

RAÚL J. MARSAL CÓRDOVA

José Luis Fernández Zayas

Es muy loable que las grandes organizaciones, como la Academia Mexicana de Ciencias, abran espacio para rendir homenaje a los más prominentes profesionales y científicos que dieron origen a la actividad de la investigación en México. Por ello, es encomiable que se decida publicar una semblanza del profesor Raúl J. Marsal, destacado investigador en la mecánica de los suelos, quien hizo muy importantes aportaciones a la ciencia y además participó, con muy alta calidad, en el progreso de la ingeniería mexicana, en la producción de valiosos y oportunos conocimientos y en la formación de algunos de los más relevantes científicos e ingenieros mexicanos.

Conocí al profesor Marsal en 1975, en el Instituto de Ingeniería de la UNAM, cuando se dedicaba a las investigaciones que permitieron la construcción de grandes presas de tierra y enrocamiento y explicaron la compleja y única característica del valle de México y su dinámica lacustre, así como muchas más que llevaron a la estabilización de taludes en carreteras y en los desarrollos urbanos. El profesor Marsal fue siempre, en todo momento, hombre ejemplar, paradigma de honestidad y altruismo a toda prueba. Pero otros investigadores fueron más afortunados que yo, y tuvieron el beneficio de un trato más intenso con el profesor Marsal. Para esta semblanza, tomo palabras escritas hace algunos años por tres de ellos, quienes han hecho impresionantes carreras profesionales por sí mismos: Daniel Reséndiz, Edmundo Moreno y Jesús Alberro.

En la década de los noventa, cuando era Subdirector Técnico de la Comisión Federal de Electricidad, Reséndiz escribió:

Somos muchos los que tenemos deuda permanente con el profesor Marsal, en México y en otras partes. La de quienes convivimos a su lado tantos años es, por supuesto, una deuda mayor, pero muchos otros la tienen también en diverso grado. Sus contribuciones como investigador, su labor como ingeniero y, sobre todo, su bonhomía y sus lecciones actuantes de ética, son el origen de esas deudas.

Repasar sus investigaciones sobre problemas de gran envergadura en la ingeniería muestra enseguida que todo investigador o profesional de la mecánica de suelos, la ingeniería de cimentaciones y la de presas, usará por decenios el conocimiento generado por Marsal. Él caracterizó y zonificó el subsuelo de la ciudad de México; aportó la mayoría de los datos cuantitativos para establecer fuera de toda duda el mecanismo del hundimiento general del valle de México; hizo las verificaciones a gran escala que convirtieron ciertas hipótesis en teorías sobre el comportamiento de cimentaciones; inventó y desarrolló la instrumentación que haría posible observar el comportamiento de obras térreas a fin de aprender de él; a partir de tales observaciones en numerosas obras, estableció lo que cambiaría concepciones y prácticas en todo el mundo acerca de la naturaleza, el grado y las consecuencias de la deformabilidad de grandes presas térreas; advirtió la importancia práctica de la magnitud de las fuerzas de contacto entre partículas de medios granulares y aportó pruebas científicas de ello a escalas de laboratorio y de campo; etc., etcétera.

Fue constructivo porque fue crítico y autocrítico. Lo fue para poner a prueba no lo ajeno, sino lo propio, es decir, lo que interesaba al trabajo institucional; lo fue para explorar, para entender y que entenderíamos; para evitar la complacencia y el adormecimiento. Marsal siempre puso en duda el valor de sus propias contribuciones, y era sincero. Siempre estuvo, sin embargo, seguro de sí mismo. No había contradicción entre tales actitudes. Dudaba del valor de su obra porque la comparaba con la magnitud de lo que la ingeniería había acumulado y con la de los problemas no resueltos.

Distinguido fundador de la DEPEI, recibió la distinción doctor honoris causa por el rector Ignacio Chávez. 18 de noviembre de 1964.



Era seguro de sí mismo porque nunca se permitió flaquezas en la laboriosidad y el rigor.

La ingeniería y la investigación fueron el interés principal de su vida; un interés que ejerció con sentido de misión. Como buen misionero fue exigente consigo mismo a la vez que humilde y generoso con los demás. Vi su generosidad con muchos y fui beneficiario de ella. De cerca y de lejos me enseñó, me observó, me criticó con especial afecto, me exigió, me dio todo lo que pudo.

Me tocó la fortuna de conocerlo, tratarlo y quererlo continuamente desde la plenitud de su vigor hasta el dolor de sus últimos días. Fui su ayudante, su aprendiz, a veces su sombra, en la investigación y en la ingeniería; en el gabinete de diseño, en el laboratorio y en el campo. A la mitad de mis estudios de licenciatura, en 1958, me llevaron ante él cuando ya estaba culminando, con la colaboración de Marcos Mazari, una de sus primeras grandes obras: *El subsuelo de la ciudad de México*. Fue desde entonces, continuamente, un guía y mucho más. Lo sigue siendo; también lo fue de Jesús Alberro y de muchos otros. Siempre quiso, sin embargo, que siguiéramos nuestro propio camino. No aprobó algunas de nuestras decisiones u ocupaciones, pero nunca lo dijo explícitamente. Nos lo hacía saber subrayando la importancia de otras actividades que él creía que podíamos realizar mejor. Fue nuestro maestro. No fue el único, pero fue insustituible.

Fue un gran investigador, pero también fue un notable ingeniero. Tenía en alto grado un conjunto de complejas virtudes necesarias para ello. Su

contribución al desarrollo de la infraestructura hidráulica en México bastaría para acreditarlo. Intervino durante 45 años en las decisiones más importantes para la planeación, el diseño, la construcción y a veces la operación de las grandes presas de México. En todos los casos su labor era una lección implícita. Reconocía que cada proyecto era único y que las extrapolaciones superficiales eran aceptables. Definía claramente los problemas; buscaba y luego exponía tentativamente las soluciones posibles; elegía con rigor y pragmatismo los métodos de análisis; los aplicaba; interpretaba y evaluaba los resultados; si dudaba de la validez de un método ideaba formas de calibrarlo; y tenía la intuición proveniente de una formación rigurosa, la observación sistemática y la experiencia. Trabajaba en equipo; confiaba en otros que también sabían; daba créditos; estimulaba y decidía.

Al lado de sus atributos sobresalientes como investigador e ingeniero tuvo uno mayor: su ética personal. No he conocido a otra persona más altruista. La autoridad moral que él tuvo sobre tantos individuos de intereses, ocupaciones y edades tan diversos sólo puede explicarse por la transparencia de los principios que rigieron su comportamiento: nadie pudo dudar jamás de que carecía de intereses egoístas; no había forma honesta de poner su altruismo en tela de juicio. Sólo así se pudo influir sobre las personas y las instituciones en el grado en que el profesor Marsal lo hizo.

Reconozcamos que todos tenemos con él una deuda impagable, por los beneficios que recibimos de su presencia y su actuación. Ya no podemos beneficiarnos de su apoyo; pero podemos hacer que su recuerdo sea reconfortante, que nos motiva para actuar con rigor profesional y para ser generosos y altruistas.

Edmundo Moreno era gerente de Ingeniería Experimental y Control de la Comisión Federal de Electricidad cuando escribió para la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos el texto que sigue:

La Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos se propuso honrar la memoria de Raúl J. Marsal con un evento que lo evoque, y nada mejor que una reunión técnica sobre presas, tema que como tantos otros de ingeniería siempre

le interesó solucionar de la mejor manera, ya que le inquietaba la facilidad con la que los ingenieros acostumbramos interpolar y aceptar resultados sin el debido análisis. Así, por ejemplo, basados en el aparente buen comportamiento de presas de tierra y enrocamiento, éstas fueron creciendo en altura de 50 a más de 100 m sin mayor reflexión, hasta que en 1960 se invitó a Raúl Marsal a participar en el diseño y construcción de una presa de 145 m (Infiernillo), reto que indiscutiblemente le entusiasmó, pero no por romper algún récord, sino porque le aceptaron la condición de que simultáneamente a los trabajos de diseño y construcción de la presa, se le darían las facilidades tanto para estudiar el efecto de escala en los resultados de laboratorio al pasar del tamaño de partículas de arenas y gravas a enrocamiento como para dar el gran paso de intentar medir deformaciones y poco más tarde esfuerzos dentro del cuerpo de las presas, práctica ahora considerada como usual en la construcción de grandes presas.

Al escribir este primer párrafo caigo en la cuenta de que me refiero al trabajo del ingeniero pero también al del investigador, y mi compromiso con la directiva de nuestra Sociedad fue preparar unas notas referentes a la vida profesional de Marsal como ingeniero, lo cual me permite referirme a toda su actuación, pues los que tuvimos el privilegio de tratarlo habremos constatado que al plantearle algún problema el diálogo se establecía con el profesor, con la inquietud del investigador, pero siempre para tratar de resolver en la forma más correcta los problemas que la ingeniería representa, aun en aquellos casos en que las soluciones parecían obvias y triviales.

Continuando con la contribución de Marsal en la ingeniería de presas de tierra y enrocamiento, es importante señalar que después de su llegada a este país (1945), fueron contadas las presas de este tipo construidas en México en las cuales no participó, incluyendo algunos proyectos en América del Sur.

En 1974 la Comisión Federal de Electricidad decide iniciar la construcción de la presa Chicoacén con 264 m de altura, lo que la convertiría en la quinta presa más alta del mundo. La magnitud del problema, no sólo por la altura de la estructura sino por su ubicación en una boquilla muy estrecha y con una notable asimetría en la parte superior, demandaba la contribución

de la persona mejor preparada en este campo, y así, el ingeniero Marsal de nueva cuenta superó el reto introduciendo como innovación en el diseño de presas la construcción de una franja con arcilla muy deformable en contacto con las paredes del cañón y con los filtros para inducir en estas fronteras los mayores asentamientos y así romper el arqueado del núcleo de arcilla, ya que de no hacerlo se generan grietas de tensión.

Al llegar 1988 se decide construir el proyecto hidroeléctrico de Aguamilpa con una presa de enrocamiento con cara de concreto, la de mayor altura en su tipo (184 m). El profesor Marsal apuntó en su oportunidad el sinnúmero de fallas registradas hasta los años 60 en México y el resto del mundo con esta tecnología, en la que, como es bien sabido por ustedes, el punto débil es la presencia de filtraciones en la unión de las losas de concreto entre sí y de mayor cuantía en su apoyo con la cimentación. Para evitarlo se requiere reducir a un mínimo el valor de los asentamientos y lograr un sello confiable en las juntas. La tecnología actual recomienda el uso de tres líneas de defensa, iniciando en la cara mojada con un calafateo de un producto asfáltico confinado por una cubierta de *Phypalon*, una banda de PVC en el centro de la losa y otra banda de cobre en la parte inferior de la losa en el contacto con el terraplén de la presa. Estudios iniciados en Brasil indicaban la posibilidad de usar suelos finos en la cara de aguas arriba de las juntas para controlar la magnitud de las filtraciones. Para poder definir el diseño de Aguamilpa, Marsal inicia una serie de ensayos de laboratorio tanto de las bandas de PVC y cobre como del uso de arenas, para que una vez más nos enseñara a no aceptar *a priori* aquello que no esté satisfactoriamente respaldado por estudios confiables. El resultado fue que las cenizas producto de la combustión del carbón parecen ser el material óptimo, ya que se movilizan como un fluido y logran el llenado tanto de grandes aperturas (2-3 cm) como de pequeñas fisuras, quedando gobernado el gasto de las filtraciones por el área de las aperturas y la permeabilidad de las cenizas.

Las intervenciones de Marsal no eran las del especialista sino las del ingeniero civil de la vieja escuela, con visión del conjunto, por lo que al tratar lo referente al proyecto de presas revisaba todos los factores importantes que podrían incidir en la seguridad y factibilidad del proyecto, es decir, verifica-

ba la confiabilidad de los datos de topografía, geología, sismicidad e hidrología; en este último aspecto tuvo la experiencia personal de manejar con éxito y no con pocos sufrimientos el paso de grandes avenidas en obras tanto en construcción como en operación. El estar presente en estas eventualidades no fue una casualidad, sino por su convencimiento de que la ingeniería se hace en el campo y no desde el escritorio.

Pero resulta que el joven Marsal no llegó a México para diseñar y construir presas, sino por encargo del Dr. Arthur Casagrande a realizar su tesis doctoral con el estudio de las arcillas del valle de México. Como era natural en el ingeniero Marsal, su objetivo no fue simplemente obtener un grado académico, sino que se propuso estudiar a fondo las condiciones poco comunes del subsuelo de la ciudad, y no desmayó hasta lograr establecer correlaciones estadísticas que le dieron las bases para diseñar las cimentaciones de importantes edificios. Su conocimiento en la materia fue ampliamente reconocido por diversas autoridades, por lo que le llamaron para formar parte de casi todos los comités creados en el transcurso de los años para revisar el Reglamento de Construcciones del Departamento del Distrito Federal. Hace algunos años, al comentar sobre el crecimiento desenfrenado y casi inhumano de esta ciudad, el profesor Marsal se cuestionaba si realmente había sido una buena contribución a la ciudadanía la publicación del *Subsuelo de la Ciudad de México*, o si por el contrario había influido para promover ese crecimiento. Esta reflexión muestra que mucho más allá de sus intereses personales prevalecían los de la comunidad.

También participó en el extraordinario Proyecto Texcoco concebido por el Dr. Nabor Carrillo, con quien tuvo en diferentes proyectos una estrecha relación profesional. Si he mencionado un nombre, no podré guardar en el tintero el de don Fernando Hiriart, quien siempre confió al profesor Marsal su eficiente intervención en un sinnúmero de actividades en los campos de ingeniería de presas, cimentaciones, estructuras e hidráulica, así como en el complejo tema para un ingeniero civil del diseño y operación de centrales termoeléctricas y nucleoelectricas, lo que lo obligó a repasar sus apuntes de termodinámica y de reactores nucleares.

La agudeza mental, severidad en el trato de los asuntos de trabajo, habilidad para detectar errores, puntualidad (no la tradicional inglesa; siempre estaba antes de la hora), sencillez, honradez, tenacidad, desprendimiento de lo material y los títulos, respeto y muchas más cualidades y virtudes hacen al profesor Marsal insustituible; su ausencia entre nosotros los ingenieros la suavizan sus enseñanzas y obras perdurables.

En los últimos días de Marsal le pregunté si tenía algún mensaje para la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos y me dijo: “que se pongan a trabajar”, así que trabajemos.

Sin embargo, el investigador del Instituto de Ingeniería que más trato cotidiano tuvo con el profesor Marsal fue Jesús Alberro, ya citado por Daniel Reséndiz. En esa época, Alberro escribió:

Raúl Marsal, por su desinteresada entrega a la investigación, su espíritu creador, su evidente empeño en dialogar con la naturaleza y con los hombres deja una profunda huella como investigador, como hombre, como profesor.

Su personalidad recia, íntegra, generosa en lo intelectual y lo cotidiano ha dejado innumerables enseñanzas para sus colaboradores, quienes de hecho fuimos siempre sus alumnos.

En la obra de Marsal como investigador se manifiesta claramente el propósito de su acción: entender los fenómenos para ser útil, investigar para actuar. Esta norma la aplicó en los tres campos de la geotecnia a los que contribuyó tan significativamente: el hundimiento de la ciudad de México, la mecánica de los medios discretos y la observación de las obras térreas.

Raúl Marsal llegó a México en 1945, incitado por Arthur Casagrande para que junto con Nabor Carrillo dilucidara el problema del hundimiento de la ciudad de México. Según sus propias palabras consideró que “era importante este tema para la estabilidad de sus construcciones y la preservación de sus monumentos”.

Transcurrieron 14 años de arduas labores, primero en la Comisión Impulsora y Coordinadora de la Investigación Científica (CICIC), luego en los Laboratorios de la Compañía Ingenieros Civiles Asociados (ICA), en los que

desarrolló ingeniosos equipos para medir las propiedades tanto estáticas como dinámicas de las arcillas del valle de México, y finalmente en el Instituto de Ingeniería, en donde escribió junto con Marcos Mazari su libro *El subsuelo de la Ciudad de México*. Este libro es fundamental en muchos aspectos. En efecto no sólo clarifica, fuera de toda duda, la causa del hundimiento de la ciudad con base en pruebas efectuadas sobre más de 10 000 especímenes de arcilla y en numerosas observaciones de campo, sino que abre cauces para nuevas investigaciones, como la fricción negativa, la estabilidad de excavaciones y taludes y la interacción suelo-estructura.

En este hermoso libro aparece, a las claras, la habilidad de Marsal para interpretar con base en la estadística, la reología o la teoría matemática de la difusión, las observaciones efectuadas con herramientas tan diversas como los rayos X, la espectrografía nuclear o los bancos de nivel. Su mente inquieta echaba mano de todos los recursos a su alcance con tal de entender algo más de la naturaleza física o humana de los hechos, pues su mundo no se limitó nunca a lo específicamente técnico. Recordemos, por ejemplo, que Marsal trató con ahínco de aprender el ruso antes de emprender un viaje a Moscú y el japonés antes de ir a Tokio, y releyó la historia antigua de Grecia antes de visitar Atenas.

Sus inquietudes intelectuales eran genuinas sin que lo afectaran los vaivenes de la moda, como lo demuestra su afán por esclarecer el comportamiento de los suelos granulares. Ya durante su estancia en Harvard y a raíz de sus conversaciones con Terzaghi, Marsal había manifestado su interés por este tema. Terzaghi había advertido desde 1920 que “el error fundamental fue introducido por Coulomb, quien conscientemente ignoró que la arena está constituida por granos individuales y la trató como si fuera una masa homogénea con ciertas propiedades mecánicas”; Marsal añadía que “La idea de Coulomb, según Terzaghi, fue útil como hipótesis de trabajo pero constituyó un obstáculo para futuros avances tan pronto como dicha suposición quedó relegada en el olvido”. Marsal dedicó por lo menos 20 años de su vida a levantar el “obstáculo” así creado por la hipótesis de Coulomb. A partir de 1960 retoma esta idea atento a la necesidad de racionalizar el diseño de presas altas de enrocamiento. No se arredra ante la magnitud del

problema. Convence a la Comisión Federal de Electricidad de la necesidad de implementar un laboratorio de enrocamientos en El Infiernillo que permita probar a gran escala estos materiales. Diseña los primeros equipos del mundo capaces de probar muestras de gran tamaño bajo presiones altas: triaxial, odómetro, deformación plana. Integra un grupo de jóvenes ingenieros para operar estos equipos y les infunde el entusiasmo tan necesario para llevar a cabo la ingente tarea.

Los resultados de este esfuerzo influyen de inmediato en la práctica profesional suministrando bases para racionalizar el diseño de las presas de enrocamiento primero, en México y casi de inmediato en otras partes del mundo. Se inicia además la investigación de los procesos de rotura de partículas, de la distribución probabilística de las fuerzas de contacto interparticulares y de la estructura discreta en los medios granulares. Abrió así un extenso campo de investigación cuyos frutos son notables. Además Marsal se dedicó a comprobar los resultados de tales investigaciones mediante la medición de campo del comportamiento mecánico de numerosas presas diseñadas de acuerdo con sus trabajos analíticos y de laboratorio. Tales mediciones instrumentales iniciadas en la presa El Infiernillo y proseguidas en Malpaso, La Villita, La Angostura, Chicoasén, Peñitas y el Caracol, evidenciaron además la existencia de fenómenos como el arqueo contra las laderas, la interacción entre zonas de las presas construidas con materiales diferentes, la plastificación de porciones importantes de la estructura, el agrietamiento por extensión del núcleo, la evolución significativa de las presiones de poro durante la construcción y el fracturamiento hidráulico.

Tales logros no se pueden obtener sin la participación de numerosos ingenieros, técnicos e investigadores. Pero Marsal era por excelencia un catalizador de grupos de trabajo. Dedicaba gran parte de su tiempo a conversar, a compartir sus vivencias e ideas y también a manifestar sus críticas siempre esclarecedoras. Siempre se mostraba dispuesto a ayudar. Cuántas veces le habré oído decir: ¡no puedo negarme a ayudar! Y esta norma la aplicaba no sólo participando en la solución de problemas técnicos. Debo decir, a riesgo de que Marsal, de estar con nosotros, me regañara, que aportó los fondos necesarios para la creación de una beca denominada “Investigación en

Mecánica de Suelos”, sin aceptar que los jóvenes beneficiarios supieran que se la debían.

Sin duda alguna, Raúl Marsal nos ha dejado innumerables enseñanzas. ¡Qué permanezcan en nosotros junto con los frutos de su inmenso talento y de su gran calidad humana!

Aquí concluye esta cita a Jesús Alberro. Para terminar, habría que añadir que la presencia del profesor Raúl Jaime Marsal entre los ingenieros investigadores es cotidiana, que se manifiesta en sus valores, sus enseñanzas y la huella de sus actos y decisiones. No hay acto de celebración de la ingeniería mexicana que no contenga el recuerdo implícito de la obra de Marsal, la permanencia de sus valores y su visión de lo magnífico de las grandes obras de la ingeniería mexicana cuando son realizadas con rigor profundo y tenaz dedicación.