

LOS LABORATORIOS DE HIDRAULICA EN ESTADOS UNIDOS Y SU CONTRIBUCION AL PROYECTO DE ESTRUCTURAS HIDRAULICAS

Por JOSE MARIA MARTIN MENDILUCE,
Ingeniero de Caminos.

Presenta el autor una descripción de importantes Laboratorios de Hidráulica en Estados Unidos, en los que tuvo la suerte de trabajar al concedérsele una beca por la interesante organización de estudiantes "Foreign Student Summer Project".

A medida que las obras hidráulicas han ido creciendo en magnitud, se plantearon problemas nuevos, sin precedente, y ha sido necesario recurrir, cada vez más frecuentemente, a la experimentación en laboratorio, debido a que, desgraciadamente la Hidráulica no es una ciencia exacta y los conocimientos teóricos no son todavía suficientes para hacerla innecesaria. Mucho se ha adelantado durante los últimos años en el conocimiento de los conceptos físicos fundamentales de mecánica de los fluidos; pero es muy frecuente que el ingeniero proyectista tropiece con problemas cuya solución no puede lograrse con cálculos teóricos únicamente.

No es, por tanto, extraño el creciente desarrollo que durante los últimos años ha alcanzado en todos los países la técnica de ensayos en modelo reducido, abordándose hoy en día toda clase de problemas. El ensayo hidráulico en modelo de una estructura es siempre "económico", pues aun en el caso de que esté perfectamente dimensionada en su proyecto original y no necesite modificación alguna, puede mi-

rarse como un seguro "barato" (si comparamos su coste con el de la estructura) de su perfecto funcionamiento en escala natural. Ahora bien: no es éste el caso más frecuente, y normalmente, a lo largo del ensayo, se introducen modificaciones que se traducen en un mejor comportamiento hidráulico de la estructura y, en consecuencia, en una mayor seguridad. No es raro el caso en que estas modificaciones disminuyen el presupuesto de la obra en una cantidad que supera en varias veces el coste del ensayo.

Como regla general puede decirse que el ensayo en modelo reducido de estructuras hidráulicas es económico, seguro y eficaz.

Para pasar una breve revista a esta actividad de la vida técnica de los Estados Unidos, comenzaremos con una descripción de los laboratorios que más detenidamente visitamos, pues aunque esta parte sea de interés reducido, parece lógico hacerlo así para luego continuar con algún problema específico y un resumen de algunos de los principales resultados obtenidos, que representan una ayuda real para el proyectista.

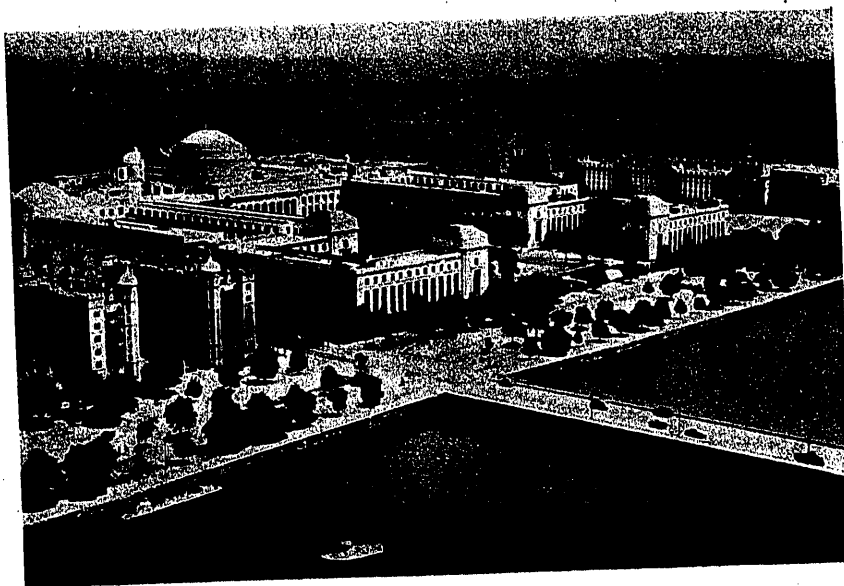


Figura 1.^a

El Laboratorio de Hidrodinámica del "Massachusetts Institute of Technology (M.I.T.).

El M.I.T. (fig. 1.), una de las Universidades técnicas de más prestigio en los Estados Unidos, se encuentra en la ciudad de Cambridge, que podríamos localizar como un barrio de Boston, la gran urbe capital del Estado de Massachusetts. A esta magnífica Universidad tuvimos la fortuna de asistir durante un curso de verano, gracias a una beca concedida por una organización de estudiantes: "Foreign Student Summer Project" (F.S.S.P). Merece especial mención este organismo, del que haremos un poco de historia. Hace aproximadamente unos cinco años, unos estudiantes del M.I.T. concibieron la idea de que, si lograban reunir todos los veranos a un número bastante elevado de técnicos de todo el mundo, podría irse creando progresivamente un espíritu de comprensión entre las naciones que, hoy en día, desgraciadamente, no existe. La convivencia durante cuatro meses de hombres de diversas razas y costumbres, ampliaría la esfera individual de conocimientos, profundizándose en la comprensión de los problemas mundiales y nacionales en una atmósfera de cordialidad. Por otra parte, el contacto con la riqueza industrial y de medios técnicos de los Estados Unidos, permitiría la elevación del nivel de vida de cada país a través de los técnicos elegidos, que podrían llevar a cabo investigaciones prohibitivas en su país por falta de medios. Por último, mediante un programa amplio de actividades sociales, se conseguiría también un mejor conocimiento de la vida norteamericana por el resto del mundo. El éxito de la empresa se basaba, desde luego, en la continuidad al ir agrupando los granitos de arena que representan cada año. Para que en su día tenga efectividad, la elección de los becarios se hace entre los de "vida probable" más larga, poniéndose para ello la condición tope de edad de los treinta y dos años. A España, desde hace dos años, se le conceden dos becas anualmente. Merece toda clase de elogios la idea creadora y la tenacidad con que los estudiantes trabajan para llevarla a la práctica solicitando fondos tanto del M.I.T. como del Gobierno y grandes industrias. Creemos que los Estados Unidos será, quizás, el único país donde pueda realizarse una idea como ésta, que lleva aparejada un gasto superior a los 80 000 dólares anuales. Vaya por delante nuestro agradecimiento más sincero al F.S.S.P. por el honor que nos dispensó al elegirnos como miembro.

A nuestra llegada a Cambridge, en junio de 1951, coincidimos con la inauguración oficial del nuevo Laboratorio de Hidrodinámica, sintiéndonos empujados en nuestra modesta posición de espectadores, ante la actuación de los "asés", el malogrado Bakhmeteff, Rouse, Tiffany, etc., llegados de todos los puntos del país al ciclo de conferencias organizado al efecto. El Director del Laboratorio,

Prof. Ippen, en una de las conferencias, nos puso en antecedentes sobre la doble actividad coordinada, de investigación y didáctica, en las diversas ramas de la Hidrodinámica que se preveía para el mismo. Centrarán las futuras actividades del laboratorio problemas referentes a la naturaleza de la resistencia de superficie, regímenes de corriente interna, turbulencia y procesos asociados de mezcla, que tratarán de la formación de ondas de superficie, perfiles superficiales en canales como función de las condiciones geométricas del contorno; fuerzas que se ejercen en cuerpos sumergidos; transporte de sedimentos en corrientes y transformación de materias y propiedades en procesos industriales. A menudo, tales estudios parecen algo alejados de los problemas específicos e inmediatos con que tropieza el ingeniero en la práctica de su profesión; pero también es una realidad que, frecuentemente, son del tipo de aquellos para los que los laboratorios de organismos del Gobierno e industrias de los Estados Unidos no encuentran tiempo, a causa de la necesidad inmediata de estudiar proyectos y problemas determinados, aunque la información que aquéllos podrían proporcionar sería de gran valor práctico. Por tanto, la aportación y coordinación de nuevas teorías al campo de la aplicación práctica, cae de lleno en las actividades de laboratorios de investigación de instituciones como el M.I.T.

Descripción del laboratorio y sus instalaciones fijas.—La concepción de un laboratorio de Hidrodinámica ha sufrido modernamente una variación considerable en lo que se refiere a elementos esenciales que debe contener. Los antiguos laboratorios de Hidráulica se consideraba necesario situarlos junto a un lago o río para asegurar un abastecimiento de agua natural grande, preferiblemente a presión considerable. Las instalaciones, en muchos casos, se orientaban estrechamente hacia aplicaciones técnicas específicas, tales como el tarado de aparatos de medida y el ensayo de bombas y turbinas, resultando, a menudo, excesivamente grandes y costosas de explotación. En consecuencia, su uso real era restringido y demostraron pronto que carecían de flexibilidad en su aplicación, ya que la diversidad de problemas a los que debe acomodarse un laboratorio no

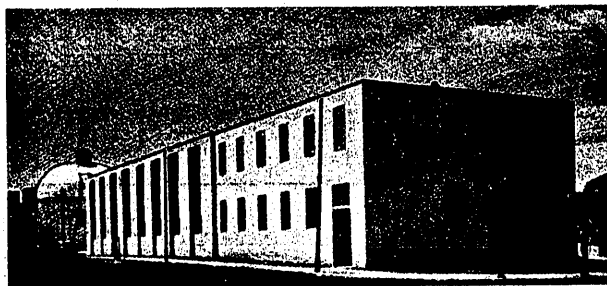
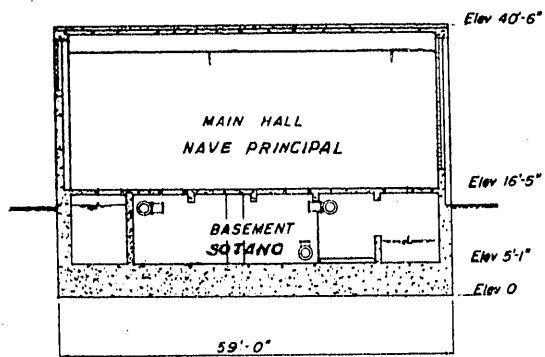
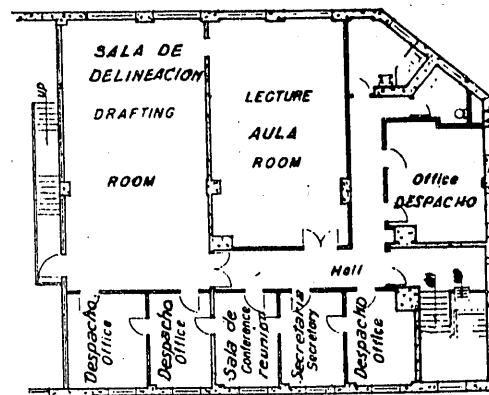


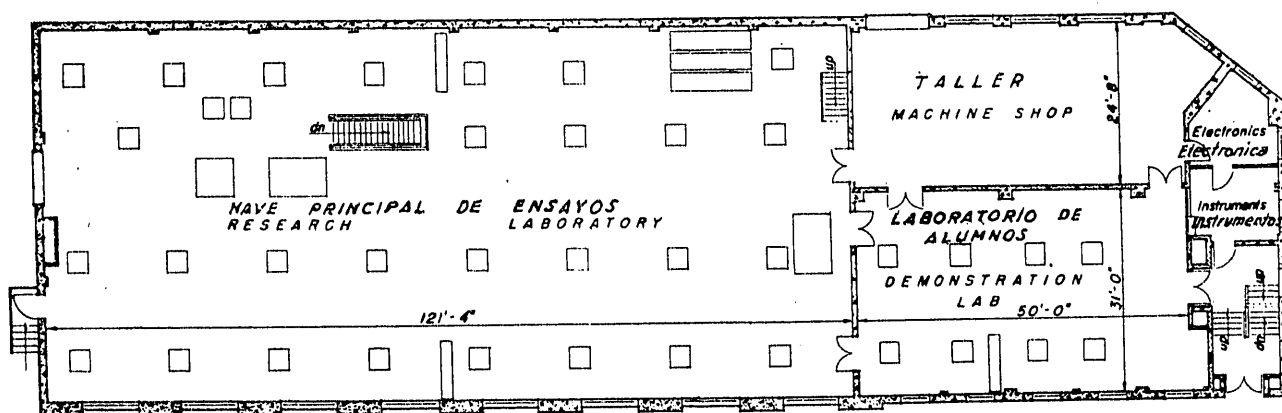
Figura 2.ª



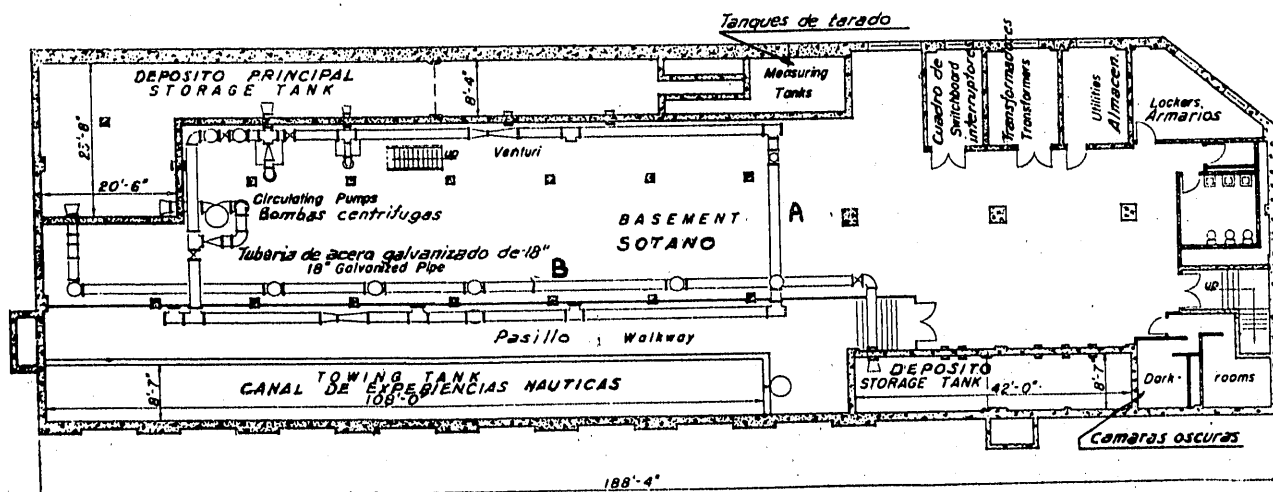
SECCION TRANSVERSAL
TYPICAL SECTION



PLANTA DEL SEGUNDO PISO
SECOND FLOOR PLAN



PLANTA DEL PRIMER PISO
FIRST FLOOR PLAN



BASEMENT PLAN
PLANTA DE SOTANOS

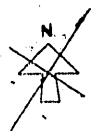


Figura 3."

puede preverse fácilmente. El caudal de agua necesario para la mayoría de los problemas que se presentan en un laboratorio de Hidráulica no es grande y puede suministrarse desde unos depósitos de tamaño razonable por un sistema central de bombeo de relativamente bajo consumo de energía, si se tiene en cuenta su uso más bien intermitente.

Teniendo en cuenta lo que precede, el nuevo laboratorio se situó en un lugar que proporcionaba el espacio adecuado, especialmente a la vista de futuras ampliaciones, equipándose con depósitos de una capacidad total de 464 m.³ (16 400 pies cúbicos) y una serie de bombas de circulación con capacidad combinada de 946 litros/seg. (33.4 pies cúbicos/segundo) para una carga de 12,192 m. (40 pies). Es un edificio rectangular de tres plantas (fig. 2.^a). Sus principales características se subordinaron a las condiciones locales del subsuelo, que hicieron necesario el cimentarlo con una gran placa de hormigón de 17,98 × 57,20 m. (59' × 188') y espesor medio de 1,83 m. (6'), para evitar las diferencias de asiento que afectarían a los largos depósitos y canales de ensayo que se pretendían instalar. La distribución puede apreciarse en la figura 3.^a.

La planta inferior o sótano aloja, sobre el nivel de su suelo, las instalaciones de depósitos de agua y distribución de la misma, que se han dispuesto de modo que dejen el máximo de espacio libre. En él se encuentran también los cuadros de interruptores, transformadores, laboratorio fotográfico y un canal de experiencias para modelos reducidos de barcos.

La distribución de la planta noble o primer piso presenta, en primer lugar, una gran sala de 36,88 × 17,07 m. (121' × 56') y altura doble normal, unos 6 m. (20') bajo las vigas del techo, que constituye la nave principal de ensayos (fig. 4.^a). Junto a ésta



Figura 4.^a



Figura 5.^a

existe otra sala de 15,24 × 9,45 m. (50' × 31') y altura normal que se utilizará como laboratorio de alumnos. Completan la planta un taller (fig. 5.^a), la sección de investigaciones electrónicas y un almacén de instrumental.

El segundo piso, cuya extensión en planta viene disminuida por todo lo que es nave principal de ensayos, aloja una gran sala de delineantes y ayudantes (fig. 6.^a), clase para alumnos (fig. 7.^a), biblioteca y despachos del personal titulado.

En el proyecto de la estructura se ha previsto una posible ampliación del edificio hacia el Oeste y la adición de dos pisos más en el futuro.

Con la distribución descrita, el laboratorio dispone, para la instalación de equipos experimentales con destino a la investigación o con fines educativos, de un espacio libre de 622 m.² en la nave principal de ensayos, 409 m.² en el sótano, una vez deducido el ocupado por los depósitos, y 139 m.² en el laboratorio de alumnos. Para dar la mayor flexibilidad posible a este espacio, se han reducido a un mínimo las instalaciones fijas. Estas incluyen, por supuesto, las correspondientes a almacenamiento, circulación del agua y líneas eléctricas, como de primera necesidad. El sistema eléctrico tiene una capacidad de 600 KVA., en el que, adecuados *feeders*, conducen la corriente a numerosas cajas de empalme situadas estratégicamente por todo el laboratorio.

La instalación de un gran rectángulo de circunvalación de tubería de acero galvanizado de 457,2 mm. (18") de diámetro permite conducir el caudal máximo de 946 litros/seg. lo más cerca posible de cualquier punto de la nave principal de ensayos desde las bombas de circulación (fig. 3.^a, A). Esta tubería se extiende a lo largo del techo del sótano, facilitándose el acceso del agua a la nave de ensayos mediante numerosos orificios cuadrados de 76,2 cm. de lado (30") practicados en el suelo de ésta, que normal-

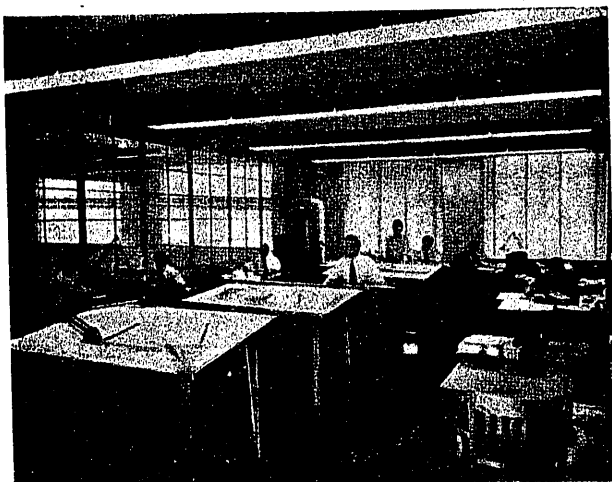


Figura 6.^a

mente están herméticamente cerrados con planchas de acero especial. Se han dispuesto también aberturas de este tipo sobre los depósitos para poder contar con acceso directo. El agua, después de utilizada en un ensayo, vuelve a los depósitos a través de estas últimas aberturas o conectando el desagüe a otra tubería de 457.2 mm. (18") que comunica los dos depósitos (fig. 3.^a, B). Existe un sistema de drenaje independiente en este piso para canalizar las aguas derramadas y reducir a un mínimo la contaminación del agua utilizada en los ensayos. Todo el sistema de tuberías y empalmes está galvanizado, conservándose así el agua limpia por largos períodos de tiempo. Los depósitos de agua están en completa oscuridad, evitándose de este modo la acción biológica. Este

detalle, que puede parecer secundario y sin importancia, la tiene, y grande, a la vista del predominante papel que juega la fotografía en, prácticamente, casi todos los problemas experimentales.

El depósito principal, en forma de L., se extiende por el sótano a lo largo de la mayor parte del muro Norte. Tiene una anchura de 2,60 m. (8 ½ pies), excepto en el ángulo Noroeste, donde se ensancha con una sección aproximada de 7,30 × 6,10 m. (24' × 20'). Su capacidad supera los 311 m.³ (11 000 pies cúbicos), que se aumenta con otro depósito de 12,80 m. (42') de largo por 2,60 m. (8 ½") de ancho, situado a lo largo del muro Sur, bajo el laboratorio de alumnos. Este último, de 102 m.³ (3 600 pies cú-

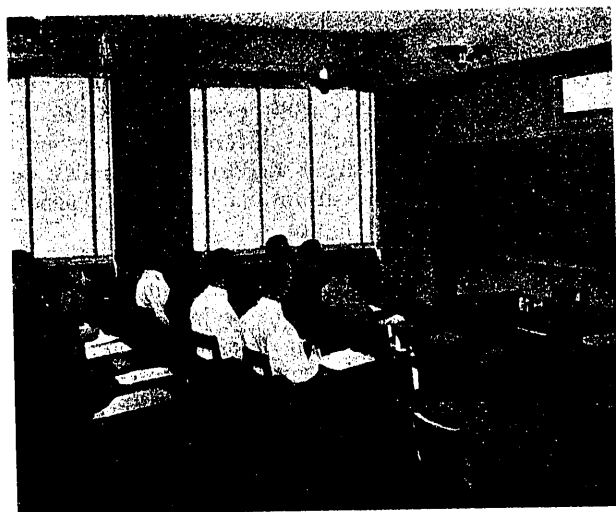


Figura 7.^a

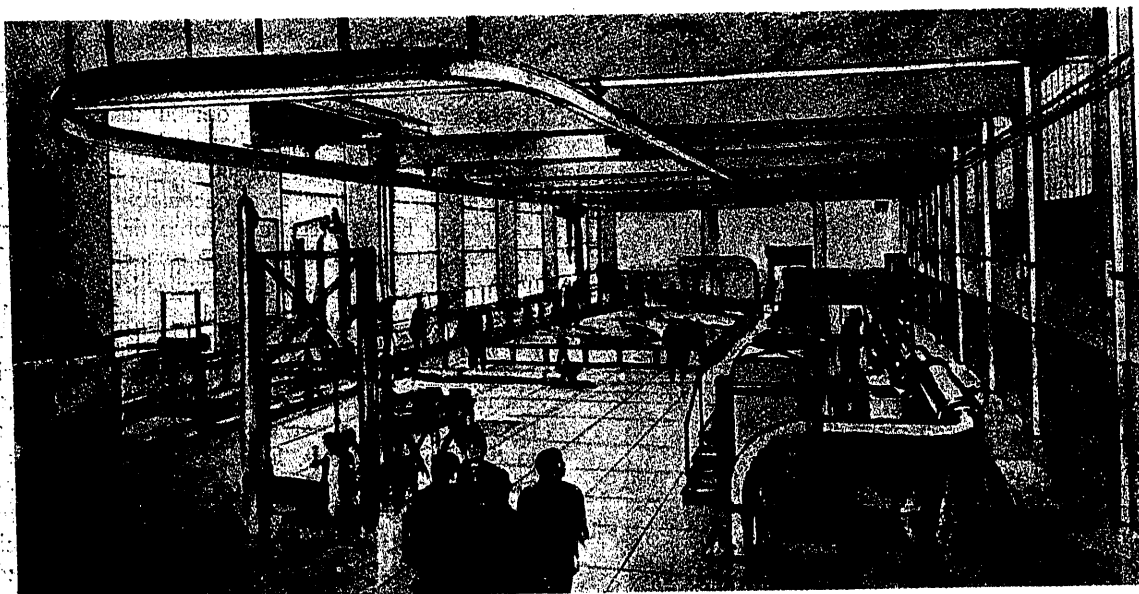


Fig. 8.^a — Instalaciones en la nave principal del laboratorio de Hidrodinámica.

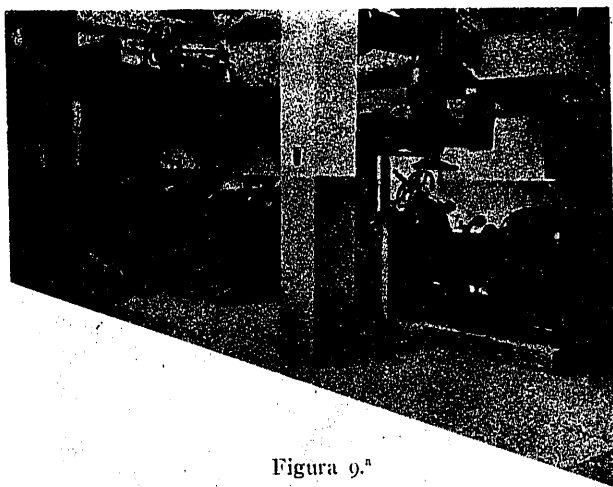


Figura 9.

bicos), puede usarse separadamente o en unión con el principal, para lo que existe, como se dijo antes, una tubería galvanizada que los une, estableciendo un sistema de vasos comunicantes.

En el extremo Este del depósito principal se han instalado dos pequeños tanques de tarado de 8,5 y 42,4 m.³ (300 y 1 500 pies cúbicos) para el aforo volumétrico de caudales, hasta la capacidad máxima de las bombas. Los grandes caudales se miden por medio de dos venturis de 254 mm. (10") de garganta, acoplados directamente en la tubería de circunvalación, mientras que los pequeños pueden medirse directamente junto a la instalación de ensayo correspondiente. La determinación, lo más exacta posible, del caudal es un factor de importancia primordial en la mayor parte de los experimentos, y por ello los venturis empleados normalmente en los trabajos del laboratorio, como cualquier otro aparato de medida, requieren comprobación periódica de su tarado inicial. Para ello se deriva la corriente, después de atravesar el venturi correspondiente, a un dispositivo de tubería-balancín (fig. 8.^a, A) de 609 mm. (24"), situado en el primer piso sobre los tanques de tarado. Esta tubería tiene acoplada, en su parte inferior, una tobera estrecha, con abertura ajustable en toda su longitud de 3,05 m. (10'), que convierte la corriente en una lámina larga y delgada en sentido descendente. La tubería puede girar rápidamente alrededor de su eje un ángulo de 15°, de modo que la lámina de agua puede desviarse en dirección a uno de los depósitos de tarado en unas centésimas de segundo. La posición vertical de la tobera desagua directamente en el depósito principal. Este método elimina la introducción de fuerzas perturbadoras en la corriente y dispositivos de estrangulamiento en el conducto aguas arriba.

El extremo Oeste del depósito principal se utiliza como cámara de aspiración de las bombas. Para obtener flexibilidad en su uso, el sistema de bombeo lo componen tres bombas centrífugas de 500 litros/segundo (8 000 g. p. m.), 252 litros/seg. (4 000 g. p.

m.) y 189 litros/seg. (3 000 g. p. m.), respectivamente, con altura manométrica de 12,19 m. (40'). Estas bombas se pueden utilizar en paralelo o separadamente, para dar cualquier caudal hasta los 946 litros/segundo (15 000 g. p. m.), o aún más, si la altura requerida es menor. La línea de presiones puede ajustarse en las tuberías de impulsión de las bombas por medio de válvulas accionadas con motor, que se controlan desde el piso de ensayos. La tubería principal de distribución puede dividirse por medio de válvulas de compuerta, en dos o tres circuitos independientes con capacidades correspondientes a combinaciones de dos bombas, o a las individuales de cada una. Todas las bombas funcionan con aspiración sumergida, eliminándose así el cebado, y las condiciones de entrada en las tomas del depósito son tales que aseguran un funcionamiento regular y uniforme, factor muy importante para la prosecución de todos los trabajos experimentales, reduciendo la necesidad de costosos dispositivos para mantener constante la carga por medio de depósitos especiales con rebosadero.

Además de las grandes bombas del sistema central (figs. 9.^a y 10), se dispone de algunas más pequeñas y transportables, que pueden integrarse a un modelo cuando sea necesario. El suministro de energía a éstas, así como a cualquier otro tipo de maquinaria que pueda emplearse, se realiza por medio de líneas a 220 voltios con numerosos registros a lo largo del muro Norte de la nave principal de ensayos, centro del sótano y pared Sur del laboratorio de alumnos. Las capacidades de estas líneas son 200 HP., para el sótano, y 100 HP., para cada línea del primer piso. El taller está abastecido por una barra-ómnibus central para toda la maquinaria-herramienta. La nave principal está provista de un cabrestante eléctrico monorraíl de 2 toneladas de capacidad, que se utiliza para el montaje de instalaciones tanto

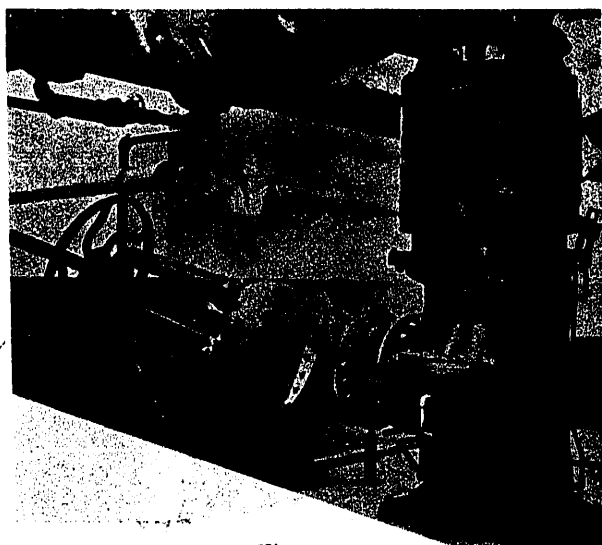


Figura 10.

en la nave como en el sótano, al que se da acceso por unas grandes trampas de acero.

Actividades en el momento presente y programa para el futuro. — Durante nuestra estancia, el laboratorio estaba todavía en periodo de montaje y la maquinaria instalada bailaba, por decirlo así, en la gran nave de ensayos. El laboratorio de alumnos, completamente vacío por aquel tiempo, se proveerá de pequeñas instalaciones que sirvan para explicar prácticamente los problemas hidráulicos que se presentan en el proyecto de conductos abiertos y cerrados y las características fundamentales de turbinas y bombas. Con este último objeto, la casa Morgan Smith Company proporcionará una bomba centrífuga de álabes giratorios, de 305 mm. (12") de diámetro, así como una turbina Kaplan con álabes del rodete también giratorios y 254 mm. (10") de diámetro, provistas ambas con dinamómetros (fig. 11). Su colocación está prevista de modo que puedan llevarse a cabo ensayos para ambos grupos bajo un amplio margen de condiciones y realizarse con aproximación las medidas de caudal, presión, velocidad y par. Estos grupos serán lo suficientemente pequeños para que puedan ser fácilmente manejados por los alumnos, y lo bastante grandes para que proporcionen datos de funcionamiento que estén de acuerdo con los de las turbinas y bombas modernas de cualquier tamaño.

La instalación de un pequeño canal de experimentación con paredes de vidrio hará posible el estudio de los fenómenos de corrientes en canales abiertos, sobre azudes y presas, desagües de fondo y resalto hidráulico, con las modificaciones que modernamente se introducen en estos amortiguamientos a pie de presa. Un pequeño depósito de paredes de cristal servirá para mostrar los regímenes de corrientes de densidad, tal y como se producen en los es-



Figura 11.

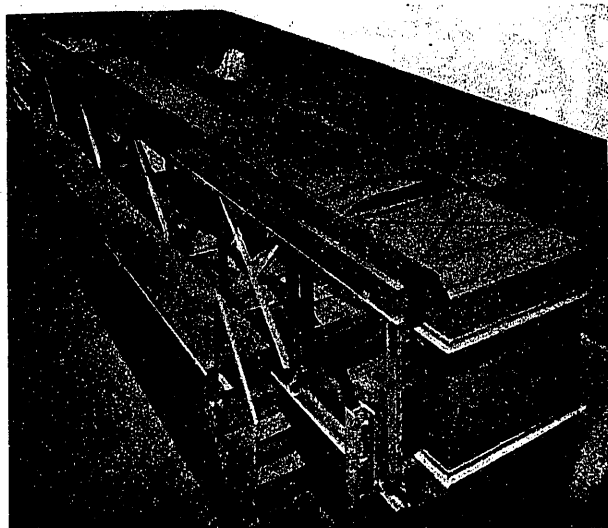


Figura 12.

tuarios de los ríos, donde las mareas introducen periódicamente hacia aguas arriba una cuña de agua salada y el agua fresca circula río abajo superiormente, o en grandes embalses, donde la corriente turbia que entra cargada de materiales en suspensión se desplaza por el fondo, bajo las aguas en reposo del embalse. Es problema semejante al que plantea la ingeniería sanitaria en el caso de desagües de alcantarillas en ríos o lagos y en el proyecto de tanques de sedimentación.

Mediante una calculadobra electrónica y estableciendo la analogía eléctrica, se han estudiado con éxito problemas relativos al proyecto de chimeneas de equilibrio y regulación de turbinas. Fundamentalmente se utiliza en el estudio de corrientes no uniformes, donde la solución de las ecuaciones básicas por métodos ordinarios es demasiado laboriosa.

Se dispondrá también de aparatos para determinar regímenes de corriente bidimensionales alrededor de cuerpos sumergidos y a través de canales de formas diversas, utilizando diversos métodos, tales como el Hele-Shaw, suspensiones de bentonita con luz polarizada y de analogías eléctricas. Se llevarán a cabo medidas de resistencia en conductos cerrados de rugosidad variable con codos, contracciones, difusores, etc.

Todas estas instalaciones que se prevén para el futuro, salvo el aparato electrónico que está ya en funcionamiento, dan idea del interés que tendrá en su día el laboratorio de alumnos, donde éstos podrán enfrentarse prácticamente con los problemas más fundamentales que plantea la mecánica de los fluidos.

La nave principal se dedica a determinados ensayos, la mayor parte de los cuales se realizan, en el momento presente, bajo el patrocinio de organismos gubernamentales. Como ya se dijo en un principio, casi todos estos experimentos se podrían encuadrar en el tipo de investigaciones generales. El

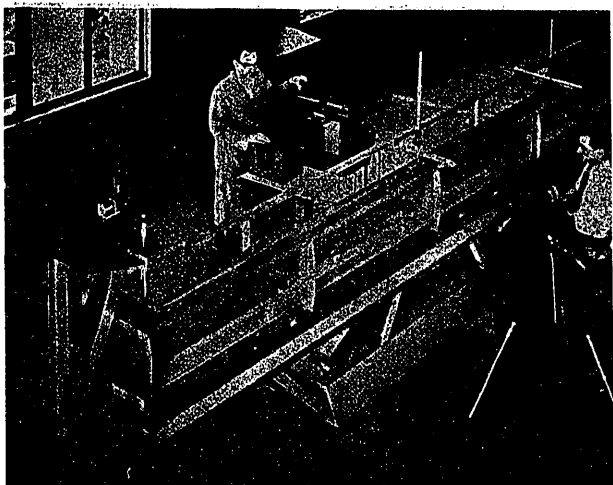


Figura 13.

personal subalterno que interviene en el desarrollo de los trabajos: está formado, principalmente, por ingenieros recién titulados que desean adquirir práctica. Las instalaciones necesarias para cada uno de estos estudios se prestan a investigaciones posteriores que pueden ser objeto de tesis por parte de estudiantes graduados para alcanzar el título de "Master" o el de "Doctor". Seguidamente se dará una breve descripción de los ensayos de este tipo en marcha durante nuestra breve estancia en el laboratorio.

Las fuerzas aéreas habían patrocinado investigaciones sobre la analogía entre corrientes supercríticas de agua (velocidades superiores a la celeridad de la onda elemental para profundidades dadas) y corrientes supersónicas de aire a través de conductos o secciones de alas de aviones. Para llevar a cabo este trabajo, se dispuso un canal de más de 12 m. de longitud con solera de cristal (fig. 12), al que puede darse con gran precisión pendientes hasta un 10 por 100. Por medio de una tobera regulable se consiguen corrientes uniformes de cualquier profundidad y velocidad dentro de los límites de la capacidad de las bombas. Una larga escala de números de Mach, característicos de la corriente supersónica, pueden así simularse. Este canal resulta también extraordinariamente útil para el estudio de problemas en tales corrientes supercríticas líquidas que no tienen analogía en Aerodinámica, pero que son de interés para el ingeniero hidráulico.

Patrocinados por la Oficina de Investigación Naval, se realizan ensayos para determinar las características de las ondas solitarias cuyas longitudes de onda sean grandes respecto a la profundidad, y se espera continuarlos hasta el otro extremo del espectro, por decirlo así, formado por las ondas oscilatorias de pequeña longitud de onda respecto a la

profundidad del agua. Los ensayos se realizan en un pequeño canal de experimentos, transparente (fig. 13), que permite la observación en todos sus puntos, bien lateralmente o por el fondo. Además de las mediciones relativas a la forma de la onda y su velocidad, pueden hacerse visibles las trayectorias internas del movimiento por medio de la observación estroboscópica de partículas discretas en suspensión.

Con destino a la misma Oficina de Investigación Naval, se montó una instalación para el estudio de la resistencia del fluido en regímenes de corriente transitorios, a base de un modelo piloto de un "túnel hidrodinámico de corriente variable". Consta éste, esencialmente, de dos depósitos conectados por tubo corto o sección de ensayo, obligándose al agua a pasar del superior al inferior a través de esta sección con el movimiento acelerado que se desee, gracias a un control preciso de las presiones en ambos depósitos (fig. 14). Por el tamaño a que se ha construido, la instalación sirve, principalmente, para resolver la multitud de problemas de instrumentación que se presentan relacionados con las medidas instantáneas de presiones, velocidades y control de la corriente líquida acelerada; sin embargo, serán posibles, hasta cierto grado, experimentos sobre resistencia y comienzo de cavitación que no pueden llevarse a cabo

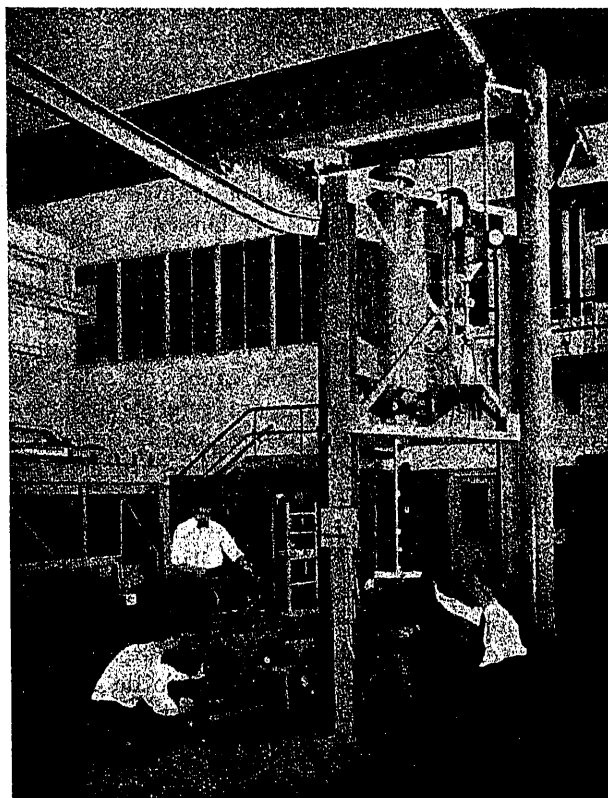


Figura 14.

con el túnel hidrodinámico normal, en el que se mantiene una circulación uniforme, como en los túneles aerodinámicos corrientes. El túnel en cuestión es análogo a los supersónicos del tipo "blow-down" que se usan en Aerodinámica, con la diferencia de que aquí juegan papel dos flúidos. Para llevar a cabo ensayos con cuerpos sumergidos, sería necesaria una instalación mucho mayor, que probablemente se construirá, una vez vistos los buenos resultados de la presente.

Para el servicio público de sanidad de los Estados Unidos se trabaja en un extenso programa de ensayos relacionados con la determinación experimental de los factores básicos que entran en los procesos de aireación durante el curso de tratamiento de aguas residuales. En las estaciones depuradoras, como es sabido, el aire se burbujea continuamente a través del líquido, con el doble objetivo de proporcionar el oxígeno necesario para la descomposición biológica y promover la mezcla uniforme del líquido tratado. La transferencia de oxígeno, según el tamaño y concentración de la burbuja, se estudia en una columna de aireación (fig. 15), en la que la concentración de oxígeno en el agua puede elevarse desde el límite inferior hasta la saturación mediante un preciso control. Las características de la aireación se recogen en un sistema especial registrador, que indica los valores instantáneos del oxígeno disuelto a lo largo de todo el período de ensayo.

Simultáneamente a los anteriores se realizan estudios referentes a la medición del grado de turbulencia en corrientes de superficie libre y movimiento de sedimentos en el lecho de un río, para lo que ha dado buenos resultados la combinación de un tubo de Pitot con una célula de presión en la determinación de las fluctuaciones de velocidad.

Para un futuro inmediato se preveía la instalación de un canal de experiencias de 914 mm. (36") de profundidad, 762 mm. (30") de anchura y unos 30 m. (100') de longitud, con cajeros y solera de cristal, que podrá utilizarse para estudios bidimensionales, ondas, corrientes de densidad y transporte de sedimentos. Podrá dividirse en dos partes independientes, para lo cual se disponen tomas y desagües en sus dos extremos y en la sección intermedia. Un canal de este tipo bien puede llamarse "caballo de batalla" de un laboratorio por su versatilidad. Su situación en la nave principal de ensayos puede apreciarse en la perspectiva de la figura 8.^a

Junto al canal se reserva un espacio de 12 X 24 metros (40' X 80'), con objeto de poder instalar modelos de puertos, estuarios y ríos (fig. 8.^a), para estudiar en ellos los problemas que normalmente se presentan, tales como corrientes afectadas por la oscilación de la marea, acción del oleaje de playas, etc.,

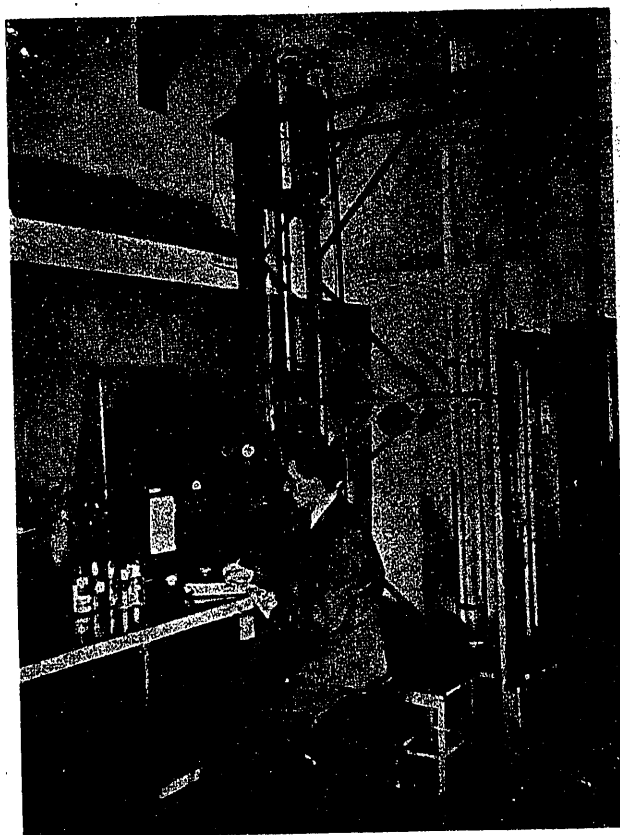


Figura 15.

de gran interés por la dificultad de predecir teóricamente las modificaciones que en tan complejos regímenes de corrientes introducen las obras proyectadas.

Para completar la descripción del laboratorio queda únicamente por decir que el depósito de experiencias náuticas, situado en el sótano, tiene por objeto poder determinar la potencia de propulsión necesaria en un determinado tipo de barco por medio de ensayos en un modelo geoméricamente semejante.

Es evidente que en, prácticamente, todos los problemas de investigación juega un papel primordial la instrumentación y técnicas de medida, y el desarrollo de nuevos métodos o la adaptación de antiguos se convierte en una fase necesaria en cada uno de los programas de experimentos. Esto trae como consecuencia la necesidad de disponer de personal competente de diversas especialidades adscrito al laboratorio, tales como ingenieros eléctricos, químicos y mecánicos, además de los civiles.

La existencia del laboratorio queda plenamente justificada no sólo por el interés técnico que representa la posibilidad de investigación en las diversas ramas de la Hidrodinámica, sino también por la magnífica tarea que puede desarrollar desde un punto de vista educativo.

El Laboratorio de Hidráulica del "Tennessee Valley Authority" (T.V.A.).

El T.V.A., organismo de todos conocido y sobre el que no vamos a detenernos en descripción alguna de tipo general por haber sido ya objeto de otros artículos (1), tiene su laboratorio de Hidráulica en el poblado de Norris, cerca de la presa del mismo nombre, primera de las construídas entre las que constituyen el formidable conjunto de aprovechamientos que se han puesto en servicio desde el año 1933, en que el Congreso de los Estados Unidos creó el organismo.

El proyecto de conjunto, verdaderamente gigantesco, hizo necesaria la instalación de un laboratorio propio que permitiese llevar de modo coordinado los trabajos experimentales con los constructivos, dado el tiempo *record* en que se programaba la ejecución total.

La situación del laboratorio cerca de la presa de Norris no obedece sólo a ser ésta la primera construída, sino a su proximidad a la ciudad de Knoxville, donde se encuentran las oficinas centrales. En la actualidad su actividad es reducida, debido a que el ingente programa hidráulico de la cuenca del río Tennessee está prácticamente concluído.

El laboratorio (fig. 16.) es un edificio de planta rectangular, de 73,15 m. (240') de largo por 21,40 metros (80') de ancho. La nave de ensayos se extiende a lo largo del edificio, con anchuras de 12,20 metros (40'), en una longitud de 61 m. (200') y 18,30 m. (60') en los 12 m. restantes. El resto de la planta queda ocupada por las diversas dependencias cuya distribución puede apreciarse en la figura. Adosada al edificio está la caseta de bombas y el depósito principal de agua, de una capacidad próxima a los 180 metros cúbicos (6 500 pies cúbicos). A nivel algo superior a éste existe un depósito de tarado de 56 metros cúbicos (2 000 pies cúbicos), cuyo contenido puede desaguarse en el depósito principal a

(1) Entre ellos podemos citar los publicados por el Ingeniero de Caminos D. Isidoro de Blas en los números 9 y 10 de los *Informes de la Construcción*, y el del Profesor de la Escuela de Caminos D. Juan Lázaro Urra, en la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, en el número de marzo de 1950.

través de una compuerta deslizante. El bombeo desde el depósito se ejecuta por medio de dos sistemas independientes. El primero lo componen dos bombas centrífugas de 152,4 mm. (6") que, trabajando en paralelo y conectadas a una tubería de impulsión de 304,8 mm. (12") de diámetro, conducen un caudal máximo de 226 litros/seg. (8 pies cúbicos/seg.) a un pequeño depósito de nivel constante (núm. 1) provisto de numerosos aliviaderos en forma de U, que proporcionan un control muy preciso de la carga de agua. De este depósito parten dos tuberías de 304,8 mm. (12"), para conducir el agua a cualquier punto de la nave de ensayos en que pueda instalarse un modelo y a un pequeño canal de ensayos. Una tercera tubería del mismo diámetro permite abastecer cualquier modelo que se sitúe al aire libre, fuera del laboratorio, en un espacio que existe con tal propósito. El segundo sistema consta de una sola bomba centrífuga de 457,2 mm. (18"), capaz de suministrar 651 litros/segundo (23 pies cúbicos/seg.) a través de una tubería de 508 mm. (20") a un gran canal de ensayos de 2,44 X 2,44 m. (8' X 8') de sección y 36,58 m. (120') de longitud. A la entrada del canal hay un depósito de nivel constante (núm. 2), que permite mantener el caudal deseado en el canal. El agua, después de atravesar una rejilla de tranquilización, se hace pasar por el aforador, vertedero en pared delgada de 2,44 m. (8') de anchura, tarado con el depósito de que se dispone para estos efectos. Una vez pasado el vertedero y tabiques de amortiguamiento, el agua tiene un recorrido de unos 12 m. (40') antes de alcanzar una zona con paredes de cristal, donde normalmente se sitúan los modelos a ensayar. Después del modelo, recorre todavía unos 10,5 m. (35') antes de llegar al final de este canal de acero, donde puede desaguar en el depósito de tarado o directamente en el canal colector que conduce al depósito principal. Los 226 litros (8 pies cúbicos/seg.) que son capaces de suministrar las dos bombas pequeñas pueden verterse en este gran canal aguas arriba del vertedero de aforo, disponiéndose, por lo tanto, de un caudal total máximo de 877 litros/seg. (31 pies cúbicos/seg.).

El laboratorio, como habrá podido apreciarse, es pequeño, sin grandes pretensiones, pero muy práctico, por la flexibilidad de que está dotado.