

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA
XXVII CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

RAMÓN SALAS EDWARDS Y LA HIDRÁULICA MODERNA EN CHILE

CRISTIÁN ESCAURIAZA.¹
JORGE GIRONÁS.²

RESUMEN

Ramón Salas Edwards (1880–1954), maestro del insigne ingeniero Francisco Javier Domínguez, es considerado como el fundador de la hidráulica moderna en Chile. El presente artículo presenta una revisión histórica y técnica sobre su figura y legado. Se describe su formación como ingeniero civil en la Universidad de Chile, su perfeccionamiento en Europa y su papel como académico, investigador y promotor del desarrollo científico en el país. Se analiza brevemente sus aportes teóricos y prácticos a la ingeniería hidráulica, destacando la creación del primer laboratorio de hidráulica de Latinoamérica, y su obra “El escurrimiento variado del agua en los canales”, donde formuló rigurosamente el concepto de energía específica mínima para el escurrimiento crítico, paralelo a los trabajos de Bakhmeteff. Esta contribución permitió el diseño de marcos partidores, que transformaron el manejo y distribución de caudales en obras de riego. Además, se examina su participación en proyectos emblemáticos de principios del siglo XX junto a Gerrit van Mourik Broekman, que incluyen el sistema de alcantarillado de Santiago, los puertos de Valparaíso y San Antonio y el proyecto del embalse El Yeso. Finalmente, el artículo destaca su visión integral de la ingeniería, entendida como una disciplina científica, ética y socialmente comprometida, su influencia en la educación superior y su aporte pionero a la modernización de la ingeniería y las ciencias en Chile.

¹ Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Pontificia Universidad Católica de Chile – email: cescauri@uc.cl

² Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Pontificia Universidad Católica de Chile – email: jgironas@uc.cl

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de flujos en ríos y costas ha representado históricamente uno de los mayores desafíos para la ingeniería. Dentro de este contexto, la figura de Ramón Salas Edwards (1880-1954) emerge como uno de los ingenieros más notables de la historia chilena. Ramón Salas no solo desarrolló una carrera académica y profesional brillante, sino que fundó la disciplina de la hidráulica moderna en Chile, elevándola al nivel científico y técnico existente en Europa y Norteamérica a comienzos del siglo XX. Su inquietud científica trascendió la aplicación práctica de los principios teóricos, abarcando una visión integral de la ingeniería, la investigación y la enseñanza, y la importancia de la profesión en el desarrollo del país. Su trabajo marcó la pauta para la generación de ingenieros que impulsó el progreso nacional durante las primeras décadas del siglo pasado.

Ramón Salas Edwards nació en Santiago el 31 de julio de 1880. Realizó sus estudios de Ingeniería Civil en la Universidad de Chile, titulándose en mayo de 1904. Poco después de egresar, comenzó su labor docente en la Universidad Católica y paralelamente participó en proyectos de infraestructura vitales para el país. Entre 1904 y 1906, trabajó junto al ingeniero holandés Gerrit van M. Broekman en el diseño del sistema de agua potable y alcantarillado de Santiago. Esta colaboración se extendió a importantes obras hidráulicas y portuarias, incluyendo los puertos de Valparaíso y San Antonio (1907-1908) y el proyecto del embalse El Yeso (1910-1912).

Su carrera tomó un giro crucial tras realizar estudios en el extranjero. Viajó a perfeccionarse en La Sorbonne de París en 1909 y visitó Columbia University en 1913. Estas experiencias le permitieron traer a Chile el estado del arte de la ciencia y perfeccionar las instalaciones experimentales que él mismo había desarrollado para la cátedra de Hidráulica General en la Universidad Católica, la cual asumió a su regreso. Más tarde, entre 1921 y 1922, regresó a Europa para perfeccionarse en ciencias físico-matemáticas en el College de France.

Salas Edwards no se limitó a la docencia; se convirtió en un influyente líder académico e intelectual. Fue Decano de la Facultad de Ciencias de la Universidad Católica (1918-1921) y Director de la sección Físico-Matemática del Instituto de Ingenieros de Chile (1916-1928). Además, fue un activo delegado representante de las universidades chilenas en el Segundo Congreso Científico Panamericano en Washington (Salas Edwards, 1915) y en el Congreso de Padua (1922), presentando artículos fundacionales. Su interés científico lo llevó a incursionar en diversas áreas, publicando investigaciones no solo en hidráulica, sino también en matemática y física moderna. Fue maestro de ingenieros en la Universidad Católica y, a partir de 1924, en la Universidad de Chile. Su exitosa trayectoria fue reconocida con numerosas distinciones, incluyendo el Doctorado Honoris Causa de la Universidad de Padua (1922) y la Medalla de Oro del Instituto de Ingenieros de Chile (1941).

Entre sus obras escritas, destacan el texto “Introducción al análisis infinitesimal” y, centralmente, su tratado de hidráulica, “Esgurrimiento variado del agua en los canales”. Salas Edwards falleció en 1954, dejando un profundo impacto en la enseñanza y práctica de la ingeniería en Chile.

2. LA CONTRIBUCIÓN FUNDAMENTAL: HIDRÁULICA Y ENERGÍA ESPECÍFICA

La obra cumbre de Ramón Salas Edwards, "El escurrimiento variado del agua en los canales" (1923 y reeditado el 2012), publicada inicialmente como "Hidráulica general", sintetiza los conceptos fundamentales que gobiernan el flujo en ríos y canales abiertos. Este libro se convirtió en el pilar de la disciplina en el país. Su contribución más significativa fue proponer por primera vez una metodología rigurosa para calcular la variación de la profundidad del flujo a lo largo de un cauce, conocida técnicamente como el eje hidráulico. Este cálculo se basaba en la aplicación de los principios de balance de masa, energía y cantidad de movimiento, e integraba la ecuación de la energía específica.

Lo más notable es que Salas Edwards desarrolló independientemente y de forma simultánea al investigador ruso Boris Bakhmeteff el concepto de energía específica mínima para el escurrimiento crítico. Este concepto fue el núcleo de su artículo fundacional presentado en 1915 y permitió la descripción completa del flujo permanente en canales. La importancia de este avance no fue meramente teórica. A partir de los nuevos conceptos asociados al escurrimiento crítico y la energía mínima, Salas Edwards diseñó marcos partidores que, desde 1917, hicieron posible dividir caudales con precisión por primera vez.

Con la publicación de este libro, Salas Edwards puso a Chile a la vanguardia internacional en el estudio de la hidráulica, marcando el fin de su trabajo más intenso en el área e iniciando una nueva etapa intelectual enfocada en matemáticas, física y la filosofía de la ingeniería y la ciencia, un legado que aún resuena en la ingeniería moderna. La participación de Ramón Salas Edwards en la ingeniería hidráulica del Chile del Centenario resultó en una transformación disciplinaria y una innovación técnica que alteró el diseño de obras hidráulicas para riego y energía. Su trabajo sentó las bases teóricas del flujo en canales abiertos de una manera que podía ser verificada experimentalmente.

La base teórica del trabajo de Salas Edwards se encuentra en la escuela francesa de la segunda mitad del siglo XIX, con figuras como Bélanger, Saint-Venant y, crucialmente, Joseph Boussinesq. En 1909, Salas Edwards viajó a Francia, estudiando en La Sorbonne y siendo alumno de Boussinesq, quien ya había avanzado en la descripción matemática de flujos y el problema de la turbulencia. Salas Edwards recordaría la figura de Boussinesq no solo por su rigor científico, sino también por sus inquietudes filosóficas sobre el determinismo y la libertad.

En Chile, su desarrollo profesional inicial estuvo estrechamente ligado a Gerrit van Mourik Broekman, su mentor. Junto al ingeniero holandés, como explicamos en la sección siguiente, Salas Edwards participó en el diseño de obras fundamentales como el sistema de agua potable de Santiago, los puertos de Valparaíso y San Antonio, y el embalse El Yeso. Van Broekman, reconociendo las habilidades matemáticas del joven ingeniero, le brindó la experiencia práctica necesaria para aplicar la teoría a proyectos de gran envergadura.

De regreso en Chile, Salas Edwards inició la etapa más significativa de su labor académica, fundando en 1911 el primer laboratorio de Hidráulica en Latinoamérica en la Universidad

Católica. Este laboratorio se convirtió en el punto de encuentro entre la teoría matemática y la observación experimental. Su trabajo se enfocó en consolidar el estudio de la hidráulica como una ciencia aplicada, proveyendo soluciones para problemas de ingeniería fundamentales para la agricultura y el desarrollo del país.

El impacto práctico de su teoría fue inmediato. Salas Edwards observó que las propiedades del escurrimiento crítico permitían dividir el caudal de forma proporcional, sin importar su magnitud. Basado en este principio, ideó los marcos partidores. En 1916, diseñó un marco partididor que producía condiciones de escurrimiento crítico mediante un angostamiento local. Su alumno, Francisco Javier Domínguez Solar, demostró experimentalmente la eficacia de este diseño en su tesis de 1917, instalando el primer marco partididor en el Canal Calera de Tango. Esta innovación redujo el error en la división de caudales, que antes era de al menos un 20%, a una precisión casi perfecta, transformando la tecnología de riego en el siglo XX. Tras 1919, el profesor Salas entregó la cátedra de Hidráulica a su discípulo, Francisco Javier Domínguez, quien continuó su labor por más de 60 años. Domínguez validó las ideas de Salas Edwards a través de una extensa investigación experimental, lo que consolidó a Chile como líder en la disciplina. Domínguez, a quien Salas llamaba “El Maestro” por su talento y calidad humana, honró su legado al convertirse él mismo en un referente, publicando el influyente “Curso de Hidráulica” (1937), una de las obras más importantes de la disciplina a nivel internacional.

3. PRIMEROS TRABAJOS DE RAMÓN SALAS EDWARDS COMO INGENIERO HIDRÁULICO

Ramón Salas Edwards fue un ingeniero de su tiempo, de un periodo en que Chile tenía necesidades importantes de infraestructura para buscar mayores niveles de desarrollo en las primeras décadas del siglo XX. La temática de los recursos hídricos y su aplicación en la Ingeniería Civil era uno de los aspectos claves de este desarrollo, de modo que puertos, obras de riego, hidroelectricidad e infraestructura sanitaria tuvieron un destacado papel. Es precisamente la concepción, diseño y construcción de estas obras a las que Ramón Salas Edwards dedicó sus primeros años como profesional. Este periodo le permitió por una parte identificar aspectos técnicos que forjaron sus futuros años como académico del curso de hidráulica, y por otra complementar su formación técnica con la experiencia que significó el desarrollo de proyectos emblemáticos juntos con otros ingenieros y profesionales de primer nivel. Durante estos años Salas Edwards trabajó en estrecha colaboración junto al ingeniero holandés Gerrit Hendrik van Mourik Broekman (1875-1948), conocido en Chile como Gerardo van Broekman (Figura 1), quien fuera su profesor de ingeniería en la Universidad de Chile, y primer mentor en temas de hidráulica fluvial y costera. Invitado por el gobierno chileno para trabajar en el diseño de obras de ingeniería y enseñar en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile desde el año 1900, van Broekman desarrolló una brillante carrera académica y profesional destacada por el diseño y estudio de importantes obras que se analizan a continuación. En muchos de estos proyectos dirigió a Ramón Salas y lo nombró como primer ingeniero, aprovechando las habilidades matemáticas del joven ingeniero chileno. Posteriormente el holandés regresaría a trabajar a Europa en 1914, y en 1924 se convertiría en profesor de Ingeniería Civil en Delft University of Technology, y Director del Laboratorio de Hidráulica de la misma Universidad en 1933.



Figura 1: Gerrit Hendrik van Mourik Broekman. Ingeniero y profesor holandés, mentor de Ramón Salas.

Sistema de Alcantarillado del Centro de Santiago

A las puertas del primer centenario del país, la situación sanitaria en Santiago era bastante crítica. La población se hacinaba en viviendas pequeñas y los servicios de agua potable y alcantarillado no habían crecido al ritmo de la población (Rosas, 1999). Por otra parte, la red de acequias no daba abasto y transportaba aguas altamente contaminadas que eran usadas para el riego y hasta para beber, y el control de las aguas lluvias que éstas proporcionaban en el centro de la ciudad traía inundaciones en los suburbios (Romero, 1996). Una vez definida la urgencia de abordar el tema, y después de una serie de propuestas presentadas por diversos ingenieros, el 12 de Diciembre de 1903 se dicta el decreto que permite al Gobierno licitar la ejecución de los trabajos de saneamiento de la capital, definiéndose las correspondientes bases técnicas y económicas generales (Bertrand, 1908). Las tres propuestas que se presentaron a la licitación fueron revisadas inicialmente por una subcomisión técnica y reevaluadas por el director de Obras Públicas Carlos Koenig y el Ingeniero Gerrit van M. Broekman. Esta revisión aceptó condicionalmente la propuesta B de la empresa francesa Batignolles-Fould, elaborada por Paul Wéry y Mauricio d'Orival, como la ganadora de la licitación. El 27 de diciembre de 1904 se firmó el decreto de aceptación de dicha propuesta, y se estableció la necesidad de introducir modificaciones importantes y ejecutar obras suplementarias. El 9 de enero de 1905 se designó un Inspector Fiscal quien organizó una Sección Técnica (Figura 2) para la revisión del proyecto aceptado y el establecimiento de los perfiles y secciones definitivas de la red de cañerías de desagüe. Esta sección, liderada por el ingeniero jefe van M. Broekman definió la tarea de la sección como la verificación de la “racional distribución de la capacidad de canalización y de reserva de las canalizaciones”. Durante 1903 y 1904, en lo que fue su primera labor profesional como ingeniero, Salas Edwards había elaborado estudios y ábacos para caracterizar el régimen de precipitaciones de Santiago y el escurrimiento de agua en alcantarillados. A estas labores luego se agregó el trazado en planta para toda la ciudad de las canalizaciones, la verificación del correcto lavado de éstas, así como el análisis y cálculo detallado de parte de los colectores y cañerías

considerados en el proyecto original. En las notas del proyecto, van M. Broekman hace especial mención de la “fatigosa tarea que ha absorbido la mayor parte del personal y el más largo tiempo” que significó elaborar los perfiles longitudinales de todas las canalizaciones, lo que incluía los colectores, la red de lavado y 290 km de cañerías (van Mourik Broekman, 1906).

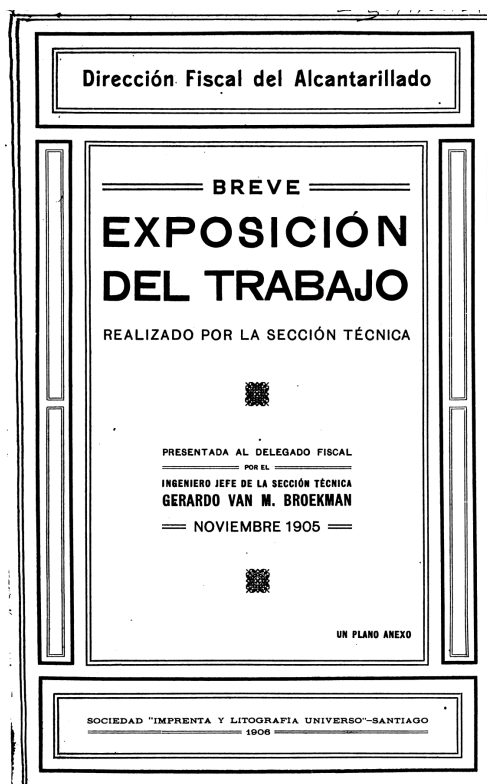


Figura 2: Portada del estudio para el alcantarillado de Santiago liderado por Gerardo van M. Broekman.

El estudio hidrológico realizado por la Sección es probablemente uno de los primeros efectuados en el país. La información pluviométrica de la época era realmente escasa, de corta data y de resolución temporal muy gruesa. Sin embargo, fue posible obtener la intensidad máxima en un periodo de 30 minutos para cada uno de los 250 eventos de precipitación registrados entre 1894 y 1904 por el pluviógrafo de los Reverendos Padres de los Sagrados Corazones. Adicionalmente, el observatorio astronómico nacional del cerro Santa Lucía contaba con un pluviógrafo de velocidad, instrumento similar a los actuales pluviógrafos de flotador, el cual había registrado 10 años de precipitaciones.

El análisis de las precipitaciones, junto con las condiciones financieras, llevó a seleccionar una intensidad máxima para el diseño es 70 litros por segundo y por hectárea (25,2 mm/h), que según los datos registrados implicaba una máxima intensidad media en 30 minutos de 12 mm/h. Se estimó que esta intensidad sólo sería sobrepasada por 9 o 10 lluvias en un periodo de 10 años. Interesante resulta evaluar los resultados a la luz de los registros de precipitación recopilados a la fecha. Según el Manual de Carreteras (MOP, 2004), una intensidad de 12 mm/h en 30 minutos tiene un periodo de retorno aproximado de 3 años. Por otra parte, Montt et al. (2003) concluyeron a partir del registro de la estación Quinta Normal, periodo 1917-1960, que esta intensidad se sobrepasa entre 4 y 5 veces en un periodo de 10 años.

El proyecto consideró el cálculo de los caudales a ser transportado en el sistema, tarea compleja pero abordable a partir de ciertas estrategias de modelación y simplificaciones propias de la ingeniería. Para este cálculo van M. Broekman y Salas Edwards utilizaron el método racional propuesto pocos años antes por Kuichling (1889) a partir del concepto de concentración de escorrentía, desarrollado por Mulvany en 1851. Para la aplicación del método se debía determinar dos coeficientes de reducción variable, dependientes del tipo de edificación y de las condiciones locales del terreno, los que permitirían estimar los caudales a ser transportados por los distintos elementos de la red. El primero de estos coeficientes llamado coeficiente de infiltración y evaporación corresponde a lo que se conoce actualmente como coeficiente de escorrentía. El segundo coeficiente se hace cargo de los tiempos de concentración considerando distintos puntos dentro de la cuenca y su red de drenaje. El segundo parámetro se llamaba coeficiente de retardo, el que permite reducir la intensidad de diseño para cuencas con respuesta más lentas. En la actualidad este coeficiente no se utiliza explícitamente, sino que la intensidad de diseño se elige directamente según el tiempo de respuesta de la cuenca.

En el proyecto también se calculó aspectos del flujo en el alcantarillado. Destaca en particular la construcción de ábacos para relacionar las magnitudes involucradas en garantizar el lavado de las tuberías (diámetro de la conducción, pendiente, altura de agua y gasto de lavado), el cual se definió como factible cuando la velocidad de flujo alcanzaba los 0,75 m/s.

Puerto de Valparaíso

Hacia comienzos del siglo XX, Valparaíso, el principal puerto de Chile, cerraba una etapa particular de vertiginoso crecimiento urbano y consolidación de la dotación de servicios públicos (Páez, 2008). Este frenético desarrollo desgraciadamente fue acompañado por el deterioro ambiental y graves falencias en la planificación y regulación territorial, lo que afectó particularmente a las zonas urbanas no consolidadas y habitadas por la población más vulnerable. Antes del terremoto de 1906, las demandas más importantes eran una infraestructura adecuada y la transformación de las áreas más defectuosas de la ciudad (Páez, 2008).

Para enfrentar esta situación se nombró una Comisión General de Vecinos la cual, mediante una serie de subcomisiones, debía identificar los principales problemas y las actividades de reconstrucción. El terremoto se entendió como una oportunidad para corregir los defectos de la planta urbana y la infraestructura, y esa visión se aplicó para el caso del puerto de la ciudad. Fue así como se creó una subcomisión a partir de la comisión que estudiaba con anterioridad al terremoto el mejoramiento del puerto. La destrucción parcial de la ciudad había generado un escenario completamente diferente, por lo que el proyecto original de Kraus pasó a ser analizado y cuestionado en gran detalle por diferentes ingenieros. En particular, adquirió mucha fuerza la idea de realizar una gran obra portuaria en los terrenos que se expropiarían en la zona del Almendral, totalmente devastada, de modo de sustituir el proyecto de Kraus por una dársena abrigada en el interior de la ciudad. De esta manera se proponía remover terrenos en la zona plana de Valparaíso para instalar ahí las obras portuarias. Frente al fuerte rechazo de la subcomisión por esta idea, a fines de agosto el Gobierno nombró a una comisión de ingenieros hidráulicos que informaría la factibilidad de construir un puerto interior. La

comisión la formó entre otros el Director de Obras Públicas, Carlos Köning, Gerrit van M. Broekman, y Ramón Salas Edwards.

Finalmente, la idea de entregar suelo al mar para construir la dársena resultó demasiado polémica, e incluso polarizó las opiniones al interior de la misma comisión evaluadora. Ésta concluyó que técnicamente era practicable el puerto en el Almendral, pero que le correspondía al Gobierno resolver la parte económica y la conveniencia de privar a la ciudad de una porción considerable de su parte plana. Esto llevó a descartar esta alternativa y extender el Muelle Fiscal dotando de más malecones el sector de la Aduana.

Si bien las alternativas técnicas concebidas por van M. Broekman y Salas Edwards fueron rechazadas, es destacable el espíritu innovador de sus propuestas: “El debate en torno a la construcción de una dársena interior permite entender el ánimo innovador que estimuló en muchos técnicos porteños, la posibilidad que ofrecía la destrucción de la ciudad... Excavar el Almendral significaba favorecer la actividad portuaria por sobre los intereses inmobiliarios, por el contrario, quienes rechazaban la propuesta de la dársena, esgrimían el valor de los terrenos que la ciudad perdería. Como si se tratara de un lienzo en blanco, los ingenieros especularon hasta donde podía modificarse el poblamiento de la ciudad” (Páez, 2008).

Puerto de San Antonio

La historia del puerto de San Antonio se remonta a 1790, año en que el futuro virrey don Ambrosio O’Higgins reconoce oficialmente a San Antonio como puerto internador y exportador (van M. Broekman, 1908). Durante el siglo XIX fue un puerto de exportación menor que incluso sirvió como puerto alternativo mientras Chile se encontraba en guerra con España, y Valparaíso se hallaba bloqueado. Esto incrementó considerablemente la actividad comercial del puerto, lo que motiva la constitución de la “Sociedad de las Bodegas”, constructora de muelles y bodegas y exportadora de cereales y frutas (Guzmán, 2003). Al creciente movimiento comercial y las excelentes condiciones naturales, se sumaba la existencia del ferrocarril que unía la ciudad con la capital, el cual debía ser completado en sus últimos 25 km.

En 1907 los ingenieros van M. Broekman y Salas Edwards se adjudicaron el proyecto del puerto de San Antonio, el que les tomó poco más de un año en terminar. Interesante es constatar la confianza y el grado de satisfacción que van M. Broekman tenía para con su primer ingeniero, Salas Edwards (van M. Broekman, 1908): “Informe primeramente a V.S. (Ministro de Industria y Obras Públicas) acerca de la colaboración prestada por el distinguido ingeniero, el señor Ramón Salas Edwards, tengo el gusto de dejar especial constancia de que ha cooperado eficazmente en el proyecto, sobre todo en las cuestiones generales y en los estudios económicos, comerciales y técnicos”

En una primera etapa del proyecto, el equipo técnico debió estimar información relativa al movimiento marítimo y comercial, de modo de predecir el capital invertido por tonelada movilizada y la rentabilidad de las futuras obras. Esto significó definir la zona servida por el puerto, las cargas a movilizar, el comercio marítimo esperado y las características físicas de los buques que utilizarían el puerto. Por otra parte, los estudios técnicos del proyecto incluyeron la observación del nivel de marea y la determinación de su nivel medio (Figura 3), el sondaje de profundidades, la confección de mapas topográficos y batimétricos, el

sondaje geológico, la caracterización de la velocidad del viento, y el estudio del régimen general de marea, corrientes y olas. En una segunda parte, el equipo de van M. Broekman y Salas Edwards definió el trazado del puerto, especificando sus elementos esenciales y el nivel de prioridad en la construcción. Se especificó un molo exterior, un malecón principal junto con otros enrocados menores de defensa, y los muelles principales, el muelle y el malecón secundario.

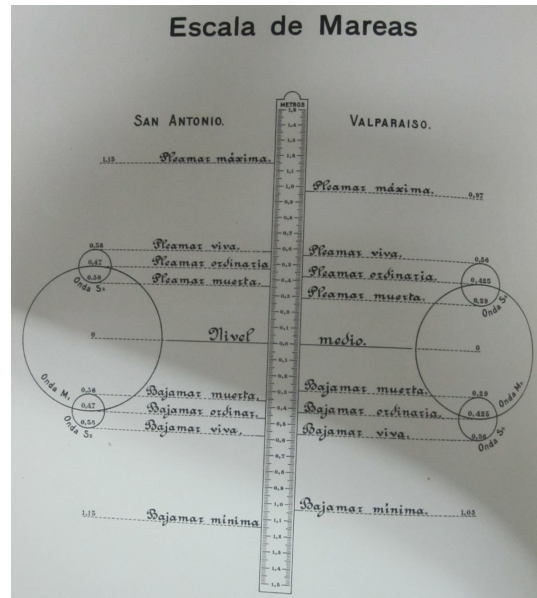


Figura 3: Escala de Mareas para San Antonio y Valparaíso según el estudio de van M. Broekman.

A fines de 1909 se entregaron las obras ferroviarias que permitieron finalmente terminar el ferrocarril Santiago-San Antonio. Este logro permitió despachar el 7 de Septiembre de 1910 la Ley N° 2.390, la que autoriza el contrato de las obras de mejoramiento del Puerto de San Antonio, a partir del proyecto elaborado por van M. Broekman y Salas Edwards. Mediante Decreto Supremo N° 2.256 del 29 de julio de 1911 se contrató a la firma francesa Galtier para la construcción, colocándose el 5 de mayo de 1912 la primera piedra del puerto con la asistencia del Presidente de la República, don Ramón Barros Luco.

Embalse el Yeso

El último de los trabajos relevantes de la insigne dupla de Ingenieros fue la elaboración del proyecto del Embalse el Yeso, el cual busca dar solución a la falta de agua para la irrigación del Valle del Maipo. Este trabajo fue encomendado por el Ministro de Industria y Obras Públicas con fecha 20 de diciembre de 1909. Nuevamente en las primeras líneas del texto del proyecto (van M. Broekman, 1912), el ingeniero van M. Broekman hace notar y agradece explícitamente las labores de Salas Edwards: “Tengo el honor de entregar a V.S. (Ministro de Industria y Obras Públicas) el proyecto del Lago del Yeso, cuyos preliminares me fueron encomendados el 20 de diciembre de 1909, en cuya formación ha colaborado el Ingeniero don Ramón Salas Edwards.”

Junto con Salas Edwards participaron del proyecto otros destacados ingenieros y técnicos que iniciaban sus primeros años de profesión, y que posteriormente desempeñarían una

trayectoria connotada en el quehacer nacional: (1) Pedro Lira Orrego, ingeniero de estudios hidrológicos del proyecto, se desempeñó como profesor de las cátedras de Geometría, Mecánica Racional y de Generalidades de Minas, y Director en 1941 de la Escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile; (2) el ingeniero de terreno Federico Greve Schlegel, posteriormente Director del Servicio Sismológico entre los años 1941 y 1958, miembro académico de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la misma casa de estudios en 1960 (Aceituno, 2010), y Presidente del Comité de Sismología de la Comisión de Cartografía del Instituto Panamericano de Geografía e Historia (Patronato de Ciencias, 1956); (3) Pedro Blanquier, futuro Director de la Empresa de Ferrocarriles del Estado, Miembro Académico de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la U. de Chile (Aceituno, 2010) y Ministro de Hacienda en 1931 durante el Gobierno de Carlos Ibáñez del Campo; (4) el Geólogo Alemán Ernest Maier, pionero en la búsqueda de petróleo en la Región de Magallanes (Machado et al., 1913); (5) el ingeniero de proyecto Luis Lagarrigue, quien participaría en los estudios para asegurar el abastecimiento de agua de la ciudad de Santiago, dirigiendo el diseño y la construcción de los proyectos El Manzanito, Laguna de Encañado y Laguna Negra entre los años 1913 y 1917 (Piwonka, 1999), para luego concebir lo que sería la Central Hidroeléctrica de pasada La Florida, abastecida por aguas del canal San Carlos provenientes del río Maipo (Sociedad del canal de Maipo, 1989).

Ya a fines del siglo XIX surgen las primeras voces de advertencia frente a la carencia de aguas para el regadío y desarrollo de la agricultura, particularmente en los meses de primavera y otoño. Adicionalmente, se había detectado que veranos muy secos implicaban altas demandas para el riego de cultivos y carencia de agua destinada a servicios higiénicos en la ciudad. Los intendentes de Santiago de la época Don Francisco Echaurren y Don Benjamín Vicuña Mackenna (1878) le dan alta prioridad al tema de la escasez hídrica. Para enfrentar este problema algunas voces proponen el valle del Río Yeso como un lugar idóneo para construir un embalse. Es así como Don Fernando Llona en 1870 propone por primera vez una obra en el río con este propósito, mientras que el Ingeniero Jefe de la Oficina de Límites, Don Luis Risopatrón, identifica el valle del Yeso como el más idóneo para una obra de embalse (Risopatrón, 1903).

El proyecto de van M. Broekman y Salas Edwards buscaba acumular las aguas del río Yeso durante el invierno y de verano, y reservarla para los meses de otoño y primavera. En términos porcentuales, el embalse permitiría aumentar los caudales en hasta un 30% durante la primavera a costa de disminuciones del orden de 10% en verano y 15% en invierno. Las obras consideraban la formación de un lago artificial con capacidad de 130 millones de m³ en el valle del Yeso mediante la construcción de un tranque de 40 m de alto. Se consideró como toma una torre con múltiples bocas de admisión, que se comunicaba con un túnel que atravesaría la morrena, que se aprovecharía para desviar el río durante la construcción, y serviría como rebase de crecidas una vez en operación. La ejecución del tranque consideraba la utilización de enérgicos chorros de agua con objeto de demoler el terreno, transportar el material hacia la zona de obras, y depositarlo gradualmente por decantación dentro de lagunas formadas sobre el tranque en construcción. Posterior al decantamiento habría un colmataje y se ejercería presión sobre el material. Esta técnica era desconocida por la ingeniería local, pero había sido previamente utilizada en grandes obras en Norteamérica. Finalmente, se proyectó una toma definitiva de la Laguna destinada a la provisión de agua potable de Santiago.

El proyecto contenía el estudio técnico topográfico, geológico, hidrológico y de calidad del agua, junto con los planos destinados al estudio, la construcción e inspección de las obras, así como planos hidrológicos y topográficos de la hoya del Maipo. El esfuerzo que significó estos estudios para la época es encomiable, dada las dificultades climáticas y geográficas propias de la zona del proyecto. También se consideró una descripción y justificación de las obras en conjunto y separadamente, y el respectivo presupuesto. El completo estudio de van M. Broekman y Salas Edwards constituyó la primera iniciativa gubernativa seria para desarrollar un embalse en el valle del Yeso, la que sin embargo no fructificó. Con el paso del tiempo, el crecimiento de Santiago y poblaciones vecinas generó una creciente demanda de agua potable, por lo que la necesidad por nuevas fuentes de agua potable se hizo cada vez mayor.

4. OTRAS CONTRIBUCIONES CIENTÍFICAS Y VISIÓN DE LA INGENIERÍA Y EDUCACIÓN

Tras culminar su trabajo en hidráulica con la publicación de su libro en 1923, Ramón Salas Edwards inició una nueva etapa enfocada en la investigación fundamental en matemáticas y física moderna, manteniendo siempre un espíritu de independencia intelectual. Salas Edwards fue el primer científico chileno en explicar y difundir la Teoría de la Relatividad en círculos académicos. Publicó artículos clave sobre las transformaciones de Lorentz y, en 1929, dedujo la fórmula fundamental para la variación de la masa a partir de análisis de choques plásticos, un hito en la comprensión de la Relatividad Especial. Su curiosidad intelectual lo llevó a entrelazar la ciencia con la filosofía y la fe. Al estudiar la mecánica, reflexionó sobre la relación entre el determinismo matemático y el libre albedrío humano. Para Salas Edwards, el rol del ingeniero iba mucho más allá del diseño técnico de obras. En su influyente artículo “La misión integral del ingeniero” (1929), propuso que a partir de la formación rigurosa y el criterio ordenado de los ingenieros, les correspondía la responsabilidad de asumir el liderazgo en el desarrollo industrial y comercial del país, así como participar activamente en la labor pública.

Para cumplir con esta misión integral, Salas Edwards enfatizó la necesidad de una formación amplia que, además de las matemáticas y la física, incluyera idiomas, historia, filosofía y sociología. También destacó el valor de la experimentación como un medio para cultivar la destreza, la responsabilidad, la sinceridad y la eficiencia, valores que consideraba esenciales para la ingeniería moderna.

La educación en ingeniería fue un pilar central en la visión de Salas Edwards para el progreso nacional. En la Universidad Católica, implementó metodologías pedagógicas innovadoras, como las “Logias”, donde pequeños grupos de estudiantes resolvían problemas de diseño con el profesor actuando solo como guía, fomentando así la formación del criterio y la toma de decisiones independiente.

Desde la Universidad de Chile, Salas Edwards se convirtió en un motor de las reformas universitarias. Sus propuestas, formuladas en las décadas de 1920 y 1930, fueron revolucionarias para la época y demostraron una visión de largo plazo: Creación de

Doctorados en Ciencias para formar una masa crítica de profesores e investigadores. Establecimiento de Institutos de Investigación con dotación adecuada de laboratorios e infraestructura. Formación de una Academia de Ciencias para coordinar y potenciar el cultivo de las ciencias puras a nivel nacional. Si bien estas ideas resultaron controversiales inicialmente, fueron completamente validadas décadas después. Los primeros programas de doctorado y la Academia Chilena de Ciencias se crearon en la década de 1960, consolidando los pilares que Salas Edwards había identificado como necesarios para la modernización de la educación superior y el desarrollo científico del país.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la colección “Biblioteca Fundamentos de la Construcción de Chile” de la Cámara Chilena de la Construcción, la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC) y la Biblioteca Nacional, así como a nuestros colegas del Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental de la PUC.

REFERENCIAS

- Aceituno, P. (2010). Miembros Académicos de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile..
- Bertrand, A. (1908). Saneamiento de Santiago de Chile. Memoria presentada al Ministerio del Interior sobre los antecedentes de la licitación y contratación del alcantarillado actualmente en construcción.
- Guzmán, C. (2003). Historia del Puerto de San Antonio. Ediciones Municipalidad de San Antonio.
- Hurtado, C. (1966). Concentración de población y desarrollo económico: el caso chileno. Universidad de Chile, Instituto de Economía, Santiago.
- Kuichling, E. (1889). “The relation between the rainfall and the discharge of sewers in populous districts”. Transactions, American Society of Civil Engineers 20, 1-56.
- Machado, M., Maier, E., Felsech, J., Schmidt, A. (1913). Prospecto con los estudios e informes oficiales presentados al supremo gobierno sobre los yacimientos de petróleo de Magallanes, en las partes correspondientes a Isla Dawson y Río San Juan. Editado por la Sociedad petrolífera del Estrecho de Magallanes. Pta Arenas. 24 páginas + mapa.
- Montt, J.P., Rivera, P., Fernández, B. (2003). “Dos errores extendidos en la estimación de probabilidades de eventos de lluvia a partir del período de retorno nominal”. XVI Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica, SOCHID, Santiago.
- Ministerio de Obras Públicas (2004) Manual de carreteras, Volumen 3, instrucciones y criterios de diseño, Parte II. Gobierno de Chile, Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Vialidad.
- Páez, P. (2008). La oportunidad de la destrucción en la urbanística moderna. Planes y proyectos para la reconstrucción de Valparaíso tras el terremoto de 1906. Tesis presentada para obtener el grado de Magíster en Desarrollo Urbano, Línea Estudios de la Ciudad y el Territorio. Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Piwonka, G. (1999). Las aguas de Santiago de Chile, 1541-1999, Volume 1. Editorial Universitaria.
- Romero, L. A. (1996). ¿Qué hacer con los pobres?. Elite y sectores populares en Santiago de Chile 1840-1895. Editorial sudamericana. Colección Historia y Cultura.
- Rosas, J. (1999). “Cambiando nuestro punto de vista” Arq, 43 (11), 38-43.
- Salas Edwards, R. (1915). “Discusión sintética del trazado del eje hidráulico.” Proceedings Second Pan American Scientific Congress. vol. VI sect. 5, Washington D.C. 784–790.
- Salas Edwards, R. (1929). “La misión integral del ingeniero.” Anales del Instituto de Ingenieros de Chile. 7, 321–327.

- Sociedad del canal de Maipo (1989). Canal San Carlos, Orígenes e influencia en el desarrollo de la ciudad de Santiago (1829 – 1989). Santiago.
- van M. Broekman, G. (1906). Breve exposición del trabajo realizado por la sección técnica. Dirección Fiscal del Alcantarillado. Sociedad imprenta y litografía Universo, Santiago.
- van M. Broekman, G. (1906). Breve exposición del trabajo realizado por la sección técnica. Dirección Fiscal del Alcantarillado. Sociedad imprenta y litografía Universo, Santiago.
- Vicuña Mackenna, B. (1878) Un año en la Intendencia de Santiago, lo que es la capital i lo que debería ser, Memoria leída a la Municipalidad de Santiago en su sesión de instalación del 5 de mayo de 1873. Imprenta de la librería del Mercurio de Tornero i Gráficas.