad, estuvo en los Estados Unidos adelantando estudios de especialización en el campo de la hidráulica, y a su regreso tuvo a su cargo la realización de las siguientes obras:

- Diseño de un canal elevado de pendiente variable, con paredes de vidrio.

- Construcción de un tanque elevado de cabeza constante, y reformas en el sistema de turbinas Francis y Kaplan.
- Diseño y operación de modelos hidráulicos reducidos para el túnel de descarga y la estructura de desfogue de la Central Hidroeléctrica de Guatapé, y para los disipadores de energía de la Central Hidroeléctrica de Guadalupe. Estos modelos reducidos fueron los primeros elaborados en Medellín, y de ellos se sacaron conclusiones y recomendaciones para las obras hidráulicas antes mencionadas.

El Ingeniero Himerio Pérez, quien en 1970 era el Director del Departamento de Ingeniería, acometió las labores administrativas necesarias para conseguir la financiación del diseño y construcción de las demás obras que completarían el aspecto docente del Laboratorio. En este empeño, el profesor Pérez encontró un total respaldo y apoyo por parte de las directivas de la Universidad, encabezadas por el Dr. Orlando Hurtado, Vice-rector de la Sede y el Dr. Nelson Gil, Decano de la Facultad de Minas. A partir del año 1971 se inició el período más dinámico que ha tenido el Laboratorio, durante el cual se llevaron a cabo numerosas obras y mejoras.

La vinculación de los Ingenieros Jairo Murillo y Circe Sencial permitió que se adelantara la programación general previa para el nuevo desarrollo del Laboratorio, una remodelación parcial del primer piso del Edificio de Hidráulica y un prediseño para reformar el antiguo canal de paredes transparentes.

En 1971 ingresaron como auxiliares de docencia los señores Juan Camilo Sanín, Jorge I. Restrepo y Ricardo Smith. Posteriormente, en 1972, los dos primeros mencionados se vincularon a la Facultad como Profesores de dedicación exclusiva, y tuvieron a su cargo la dirección de la mayor parte de las obras que hoy conforman el Laboratorio. Colaboraron también en esta última etapa, en calidad de auxiliares de docencia, la señorita Isabel Ramírez y los señores Gustavo Rendón y León Pérez.

Es muy conveniente destacar el carácter nacional del Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Minas. Todo el personal que ha intervenido en el desarrollo de los sistemas, tanto a nivel de dirección como de ejecución, es totalmente colombiano; así mismo, todos los materiales empleados han sido producidos en el país. Este esfuerzo nacionalista ha puesto de presente la capacidad técnica con que se cuenta en nuestro medio, y al mismo tiempo ha significado substanciales ahorros con respecto a instalaciones similares en el país.

DESCRIPCION DEL LABORATORIO.

En el Laboratorio se ha programado a grandes rasgos el desarrollo gradual de la docencia y la investigación pura, así como el de la investigación aplicada. A partir de agosto de 1972 y hasta el presente, se ha logrado alcanzar un nivel bastante bueno para cubrir las necesidades docentes en cuanto se refiere a la hidráulica aplicada en la Universidad Nacional —Sede de Medellín— y fundamentalmente en la Ingeniería Civil, así como también en las demás universidades que requieran este servicio.

Se ha logrado obtener los elementos necesarios para el desarrollo de futuras investigaciones puras y aplicadas. Es de anotar, además, la conformación de un valioso núcleo de personal de servicio, con sus talleres perfectamente adecuados. Este personal ha participado en la construcción y ensamblaje de todos los elementos que constituyen los sistemas hasta ahora construidos. Sin duda alguna, el tener este personal altamente calificado en el manejo del acrílico, carpintería, plomería, albañilería y soldadura, especializado en las necesidades del laboratorio, garantiza la continuidad, bajo este punto de vista, de una muy buena investigación pura y práctica. A este respecto, cabe señalar la colaboración de los señores Aldemar Loaiza, encargado del taller, Guillermo Pérez, encargado de plomería y soldadura, Alberto Molina, experto en acrílico y plomería y Mario Rendón, ayudante en las artes anteriores.

Hasta el momento se han construido cinco sistemas principales con todas sus facilidades de alimentación, desfogue y aforo, y se ha reacondicionado un sexto sistema de maquinaria hidráulica. En líneas generales, se presenta a continuación la descripción de los sistemas:

Canal de Paredes transparentes en acrílico.

— Características generales:

Caudal: 150 litros/seg.

Sección transversal: 51 cm de ancho x 80 cm de altura.

Longitud: 11.50 m.

Zona de tranquilización del agua a la entrada.

Acotado y abscondido en toda su extensión.

Tablero de piezómetros empalmados a lo largo de todo el fondo.

Compuerta plana deslizante.

Aguas abajo, una canaleta aforadora con sección transversal de 51 cm de ancho y 1 m de alto y una longitud aproximada de 3.50 m, con un vertedero de borde agudo rectangular sin contracción para hacer los aforos de los caudales.

Sistema de pérdida de carga en tubería.

— Características Generales:

Cabeza disponible de unos 11 m.

Caudal máximo 24 litros/seg.

Tubería galvanizada y tubería de acero de 4, 3, 2 1/2 y 2" de diámetro, con todos los accesorios y singularidades usuales en un acueducto o en cualquier obra hidráulica que requiera tuberías a presión.

Aforadores Venturi y tobera.

En el desfogue, una canaleta aforadora con sección transversal de 60 cm de altura por 1.20 m de ancho y una longitud de 2.40 m; una pantalla disipadora de energía, provista de un vertedero triangular de borde agudo con sensibilidad para caudales desde un litro/seg. hasta 25 litros/seg.

Medidor de presión, conectado por medio de un múltiple, a los puntos fundamentales del sistema para hacer las diferentes medidas de presión.

Sistema para estudio de chimeneas de equilibrio.

— Características generales:

Cabeza constante de 3.40 m.

Caudal máximo: 6 litros/seg.

Diámetro de la tubería: 2".

Longitud aproximada del sistema: 20 m.

Chimenea de equilibrio transparente con orificio restringido de 4" de diámetro.

Válvulas reguladoras de cierre rápido,

Aforo gravimétrico y volumétrico.

Chorro en caída libre.

— Características generales:

Cabeza constante de unos 11 m.

Caudal: 23 litros/seg.

Boquilla aforadora con juego de piezómetros.

Vitrina abscisada y acotada.

Aguas abajo, canaleta aforadora con un vertedero triangular de borde agudo.

En este momento se va a instalar una platina con posibilidad de pivotear al impacto del chorro.

Sistema de tuberías a presión en acrílico transparente para visualización y el estudio de venturi, toberas, orificios y cavitación en cuerpos sumergidos en tubería a presión.

Sistema de Maquinaria Hidráulica.

Este último sistema incluye los siguientes elementos:

a.— Turbina Pelton con eje horizontal y freno Prony.

— Características generales:

Salto neto: 45 m.

Caudal: 11 litros/seg.

Carcasa de acrílico transparente.

Velocidad máxima: 1.900 revoluciones/min.

Potencia aproximada: 5CV.

Mecanismo de regulación manual.

Rueda motriz de bronce.

b.— Turbina Francis de eje horizontal y con regulación exterior.

— Características generales:

Salto neto: 6 m.

Caudal: 77 litros/seg.

Velocidad: 800 revoluciones/min.

Potencia aproximada: 5CV.

Dispone de un mecanismo de regulación manual o automático. A este sistema se le está anexando un generador de corriente.

c.— Turbina Kaplan con eje horizontal y regulación exterior.

— Características generales:

Salto neto: 6m.

Caudal: 115 litros/seg.

Velocidad: 3.000 revoluciones/min.

Potencia aproximada: 7CV.

Rueda motriz con 4 aletas.

Regulación manual con sus respectivos aparatos de medición y un dispositivo de freno Prony.

Las anteriores turbinas, exceptuando la Pelton, cuentan con una bomba centrífuga de baja presión para elevar unos 115 litros/seg de agua al tanque de cabeza constante, situado en la terraza del edificio. Dicha agua baja a través de cualesquiera de los sistemas enumerados o por el rebose, al tanque subterráneo de almacenamiento, el cual a su vez realimentará el pozo de succión de las bombas.

EXPERIENCIAS DISEÑADAS CON LOS MONTAJES NECESARIOS PARA EL EJERCICIO DE LA DOCENCIA EN EL LABORATORIO.

Ensayos en conductos a superficie libre:

Fuerza sobre un compuerta plana deslizante.

Flujo bajo una compuerta. Estudio de los coeficientes de descarga.

Resalto hidráulico. Estudio de los diferentes tipos de resalto.

Estudio sobre diferentes tipos de vertederos de bordo agudo como medios de aforo.

Aforos de una sección de un canal de ensayo, o de un río, con micromolinete o molinete, respectivamente.

Estudio del vertedero de borde ancho, perfil normal, y de la distribución longitudinal de presiones en la superficie del vertedero.

Estudio de la Canaleta Parshall $W = 15.2$ cm.

Estudio de los disipadores de energía.

Visualización de interferencia de ondas superficiales.

Ensayos en conductos a presión:

Estudio de un chorro en caída libre, de su impacto y calibración de la boquilla para aforo.

Estudio, calibración y visualización del flujo en los aforadores Venturi, toberas y orificios.

Estudio de los coeficientes de rugosidad en tuberías de acero, galvanizadas, y en cualquier otro tipo que requiera su estudio.

Estudio de las líneas piezométricas y de energía en los sistemas de tubería a presión en acero y galvanizadas, con los accesorios y singularidades de diferentes clases y variedades.

Estudio del golpe de ariete.

Estudio y visualización del fenómeno de la cavitación en tuberías a presión.

Ensayos con maquinaria hidráulica:

Estudio de las tuberías de acción y reacción, con base en los equipos Pelton, Francis y Kaplan. Se estudia las condiciones de funcionamiento, así como la eficiencia mediante el empleo de un generador o de un freno.

UTILIDAD DEL LABORATORIO A NIVEL INVESTIGATIVO PURO Y PRACTICO.

La Hidráulica, hoy en día una ciencia básica de la Ingeniería, estuvo durante mucho tiempo basada en resultados empíricos obtenidos de anteriores obras hidráulicas. Con el desarrollo paulatino de teorías y técnicas desarrolladas tanto en modelos reducidos como en modelos matemáticos, ha cambiado esta orientación empírista. Como muchas veces una descripción matemática de los fenómenos hidráulicos es muy complicada o imposible (al menos por ahora, dado el estado del conocimiento humano), se hace necesaria la experimentación en modelos hidráulicos a escala reducida, los que además son útiles para la calibración de los modelos matemáticos.

El modelo hidráulico es una ayuda importante para el diseño de las obras hidráulicas difíciles de analizar por medio de un modelo matemático, siempre y cuando el diseño de un modelo reducido sea correcto, esté bien operado y los resultados sean interpretados con sentido crítico.

El objetivo final de una investigación en un modelo hidráulico es mejorar las situaciones desfavorables existentes en el prototipo (la estructura hidráulica al tamaño natural), o ayudar en el diseño de obras hidráulicas para encontrar una solución, sin riesgos de fallas completas o parciales, de las obras que se van a construir.

Los costos de la investigación en modelos hidráulicos reducidos no suben más del 0.75% del costo del proyecto en la realidad, y casi siempre la ejecución del modelo justifica su mismo valor por disminución de los riesgos en la ejecución u

operación de la obra, por ganancia de tiempo en la ejecución de la misma, por la comprensión que proporciona del funcionamiento del prototípico, o por las valiosas recomendaciones que pueden surgir para su diseño.

En cuanto a la situación del Laboratorio de la Facultad de Minas en el campo de la investigación, se cuenta con los elementos materiales fundamentales, ya sea en aquél o en otros de la Sede, cuando se requieran aparatos de medida muy complejos. La investigación pura dependerá en gran parte de la calidad y de la mística de los técnicos que hagan parte del Laboratorio, y de la relación que exista entre ellos y los técnicos dedicados a la práctica profesional, pues estos últimos pueden señalar las necesidades.

Con respecto a la investigación aplicada: dependerá en gran parte del estímulo y oportunidades de trabajo que se den al Laboratorio (como elemento que relaciona a la Universidad con la sociedad), de las entidades oficiales, semioficiales y de las firmas de ingenieros dedicados a las prácticas de la Ingeniería, tanto en el diseño como en la construcción.

Colombia es un país con un gran potencial en el campo de los recursos hidráulicos. Sin embargo, debe señalarse que es muy incipiente el desarrollo de la hidroelectricidad, los sistemas de riego, el control de inundaciones, la navegación. La ausencia de un Plan Nacional en tan importante campo es sin duda una de las causas principales de esta situación. Es responsabilidad de la Universidad y de los ingenieros proteger y desarrollar los recursos hidráulicos, proponiendo y defendiendo políticas nacionalistas que busquen la mejor planeación y desarrollo de los sistemas hídricos, de manera que ellos contribuyan a resolver las crecientes urgencias del país. Solamente dentro de este marco de referencia, un laboratorio de hidráulica como el que se ha venido describiendo tiene una función que cumplir.

RECONOCIMIENTOS

El Laboratorio no hubiera podido alcanzar su desarrollo actual sin la colaboración de los expertos y encargados del taller, anteriormente citados; sin la labor administrativa referente a la adquisición presupuestal de los dineros mediante el Dr. Himerio Pérez; sin la organización inicial a nivel de programas generales previos de desarrollo del laboratorio; sin el proyecto y revisión de la remodelación del edificio de hidráulica (oficinas, aulas y salas de dibujo); sin la iniciación del pre-diseño del canal de paredes transparentes y los trámites de importación de medidores de alta precisión, efectuados por los Drs. Jairo Murillo, Himerio Pérez y Circe Sencial; tampoco hubiera sido posible sin el trabajo callado y paciente de los auxiliares de dibujo, Sta. Isabel Sañudo y Srs. Alfonso Oliveros y Silvio Buitrago; sin el trabajo desinteresado e inquieto de los estudiantes de Ingeniería Mecánica de la U.P.B., Srs. Alvaro García y José Fabio Vélez; sin la gran mística y dedicación en cuanto al diseño, construcción y reacondicionamiento de todos los sistemas del laboratorio, durante este último año y medio, del Dr. Juan Camilo Sanín y de los auxiliares de docencia, estudiantes de Ingeniería Civil, Sta. Isabel Ramírez y los Srs. Ricardo Smith, Gustavo Rendón y León Pérez. Además, el estímulo permanente, la opinión racional y científica del Dr. Darío Valencia Restrepo.