

Este texto publicado aproximadamente en 1984 fue sacado de una conferencia que impartió el Dr. Enzo Levi en el auditorio Javier Barros Sierra de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. La primera parte se publicó en el número 97 de la *Gaceta del IIUNAM* y concluirá en el próximo número de la gaceta.

SEGUNDA PARTE

En la década anterior, el producto sobresaliente del laboratorio hidráulico había sido el vertedor de abanico. Los vertedores son esas estructuras subsidiarias de las presas, a través de las cuales se evacúan las excedencias de agua que el embalse no podría retener sin riesgo para su seguridad. Constan esencialmente de un cimacio de cresta horizontal que desagua a un canal. La cresta está por lo general cerrada por compuertas, que se levantan cuando se quiere descargar.

La construcción del vertedor de la presa El Palmito, luego rebautizada como Lázaro Cárdenas, se hallaba detenida porque las compuertas, de fabricación alemana, no habían llegado a causa de la guerra. Al flamante laboratorio de San Jacinto le había tocado diseñar experimentalmente un vertedor sustituto de cresta libre.

La cresta, en una solución de este tipo, tiene que resultar más elevada y mucho más alargada que la del vertedor de compuertas equivalente. Debido a la incosteabilidad de construir un canal de descarga demasiado ancho, se imponía empalmarlo con el vertedor por medio de una transición convergente, y que el vertedor estuviera dispuesto en arco. Los primeros ensayos evidenciaron los defectos de esta solución: la masa de agua descargada tenía a amontonarse en el centro del arco y de allí descender, con una fuerte agitación que ponía en peligro la estabilidad del canal. Rodolfo Espinoza, el primer jefe de laboratorio, Raúl Sandoval, Hiriart y otros se

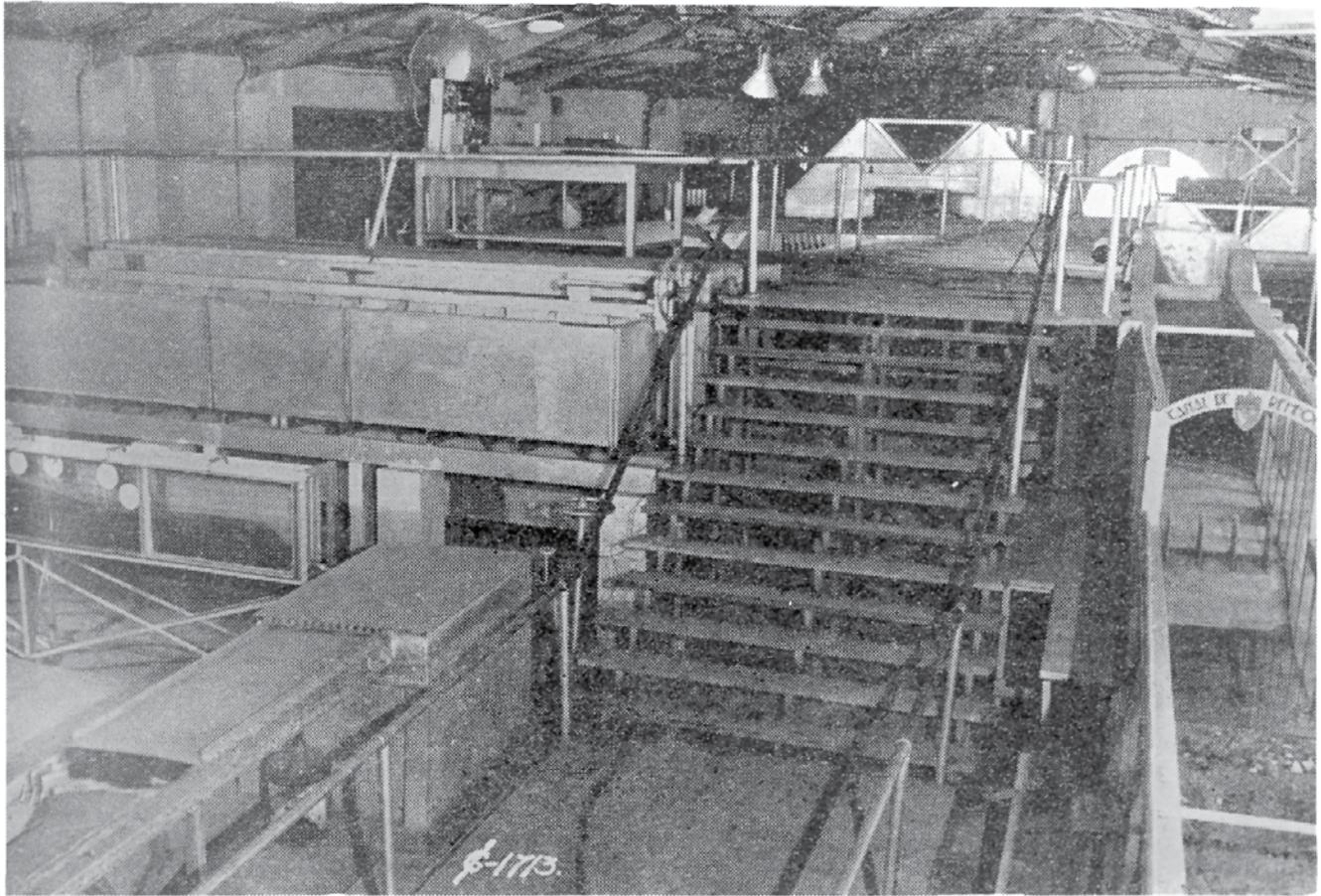
consagraron a una investigación sistemática que después de cerca de 200 pruebas y modificaciones, había desembocado en una solución ingeniosa, que eliminaba los disturbios forzando la tranquilización de la corriente al pie del cimacio. En 1949, el laboratorio ya había proyectado ocho de tales vertedores de abanico, de los cuales tres se habían terminado y otros tres se estaban construyendo.

No obstante, tal éxito no había satisfecho totalmente a los investigadores. Al principio se había deseado realizar una superficie vertedora de cresta curva y fuertemente convergente, que guiara el agua sin que esta se amontonara o creara ondas estacionarias; se había acabado por rodear la dificultad esencial provocando un cambio de régimen en el escurrimiento, pero el problema inicial había quedado sin resolver. El camino intentado a un principio, de conformar la superficie de acuerdo con las líneas de corriente y equipotenciales de una configuración de equipo convergente en dos dimensiones, había fracasado debido a la fuerte tridimensionalidad del flujo real. Se interesó a un investigador del Instituto de Matemáticas, Roberto Vázquez, a que atacara el problema. Vázquez obtuvo una solución interesante, imponiendo la condición de conservar las trayectorias de las partículas líquidas en planos verticales, normales a la cresta. Un modelo de vertedor de este tipo había trabajado satisfactoriamente; pero el diseño no se adaptaba a una cresta fuertemente arqueada, ya que esta habría normalmente implicado

la intersección mutua de los planos de las trayectorias, y luego un amontonamiento del agua, dentro de la estructura.

Se me ocurrió que una de mis primeras obligaciones en Tecamachalco era intentar, ampliando la concepción de Vázquez, la definición de las características de vertedores convergentes que favorecieran el desarrollo de trayectorias de proyección horizontal curva, y que al mismo tiempo fueran paralelas entre sí en la entrada y en la salida. Era necesario que yo refrescara y ampliara mis conocimientos de geometría diferencial de las superficies, y con tal objeto empecé a frecuentar en las tardes la biblioteca del Instituto de Matemáticas en el Palacio de Minería, biblioteca provista de una excelente colección de tratados clásico, reunida en su mayor parte por Sotero Prieto. Después de tantos años de abstinencia, constituía para mí un verdadero gozo disponer de tan suculenta alimentación intelectual. Encontraba siempre allí al simpático director del Instituto, Alfonso Nápoles, con quien sostenía largas conversaciones.

Don Alfonso era también presidente de la Sociedad Matemática Mexicana, la única asociación entonces existente en el campo de las ciencias exactas, ya sea teóricas o aplicadas. Muchos ingenieros eran socios, y se reunían en sus congresos, ocasión para ellos de fructíferos contactos con matemáticos, físicos y geofísicos. A veces estos contactos se hacían necesarios. Recuerdo que, una vez definidas las características



San Jacinto. Primer pabellón de Hidráulica. En primer término, a la izquierda, el túnel Hele-Shaw y un tanque de filtración, con modelo seccional de la cortina de El Azúcar; a la derecha, el canal Rehbock, con modelo seccional también de la cortina El Azúcar. En el fondo, a ambos lados, tanques medidores de vertedor triangular.

geométricas de mis superficies vertedoras, descubrí que ciertas conchas de moluscos marinos estaban justamente conformadas así, y que tuve que ir a la Casa del Lago, donde se alojaban los biólogos de la UNAM, para conseguir información acerca de las costumbres de dichos moluscos.

Presenté mis resultados al Congreso Científico Mexicano, organizado por la Universidad en 1951, para celebrar su cuarto centenario. El congreso constituyó un esfuerzo realmente meritorio, que reunió a investigadores y técnicos de los campos más variados, y cuyas voluminosas memorias

constituyen un documento esencial para quien desee apreciar la evolución de la investigación científica en México durante las últimas décadas. Allí conocí a ese personaje tan genial y humano que era Nabor Carrillo, otro de los que habían pasado por los laboratorios de San Jacinto.

Como jefe de la Sección de Mecánica de Suelos de la Comisión Impulsora y Coordinadora de la Investigación Científica, Nabor Carrillo desde 1945 había lanzado un programa de estudios acerca de las causas y modalidades del hundimiento de la ciudad de México. Coincidiendo con una intensificación

del bombeo de aguas del subsuelo para abastecer a la población, desde 1938 se había observado un incremento brusco en los hundimientos de la superficie y varios edificios ya habían sufrido daños de consideración. Nabor Carrillo necesitaba colaboradores, y es fácil imaginar a quiénes fue a buscar: Hiriart y Sandoval, sobre los cuales todo problema nuevo e interesante ejercía una atracción irresistible. Ya no se trataba de modelos de laboratorio; había un prototipo grande y complejo, el valle de México en su conjunto, cuyos movimientos podrían entenderse solo con base en la información que sería dado recabar de un

juicioso examen del suelo y del subsuelo. Por un lado se tenía que reconstruir la historia de la variación de niveles en la superficie, a partir de marcas colocadas en determinados sitios de la ciudad desde fines del siglo pasado [XIX], y relacionarla con la intensidad de la explotación de los mantos acuíferos; por otro lado, había que estudiar la corteza arcillosa presente en el subsuelo, cuyas características muy peculiares podían constituir la clave para entender el mecanismo de su deformación.

Para empresas de tal envergadura la gente suele esperar la acción del Gobierno. Aquí se tuvo la habilidad de invertir la situación. Como la Comisión impulsora carecía de fondos, se hizo un llamado a los directamente interesados: los constructores de edificios. Bernardo Quintana, gerente de Ingenieros Civiles Asociados (ICA), aceptó instalar un laboratorio donde se estudiaran no solamente los problemas de cimentación de las construcciones de dicha empresa, sino que se llevaran también a cabo todas esas investigaciones complementarias que se consideraran pertinentes. Además, se logró comprometer a todos los arquitectos e ingenieros, que en ese entonces estaban dirigiendo obras de importancia, a colaborar con la realización de observaciones de campo.

Perforar pozos para extraer muestras del subsuelo y analizarlas, controlar la variación de las presiones hidrostáticas, nivelar la superficie, realizar pruebas de capacidad de carga del suelo en puntos diferentes de la ciudad, determinar las alteraciones producidas por excavaciones e hincado de pilotes, y más que todo, organizar e interpretar todo ello, constituía una tarea inmensa, que requería ser encabezada por alguien. Este hombre, además de estar animado por el fuego de la investigación, debía ser sistemático, paciente e incansable, excelente organizador, dotado de don de gentes, experto y dispuesto a entrenar a otros, entusiasta y capaz de contagiar con su entusiasmo a

quienes se acercaban a él. ¿Imposible hallar semejante milagro de la naturaleza? Sin embargo, Nabor supo descubrirlo en un estudiante de Harvard y traerlo Para acá. Raúl J. Marsal, llegado en 1947, se metió de cabeza al trabajo: organizó el laboratorio, formó el personal, dirigió los sondeos, los controles piezométricos, las pruebas de carga, los ensayos, las campañas de medición y los análisis. Consiguió un colaborador precioso en la persona de un joven pasante, Marcos Mazari, que tanto se interesó en los aspectos físico-químicos del comportamiento de las arcillas del valle, que se vio urgido por agregar a sus estudios de ingeniero los de físico experimental. Luego de haberse vuelto físico, logró analizar las arcillas por medio de un espectrógrafo magnético construido por él mismo para complementar el acelerador Van de Graaff del Instituto de Física. Hoy Mazari ha regresado, para trabajar con Marsal en su nueva afición, la mecánica de rocas.

Al llegar a México, Marsal fue también metido a los estudios sobre cortinas de tierra para presas, que se realizaban en Tecamachalco. Para construir la cortina, hay que echar mano de los materiales que se hallan en el lugar: como estos cambian, cada cortina constituye un problema. En ese entonces se estaba construyendo la presa del Oviáchic o Álvaro Obregón, para lo cual no se disponía de los acostumbrados materiales mixtos limo-arcillo-arenosos, sino solo de arenas finas y uniformes. Su utilización era una incógnita y un riesgo. Se sabía que en ciertas condiciones las arenas pueden perder completamente su capacidad de carga. ¿Cómo habrían aguantado un temblor? Había que someterlas a pruebas severas, incluso a cargas oscilantes. Marsal construyó para estas un aparato especial, que recuerdo con sus poleas, resortes, engranes y excéntrica, funcionando aparatosamente entre las baterías de cámaras. El estudio tenía una finalidad inmediata pero, como siempre, se realizaba

de modo que sirviera de base para investigaciones más amplias en el futuro.

Marsal primero, Hiriart unos dos años después, dejaron Tecamachalco. Empezó para el Departamento de Ingeniería Experimental un período algo triste, en el que ciertas actividades se volvieron rutinarias. En el laboratorio hidráulico nunca se llega a la rutina, porque no se construye un modelo que no planteé algún problema nuevo. Sin embargo, se nos pedía poco trabajo por parte de las oficinas centrales; escaseaban los medios y el personal. Con la venia de Aurelio Benassini, ingeniero en jefe, hombre excepcional por su amplia visión y siempre, preocupado para que el Departamento mantuviera su ímpetu inicial, emprendíamos alguna investigación secundaria; pero no era mucho lo que se podía hacer. Para que la situación cambiara fue necesario que, en 1958, Raúl Sandoval fuera nombrado ejecutivo de la Comisión del Papaloapan y nos hiciera colaboradores en sus proyectos.

Mientras tanto ya había nacido el Instituto de Ingeniería. Con Nabor Carrillo como rector de la Universidad, y Javier Barros Sierra como director de la Escuela de Ingeniería, el laboratorio de mecánica de suelos de Ingenieros Civiles Asociados pasó a la UNAM para constituir el núcleo básico del Instituto. Un día Hiriart, director de este, me llamó por teléfono ofreciéndome colaborar con él. Localicé el nuevo Instituto con alguna dificultad, en los sótanos del Instituto de Geología. Encontré a Marsal y Mazari atareados con la instalación de sus aparatos. Encontré a Hiriart, con quien se hallaba un joven alto que no conocía. Me lo presentó como Emilio Rosenblueth.

Poco más de un año después, Hiriart dejaría el Instituto para nuevas empresas y Rosenblueth le sucedería en la dirección. La vieja generación había cumplido con su cometido, y le tocaba a la nueva enfrentar sus responsabilidades. |