

LA INGENIERÍA GEOTÉCNICA EN ARGENTINA EN EL PERÍODO ANTERIOR A 1925¹

Roberto Terzariol²

Resumen: Este artículo consta de dos partes y en su conjunto describe en forma sucinta las actuaciones ingenieriles relacionadas con la Geotecnia en Argentina, durante el período comprendido entre los años 1875 y 1925. Dentro de ese período, dividiéndolo por décadas, se analizan una serie de publicaciones, obras y actuaciones profesionales, que pueden considerarse hitos en la temática y muestran el interés de los ingenieros locales por la problemática geotécnica vinculada a la práctica ingenieril. Este período está signado hacia 1876, por la publicación del primer artículo (publicado en la Academia Nacional de Ciencias) referido a ingeniería geotécnica, escrito por un ingeniero civil (Juan Pirovano) egresado de una universidad argentina. La publicación del Pirovano marca la introducción, por parte de un profesional local y con referencia a los suelos locales, de las metodologías geotécnicas habituales en la época, es decir una geotecnia empírica o "proto-geotecnia". Esta primera parte del artículo cubre aportes hasta 1905.

Palabras claves: historia de la ingeniería, geotecnia en Argentina, mecánica de suelos.

GEOTECHNICAL ENGINEERING IN ARGENTINA BEFORE 1925

Abstract: This paper has two parts and describes in succinct form, geotechnical engineering aspects developed in Argentina within the historical period from 1876 to 1925. The period is here divided by decades, in which publications, works, and professional performances are reviewed; those can be considered as milestones in the subject matter and show the interest of local engineers concerning geotechnical problems of relevance to engineering practice. This period begins about 1876, with the first paper related to geotechnical engineering, written by a civil engineer (Juan Pirovano) graduated from an Argentine university. The year 1876 marks the introduction, by a local engineer and with reference to the local soils, of geotechnical technologies used in those years, an empirical perspective that may be called "proto-geotechnic". The first part of this paper reports contributions made until 1905.

Keywords: engineering history, geotechnics in Argentina, soil mechanics.

GEOTECNIA EN ARGENTINA ANTES DE 1876

Desde los albores de la humanidad el hombre ha construido edificios, puentes, caminos, túneles y presas, y la región de América prehispánica que ocupa la Argentina actual no fue la excepción. A la llegada de los conquistadores europeos, las culturas asentadas en el territorio que actualmente es Argentina, no habían desarrollado avances significativos en cuanto a construcciones, pudiendo citarse las fortificaciones (denominadas Pucarás) existentes en el Valle del Río Grande, Jujuy (Figura 1), o las ruinas del Pueblo Quilmes. Estas edificaciones se apoyaban sobre rocas o suelos granulares muy densos, con lo cual los problemas geotécnicos estaban referidos a estabilidad de taludes.

Hacia fines del siglo XVI, los colonizadores trajeron las técnicas españolas de construcción, generalmente aplicadas por maestros constructores que en no pocas ocasiones cometieron gruesos errores. En algunos casos se produjeron colapsos de estructuras importantes, como la Iglesia Catedral de la Ciudad de Córdoba, que tuvo que ser reconstruida en dos ocasiones (Figura 2).

¹ Artículo recibido el 10 de diciembre de 2007 y aceptado el 1 de noviembre de 2008.

² Prof. Titular Plenario, FCEFyN, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. E-mail: terzariol@gmail.com



Figura 1: Pucará de Tilcara, Jujuy (fotografía del autor).

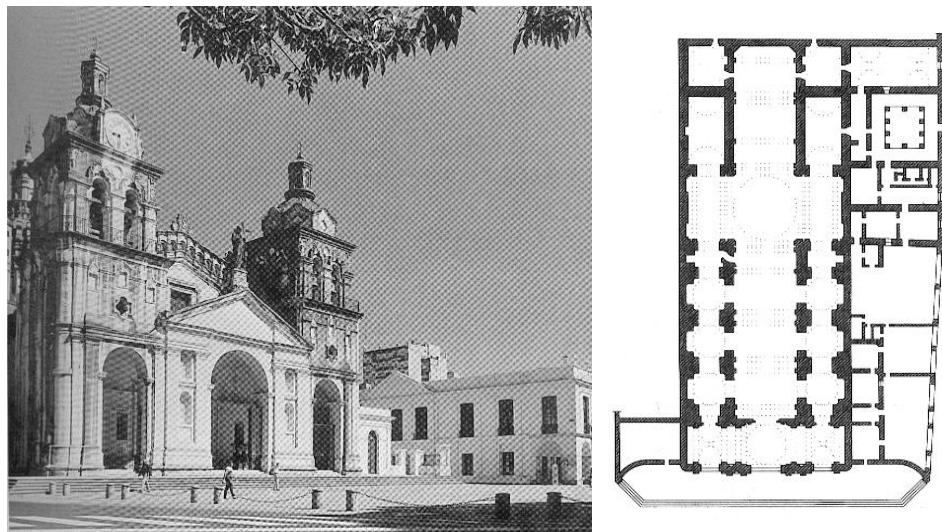


Figura 2: Catedral de Córdoba. Vista de la fachada y planta de estructura (Kronfus 1920).

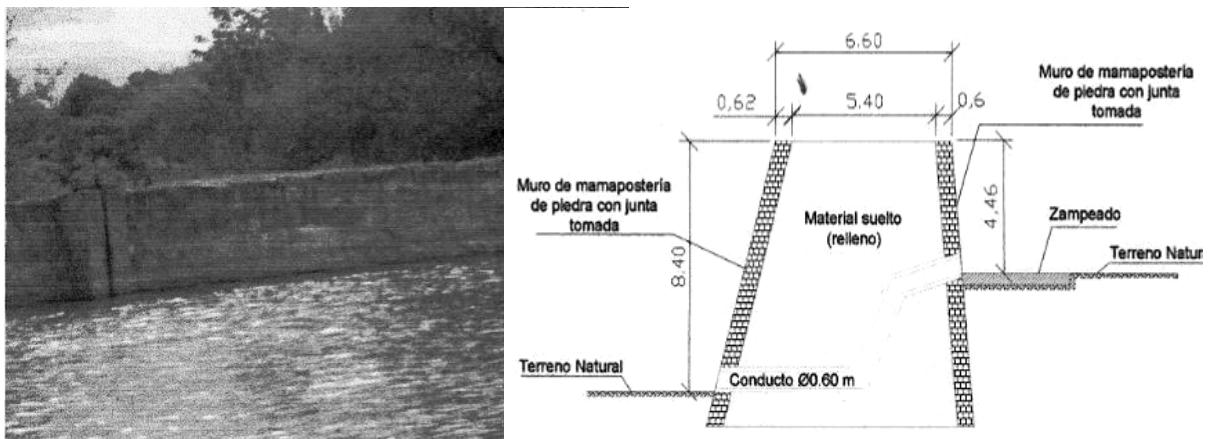


Figura 3: Santa Catalina. Vista del muro de aguas arriba y sección de la presa (Reyna et al, 2005).

Las construcciones más importantes en los primeros tiempos fueron llevadas a cabo por maestros albañiles de la orden de los jesuitas, quienes debieron edificar las iglesias dentro de las estancias, reducciones y misiones, además de pequeños diques (conocidos como “tajamares”) para represar aguas pluviales y distribuirlas para saneamiento y riego

(Reyna et al., 2004). En la Figura 3 se aprecia una vista del muro aguas arriba y una sección transversal de la presa de la Estancia de Santa Catalina, la que tiene más de 8.40 metros de altura, 85.60 metros de largo y 6.60 metros de ancho.

Con excepción de los edificios para los cabildos, construidos sólo en algunas ciudades importantes, los primeros edificios de envergadura destinados a fines no religiosos comenzaron a edificarse en Argentina después de la independencia (ocurrida en 1810), cuando se construyeron palacios residenciales, edificios públicos, teatros y puertos. Estos edificios fueron ejecutados por ingenieros y arquitectos europeos que traían los diseños, la tecnología y los materiales desde sus países de origen. Estos edificios estaban constituidos por estructuras de mampostería, pilastras o columnas metálicas sobre las que apoyaban entrepisos metálicos con bovedillas y cerchas metálicas con chapas para la cubierta. Las fundaciones en general estaban constituidas por un ensanche en la mampostería siguiendo la técnica de aumentar el ancho de un ladrillo a cada lado del muro por cada cinco hiladas o bien un cimiento de mortero hidráulico ciclópeo.

GEOTECNIA EN ARGENTINA ENTRE 1876 Y 1885

Esta década está marcada por la concreción de la identidad nacional, y la consolidación de un esquema político que conduciría a un modelo económico liberal sustentado en una generación de hombres, la denominada generación del 1880, que por imperio de las circunstancias y por empuje personal de algunos de sus miembros continuó hasta avanzado el siglo XX.

En el año 1870 finalizaba la guerra de la Triple Alianza (Doratioto, 2002), y Argentina gobernada por Domingo F. Sarmiento surgía como una nación unificada y con una presidencia aceptada por todas las provincias. Atrás quedaban los años de la guerra de independencia y de la guerra civil consecuente. Comenzaban a cerrarse las heridas generadas por la victoria de Urquiza sobre Rosas y su derrota frente a Mitre, sumando la provincia de Buenos Aires al resto de las provincias. Hacia mediados de esta década, luego de la llamada Campaña de Desierto en 1879, surgiría el Gral. Roca como artífice de la política argentina, que duraría por los próximos 25 años. El país se encaminaba hacia una serie de mandatos presidenciales de corte liberal, que lo estabilizarían política y económicamente. En este período se dio un fuerte impulso al desarrollo de las ciencias, su estudio y la transmisión del conocimiento.

El Departamento de Ciencias Exactas de la Universidad de Buenos Aires (UBA), creado en 1865 por J. M. Gutiérrez y donde se dictaban los cursos de ingeniería, otorga el título de Ingeniero Civil al primer egresado de esa carrera en Argentina, el Ing. Luis A. Huergo, en 1870 (Farina, 1992). En Córdoba comienzan a establecerse los científicos europeos, especialmente naturalistas, contratados por el gobierno nacional para la creación de la Academia Nacional de Ciencias de esa ciudad, creada en setiembre de 1869.

El año 1874 marca la finalización de la presidencia de Sarmiento, y Nicolás Avellaneda, su ministro de Educación, asume la presidencia. En el ámbito académico, ese año el Departamento de Matemáticas de la UBA se transforma en la Facultad de Matemáticas, cambiando luego su nombre a Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (1881), para ser finalmente la Facultad de Ingeniería. Por impulso de los integrantes de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, durante el año 1876 se crea en la Universidad Nacional de Córdoba la Facultad de Ciencias Físicas Exactas y Naturales, denominación que mantiene en la actualidad, y comienza el dictado de los cursos de ingeniería en la misma.

Desde el punto de vista de la geotecnia, en 1876, Juan Pirovano (Figura 4), presenta su tesis para optar al grado de Ingeniero con el título de “Fundaciones” (Pirovano, 1876).

El académico Ing. Bessio Moreno (1934), indica que Pirovano tuvo una destacada actuación profesional, estableciendo el Meridiano limítrofe entre Buenos Aires y La Pampa, como funcionario llegando a ocupar el cargo de Director de Hidráulica de Nación, y en el ámbito académico fue miembro de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Buenos Aires. Marcial Candioti, en su trabajo “Bibliografía doctoral de la Universidad de Buenos Aires” (Bessio Moreno, 1934), se refiere en extenso a la Tesis de Pirovano por abordar el estudio de los terrenos, las fundaciones proyectadas en los mismos y su ejecución, de acuerdo a los métodos más modernos de la época.

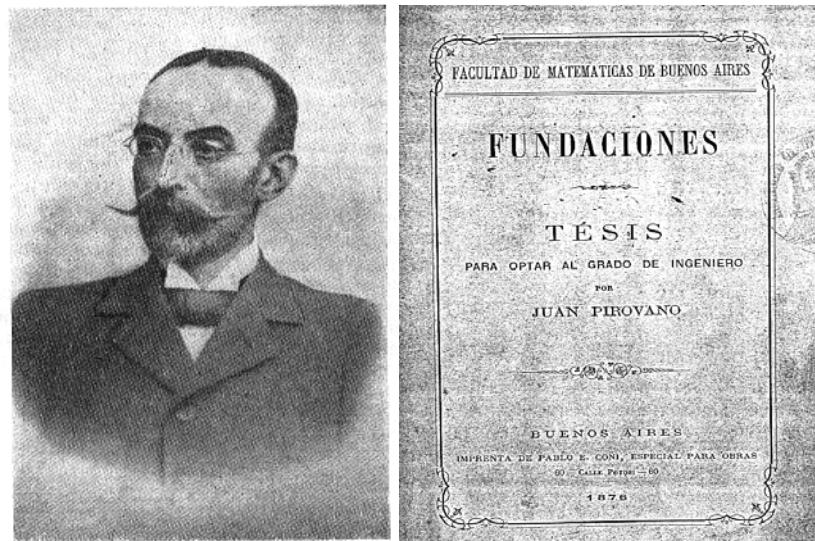


Figura 4: (a) Ingeniero Juan Pirovano; (b) portada de su tesis “Fundaciones”, de 1876 (Pirovano, 1876).

Podría decirse que este trabajo constituye la primera publicación geotécnica efectuada en Argentina y por un ingeniero argentino. Tiene 61 páginas de texto y un atlas con 17 figuras explicativas. El texto escrito se divide en cinco capítulos:

1. Clasificación de los terrenos: Se describen los distintos tipos de suelo desde el punto de vista de su uso como material de fundación. También se hace referencia a los métodos más habituales de perforación, describiendo la sonda Palissé, los trépanos y su operación, que eran los instrumentos más adecuados en esa época. Los suelos son divididos en tres clases:
 - Terrenos incompresibles y no socavables: como ser rocas, tobas, margas, rodados y gravas trabados o cementados.
 - Terrenos incompresibles pero socavables: como suelos arenosos compactos de todo tipo, siempre que estén confinados.
 - Terrenos compresibles y socavables: como arcillas, limos y turbas, que presentan los mayores problemas para fundar.
2. Fundaciones sobre terrenos de la primer clase: Se describen las fundaciones superficiales, haciendo hincapié en las excavaciones en especial bajo agua (ataguías y escollerados) y los riesgos de deslizamiento. Se analizan las fundaciones profundas, para llegar a estos suelos, mediante pozos con o sin entibado, o por medio de cilindros de revestimiento descendidos a medida que se excava. Las pilastras de mampostería maciza o hueca construidas dentro de los pozos, se unen bajo los muros mediante arcos o bóvedas. Finalmente se abordan las fundaciones sobre roca.
3. Fundaciones sobre terrenos de la segunda clase: se hace referencia a las fundaciones directas evitando los problemas de socavación o pérdida de confinamiento. Se explican los tipos de pilotes hincados y sus fórmulas de diseño. Por último se indican las alternativas de fundación mediante plateas y cajones.
4. Fundaciones sobre terrenos de la tercera clase: Estos suelos son estudiados por ser los más problemáticos, recomendando el empleo de pilotes. Plantea técnicas de mejoramiento de suelos mediante la preconsolidación de horizontes arcillosos usando terraplenes, así como la compactación mediante la hincada de pilotes de madera.
5. Fundaciones tubulares: se enumeran y describen pilotes de rosca, de tubo hincado, fundaciones tubulares mediante vacío y aire comprimido, y los cajones de fundación.

Esta tesis fue publicada por la Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires, en 1876 y una copia de la misma se encuentra en la biblioteca de dicha Academia.

En los años 1874 y 1875, en la provincia de Mendoza se proyectó y construyó el canal de defensa contra los aluviones nivales, denominado “Zanjón”, actual Cacique Guaymallén. Esta obra estuvo a cargo del ingeniero francés Esteban Dumesnil. Se trató de una obra importante para la época, ya que se tuvo que trabajar en materiales aluvionales gruesos, que dificultaban las excavaciones y desestabilizaban los taludes. Con sucesivas modificaciones y revestimientos, este canal continúa actualmente en servicio transportando parte de las aguas derivadas del río Mendoza por el Dique Cipolletti. (Ponte, 2006)

Dumesnil en esos años también participó en el diseño del FFCC al Pacífico y la línea férrea Salta-Jujuy. En 1878 se radica en Córdoba, como administrador general del FFCC Central Norte.

En esos años comienzan a construirse en la ciudad de Buenos Aires y sus alrededores grandes obras de saneamiento, como por ejemplo la ampliación de la Planta Potabilizadora de Agua ubicada en La Recoleta, donde hoy se encuentra el Museo de Bellas Artes, y el dique seco para la reparación de barcos, ubicado en San Fernando y construido por el Ing. Luis A. Huergo. Ambas obras se aprecian en la Figura 5.

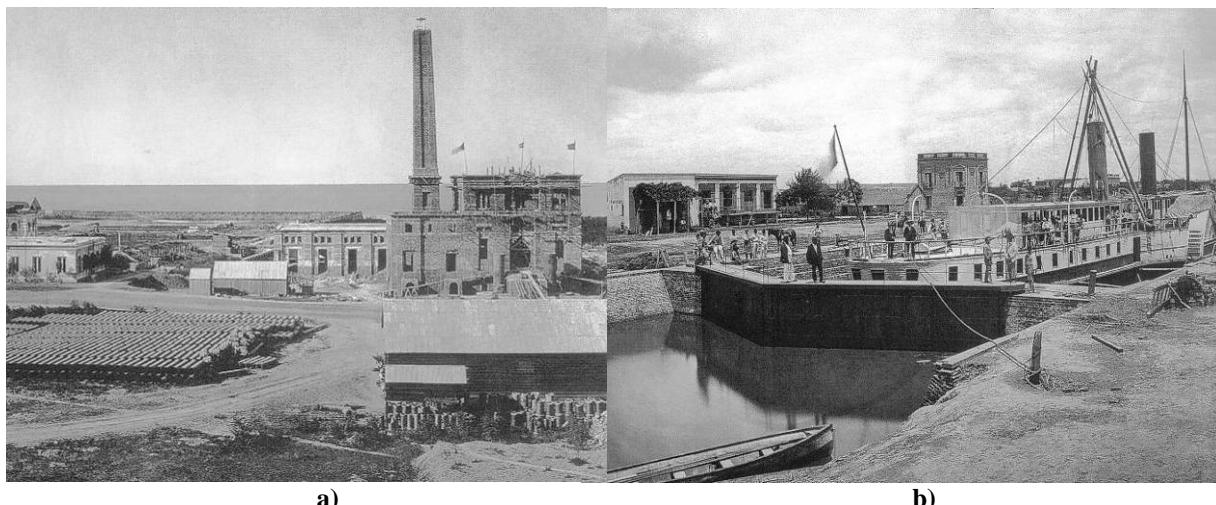


Figura 5: (a) Planta potabilizadora de la Recoleta, 1878; (b) dique seco en San Fernando, prov. de Buenos Aires, 1877 (Cichero, 2002).

Bajo la presidencia de Julio A. Roca se federaliza la ciudad de Buenos Aires como Capital Nacional, y en 1882 se coloca la piedra fundamental de la ciudad de La Plata, como capital de la Provincia de Buenos Aires. En la Figura 6 se observa la construcción de la casa de gobierno.

Ese mismo año el joven ingeniero Carlos Casaffousth se traslada a Córdoba, para elegir los terrenos donde se construiría el futuro Hospital de Clínicas. Se trata de un ingeniero argentino pero formado en la Escuela Central Politécnica de París, siendo alumno de A. Eiffel. Revalidó su título en la Universidad de Buenos Aires y comenzó a ejercer la profesión. En la Figura 7 se puede observar una fotografía del Ingeniero Casaffousth, junto a los restos de su obra magna, el dique San Roque, parcialmente demolido para construir el nuevo dique.

Ese mismo año el joven ingeniero Carlos Casaffousth se traslada a Córdoba, para elegir los terrenos donde se construiría el futuro Hospital de Clínicas. Se trata de un ingeniero argentino pero formado en la Escuela Central Politécnica de París, siendo alumno de A. Eiffel. Revalidó su título en la Universidad de Buenos Aires y comenzó a ejercer la profesión. En la Figura 7 se puede observar una fotografía del Ingeniero Casaffousth, junto a los restos de su obra magna, el dique San Roque, parcialmente demolido para construir el nuevo dique.



Figura 6: Casa de gobierno de la provincia de Buenos Aires. La Plata, 1885 (Cichero, 2002).



Figura 7: (a) Retrato del Ingeniero Carlos A. Cassafousth; (b) dique San Roque (Frias, 1984).

En Córdoba, Casaffousth conoce al entonces gobernador y futuro presidente, Dr. Juárez Celman, y luego de un fugaz paso por Buenos Aires, vuelve a esta ciudad para supervisar los trabajos de construcción del edificio de la Academia Nacional de Ciencias. Con el paso del tiempo cumplirá también destacadas funciones académicas como Profesor de Hidráulica en la Universidad Nacional de Córdoba, donde llega a ser Decano, y funciones políticas siendo Diputado Provincial.

Como describe Huber (1999), en Córdoba conoce a Dumesnil y tal vez por ser ambos discípulos de Eiffel, entablan una relación que los llevará a trabajar en la obra hidráulica más importante de la Argentina a fines del siglo XIX, el Dique San Roque y las obras de irrigación de los Altos de la Ciudad de Córdoba. Dumesnil estaba construyendo la red de abastecimiento de agua y gas de Córdoba, habiendo ejecutado un canal en Villa Nueva y el puente denominado Centenario sobre el río Suquía desde 1910 (Figura 8), pero que en su origen se llamó Juarez Celman.



Figura 8: Puente Centenario de la Ciudad de Córdoba (Kirschbaum, 2005).

Este puente tiene pilas de mampostería fundadas sobre bloques de concreto. Sobre las pilas descansan arcos de mampostería que soportan la calzada, que como se aprecia en la figura anterior incluso recibió el paso de tranvías. El puente todavía se encuentra en funcionamiento, luego de aproximadamente 125 años de servicio.

De acuerdo a Frías (1980), en el año 1881 el gobierno de la Provincia de Córdoba mediante un decreto del 14 de mayo, encarga al ingeniero Dumesnil “...el estudio de las obras necesarias para represar las aguas del Río Primero en el valle de San Roque, y traerlas a los terrenos que rodean la ciudad... El estudio del lugar donde debe construirse el dique, perforaciones para conocer el lecho del río, nivelaciones, y el plano de aquel”, además de los diques niveladores en La Calera y los canales maestros y secundarios. Durante un año y medio aproximadamente se realizaron reconocimientos exploratorios de factibilidad para regar diez leguas del municipio de Córdoba.

En 1883, ya asociado Dumesnil con Casaffousth, la empresa “Esteban Dumesnil y Cía.” presenta las Bases para los Estudios Definitivos y para la Ejecución de las Obras y con fecha 2 de julio de 1883, la legislatura aprueba el contrato para realizar esos trabajos y en particular en el Art. 1º, punto I-1º dice que deberá estudiarse el “...lugar donde debe construirse el dique mediante sondajes, nivelaciones y demás reconocimientos...”. Las tareas comenzaron el 2 de agosto de ese año.

El primero de mayo de 1884, estos profesionales elevaron al gobierno de la Provincia la memoria, con los resultados de las tareas desarrolladas. Este documento consta de 144 páginas y 16 planos, con detalles y dimensiones de los diques, canales, acueductos y el presupuesto general de la obra. Toda esta documentación lamentablemente ha desaparecido por cuestiones de índole política, pero de acuerdo a Frías (1980), la Memoria contaba con los siguientes capítulos:

1. Preliminares: Introducción, Geografía Física, Río Primero, Necesidad del uso de las aguas. Superficie y volumen acumulado en el depósito de San Roque.
2. Dique San Roque: Mampostería a emplear, Mezclas, Tensiones de trabajo, Perfil del muro, Cálculos de estabilidad.
3. Descripción del dique: Desarenador, Compuertas, Tomas de agua, Vertederos y Llaves de riego.
4. Dique de Mal Paso: Sección del dique, Cantidad de agua para riego, compuertas para canales, Canales Maestros Norte y Sur.

Con referencia a la geotecnia puede decirse que en este informe se indicaba que la profundidad de fundación del Dique San Roque no sería muy importante, ya que los sondeos exploratorios detectaron roca a poca profundidad. Esta aseveración no resultó adecuada en la práctica, y este punto será uno de los problemas con que tropezarán los constructores a la hora de realizar la obra. Con este informe culmina la década y la contratación de los trabajos y su ejecución corresponden a la siguiente.

GEOTECNIA EN ARGENTINA ENTRE 1886 Y 1895

Al concluir en 1886 el mandato del Gral. Julio A. Roca, su cuñado el Dr. Juárez Celman deja su puesto de Senador Nacional por Córdoba, para asumir la presidencia de la nación. Desde este puesto es que brinda todo el empuje

necesario para la construcción del dique San Roque. La presidencia de Juárez Celman se concluirá en forma abrupta con su renuncia en el año 1890, por causa de la denominada “Revolución del Parque” (Luna, 2006), asumiendo el cargo el vicepresidente, Dr. Carlos Pellegrini, quien creará el Banco de Nación Argentina y concluirá el período de gobierno en 1892. El período culmina con Luis Sáenz Peña, quien asume el mandato del país renunciando en el año 1895, tras una serie de revueltas políticas promovidas por un nuevo partido político que surgía, los radicales. Precisamente esta turbulencia política será la causa de las vicisitudes que sufrieron las obras del Dique San Roque y en especial el juicio a sus constructores, el Ing. C. Casaffousth y el Dr. Bialet Massé.

Sin lugar a dudas la obra que marcó la década en la ingeniería argentina, fue la construcción de las obras de Riego de los Altos de la ciudad de Córdoba, en especial el Dique de San Roque, para la época, uno de los más grandes del mundo en su tipo. Oficialmente el 15 de julio de 1885, comenzaron los trabajos, contratando a la empresa de los Señores Bialet Massé (Figura 9) y Funes, designando al Ingeniero Casaffousth al frente de los mismos, ya que Dumesnil había regresado a Francia. En realidad los trabajos preliminares cobraron impulso durante el año 1886. Bialet Massé construyó un horno de cal hidráulica para la construcción de la mampostería del dique empleando materiales locales que resultaron totalmente adecuados, pese a los reparos de otros profesionales del país.

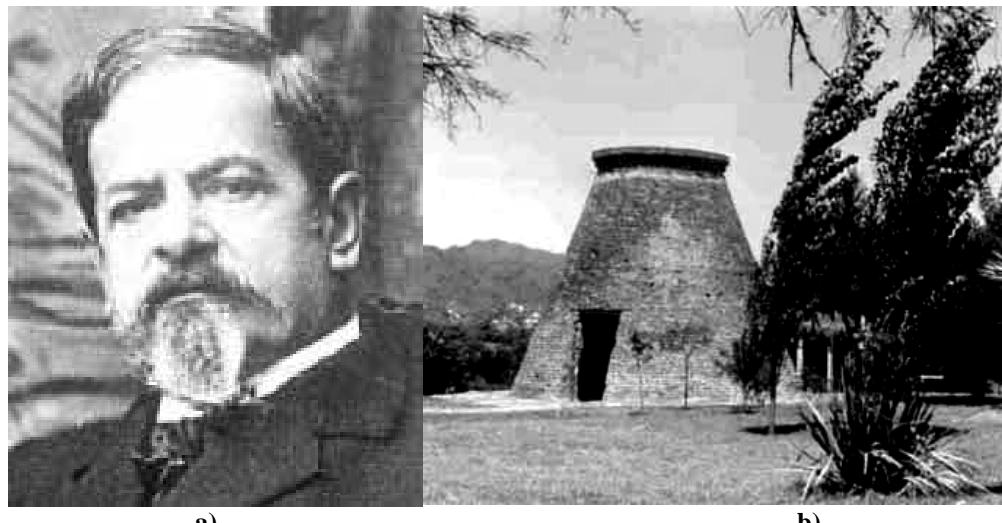


Figura 9: (a) Dr. Juan Bialet Massé; (b) horno de cal “El Argentino” (Huber, 1999).

En su mensaje a la legislatura de 1887, el gobernador Olmos, indica que “...se halla concluida la instalación del obrador... las casas de los empleados, galpones para depósitos... herrería, carpintería, fábrica de mezclas,... vías de comunicación en todo sentido... se encuentran acopiados 15000 m³ de piedras, 3000 toneladas de cales y cementos y 6000 m³ de arena...la excavación de los faldeos donde este último (el dique) deberá encastrarse se halla terminada, faltando únicamente ... en el lecho del río... Están concluidos el canal de desviación...y el trabajo de mampostería del dique provisorio...”. En resumen, a comienzos de 1887 ya se había instalado el obrador con sus servicios, se habían acopiado materiales, se excavó la fundación de los estribos y se había ejecutado el canal de desvío con parte de la ataguía. La obra estaba a punto de comenzar en su etapa de mayor significación. En la Figura 10 se puede apreciar la planta del dique construido por Casaffousth, según el relevamiento efectuado para la construcción del dique actual en 1944, y las excavaciones para la fundación del estribo de margen izquierda dejando al descubierto la roca apoyo.

El Dique San Roque, fue la mayor obra de Ingeniería Hidráulica de ese momento y su construcción tardó 27 meses. Originalmente diseñado para 30 metros de altura de agua más dos metros de revancha, y elevado a posteriori hasta 37 metros en total, tenía una capacidad de 250,000,000 m³. Su longitud era de 140 metros, con un ancho de cinco metros en el coronamiento y 30 metros en el arranque del muro sobre las fundaciones. Huber (1999), indica que el Ingeniero G. Eiffel dijo, durante la Exposición Universal de París de 1889, “Dos obras de ingeniería concentran la atención del mundo, mi Torre y el Dique San Roque, pero mi Torre no es productiva, mientras que el Dique sí”.

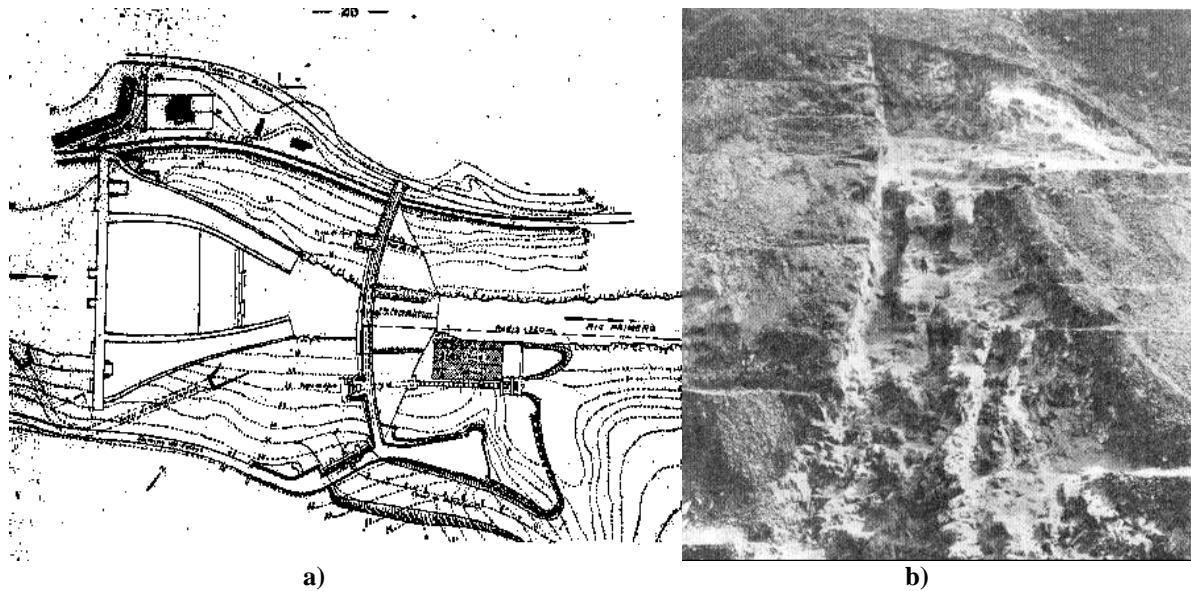


Figura 10: (a) Plantas del dique original y el actual; (b) excavación del estribo izquierdo (Friás, 1984).

La configuración en planta de la presa presenta un paramento de aguas arriba recto y dos vertederos laterales. Para circular por su coronamiento estos vertederos contaban con sendos puentes, que servían de límite superior a las compuertas. Por su parte la sección es un perfil de gravedad (Outes, 1928), que se aprecia en la Figura 11, apoyado sobre un gran macizo de mampostería fundado sobre la roca. Estaba construido con mampostería ciclópea de relleno y los paramentos revestidos por mampostería con junta.

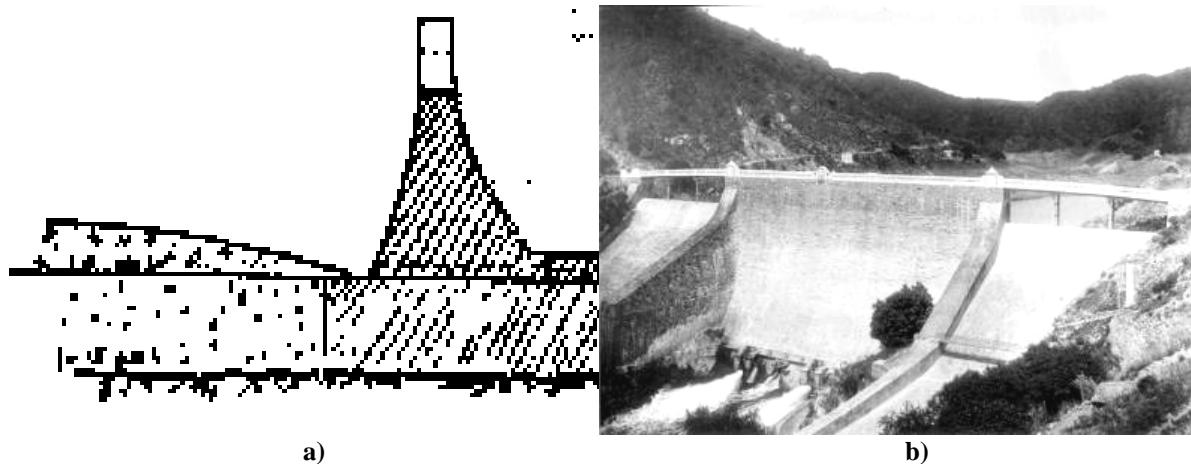


Figura 11: (a) Sección del dique San Roque, (b) vista de la obra terminada (Friás, 1984; Huber, 1999).

La obra comenzó a sufrir retrasos por problemas derivados de la construcción, por lo que se agotaron los plazos contractuales fijados originalmente y hubo que estipular prórrogas. Desde el punto de vista geotécnico es donde se registran los inconvenientes más significativos para la construcción de tan magna obra. Pero en este punto también se aprecia la formación profesional del Ing. Casaffousth tomando decisiones que privilegiaron la calidad y seguridad de la obra antes que los plazos y sus costos. Durante el año 1886 ocurrió una crecida extraordinaria que produjo grandes daños a las obras, lo que aumentó el atraso ya registrado por las fundaciones.

Un problema que causó el mayor atraso de las obras fue la excavación de los cimientos de la presa principal en el lecho del río. En la memoria del proyecto se preveía una fundación relativamente poco profunda. En un informe de Casaffousth, el 25 de enero de 1888, justificando los atrasos producidos en los trabajos, indicaba que se debían a la excavación para los cimientos "...cuya profundidad de 14 metros debajo de las aguas ordinarias ha sido mucho mayor de lo que podía preverse para poder encontrar el piso de granito sobre el cual se han asentado...". En la Figura 12 se muestra la excavación de la fundación en el lecho del río donde se aprecian los bloques y rodados de gran tamaño que debieron ser extraídos para llegar a la roca basal. Los equipos de trabajo eran manuales y el movimiento de suelos se realizaba mediante andamiajes y aparejos de elevación sencillos.

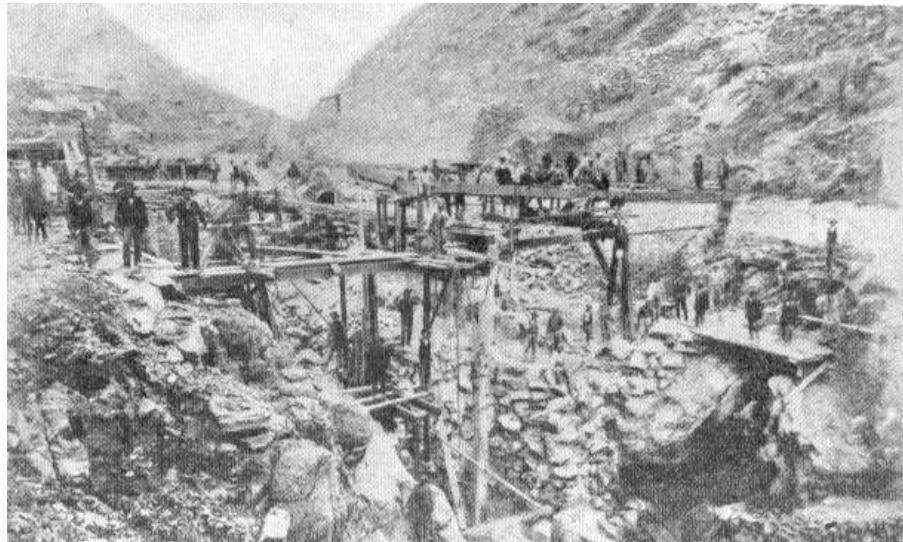


Figura 12: Excavación del lecho y equipos empleados (Frias, 1984).

En cuanto a las técnicas constructivas empleadas para las fundaciones, en documentos posteriores Casaffousth informaba que "...después de hechas las excavaciones necesarias hasta descubrir la roca firme se entallaba... era lavada con agua y barrida y después bañada con cemento disuelto en agua...".

Por otra parte, puede interpretarse que la calidad de la roca para la fundación de los estribos no era la mejor, ya que al referirse a ella dice Casaffousth "...la profundidad de la capa de piedra descompuesta en que van encastadas las extremidades del dique exigirán además 7000 m³ de mampostería...". Según Frías (1980), Bialet Massé, varios años después, comentaba que "...en el ala Norte... el arranque del estribo donde el dique era muy grueso, hubo que sacar gran cantidad de piedra esquistosa ya convertida en arcilla... en el ala Sud se encontró un gran bolsón de arcilla... que dio al estribo la enorme masa que tiene", agregando: "La Dirección de obras exigió... que se fuera con las excavaciones hasta dar con suelo firme y... se excavó algo más para ver el estado de la roca". Esta calidad de construcción y la roca de apoyo resultaron ser los elementos que permitieron recrecer el muro en cinco metros hasta su altura definitiva de 37 metros, a propuesta de Casaffousth en octubre de 1887. (Frias, 1984)

La obra de irrigación comprendía también 200 km de canalizaciones, en dos Canales Maestros Norte y Sur, y el dique nivelador de Mal Paso. De la documentación aportada al juicio en que desembocó esta obra, resulta que Casaffousth era muy escrupuloso en cuanto a la construcción de los canales. Los pendientes variaban entre 0.20 m y 0.50 m por kilómetro y eran revestidos en las zonas de materiales arenosos o rocas fracturadas. Además contaba con acueductos muy importantes, como el del canal maestro Norte ubicado en la localidad de Saldán de 270 metros (Figura 13) y el cruce del canal maestro Sur con el arroyo La Cañada en los alrededores de la Ciudad de Córdoba.

El ingeniero Firmat, quien se desempeñó como ayudante del Ing. Casaffousth, afirmó que éste aplicaba tal velocidad y precisión en los cálculos estructurales de estos acueductos que, cuando en el día se producían cambios por problemas del terreno o variantes en la traza, a la mañana siguiente ya se tenía en obra la documentación para construir las modificaciones.



Figura 13: Acueducto del canal maestro en Saldán (Lusardi, 2002).

Casaffousth no sólo se dedicó a estas obras sino que en el ínterin adquirió campos en la zona de Cosquín donde construyó un puente (Figura 14) que atraviesa el río homónimo y un pequeño dique para riego. En estos predios funciona hoy en día el Hospital Zonal “Colonia Santa María”, ex colonia de tuberculosos. Parte de sus honorarios profesionales fueron cobrados con terrenos fiscales ubicados en las zonas a irrigar en el sur de la ciudad de Córdoba. Allí creó el establecimiento agrícola San Carlos que fue modelo en su época.



Figura 14: Pilares del puente sobre el río Cosquín en la provincia de Córdoba (Lusardi, 2002).

Pese a todas las situaciones descriptas la obra siguió su curso y finalizó entre los años 1888 y 1889. El dique Mal Paso, los canales Maestros Sur y Norte, los acueductos y puentes aún hoy están en funcionamiento, mientras que el dique San Roque sufrió 14 modificaciones menores hasta que fue reemplazado en el año 1944 por una nueva estructura más elevada.

La historia de esta tan exitosa obra se vio empañada por un proceso judicial que surgió una vez terminada la misma y por cuestiones políticas vinculadas al derrocamiento de Juarez Celman como presidente de la nación. En un acto inexplicable en al año 1892, ante comentarios sin mayor fundamento referidos a los peligros en cuanto a la estabilidad del dique San Roque, se ordena el encarcelamiento del Ing. Casaffousth acusado de “... defraudación y atentado contra la seguridad de la población”. Luego de un bochornoso proceso, donde testimoniaron Bialet Massé, Firmat y los contratistas de la obra, Casaffousth fue absuelto y restituido su buen nombre y honor, pero la semilla de su destino estaba sembrada. Desilusionado por la ingratitud de la sociedad cordobesa y luego de perder a uno de sus hijos por una enfermedad, Casaffousth se traslada con su familia a Santiago del Estero donde proyecta y construye el canal de la Cuarteada. Finalmente se radica en Gualeguay, Prov. Entre Ríos, donde fallece en el año 1890 víctima de una pleuresía a la temprana edad de 46 años. Como indica Lusardi de Capela (2002), resulta notable que a esa edad ya había proyectado y dirigido la obra hidráulica más importante de su época, fue catedrático y decano en la Universidad Nacional de Córdoba donde luchó por mejorar la enseñanza propugnando las publicaciones didácticas, se desempeñó

como diputado e incursionó empresarialmente en las actividades agrícolas, entre otras cosas. Su trayectoria es realmente admirable.

Desde el punto de vista académico la década también depararía elementos interesantes para la geotecnia. Los sabios traídos por Sarmiento para la Academia de Ciencias de Córdoba y que enseñaban en la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la Universidad, habían comenzado a divulgar sus investigaciones y descubrimientos. Entre ellos es interesante citar al Dr. Geólogo Bodembender (1890), quien publicó un trabajo en el boletín de la Academia Nacional de Ciencias, donde entre otras cosas relevó la ciudad de Córdoba, ubicando con notable precisión las cárcavas existentes en las barrancas que por entonces eran el límite de la ciudad, y combinó esta información con los perfiles geotécnicos de los perforaciones para extracción de agua, pozos excavados, y perfiles de barrancas, estableciendo el primer Mapa Geotécnico de que se tenga noticia en nuestro país (Figura 15).

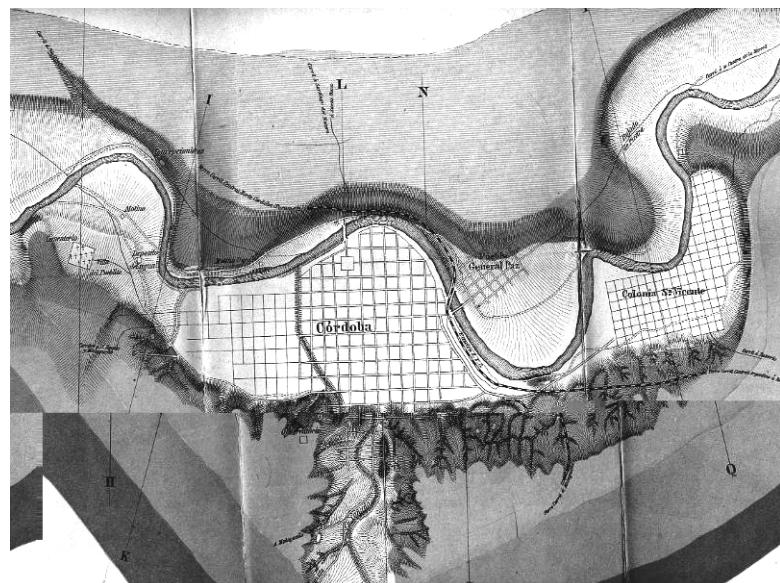


Figura 15: Mapa geotécnico de la ciudad de Córdoba (Bodemender, 1890).

En ese trabajo se describe además la formación del valle del río Suquía relacionándolo a las formaciones geológicas y los movimientos del río. Los colores marcan los distintos tipos de suelos.

Entre comienzos y mediados de la década de 1890, comenzaron las obras de prolongación de las líneas de muchos ferrocarriles, y sobre todo mejoró la tecnología de construcción de puentes con la importación de estructuras metálicas para grandes luces y la incorporación de máquinas hincadoras de pilotes movilizadas por vapor. En 1889 comienza la construcción del ferrocarril de Santa Fe, y entre ese año y 1891, se realizaron diversos puentes sobre los ríos Salado, Carcarañá y otros. En la Figura 16 se muestra el comienzo de la hincada de pilotes para la construcción del puente sobre el río Salado (Santa Fe), en 1891.

En el año 1887 comienza la construcción del puerto de Buenos Aires, en la desembocadura del Riachuelo. El proyecto era del año 1881 y en su momento suscitó una gran controversia que a larga puso de manifiesto la competencia de la ingeniería argentina frente a soluciones importadas que no siempre son adecuadas a nuestra realidad.

En el año 1887 comienza la construcción del puerto de Buenos Aires, en la desembocadura del Riachuelo. El proyecto era del año 1881 y en su momento suscitó una gran controversia que a larga piso de manifiesto la competencia de la ingeniería argentina frente a soluciones importadas que no siempre son adecuadas a nuestra realidad.

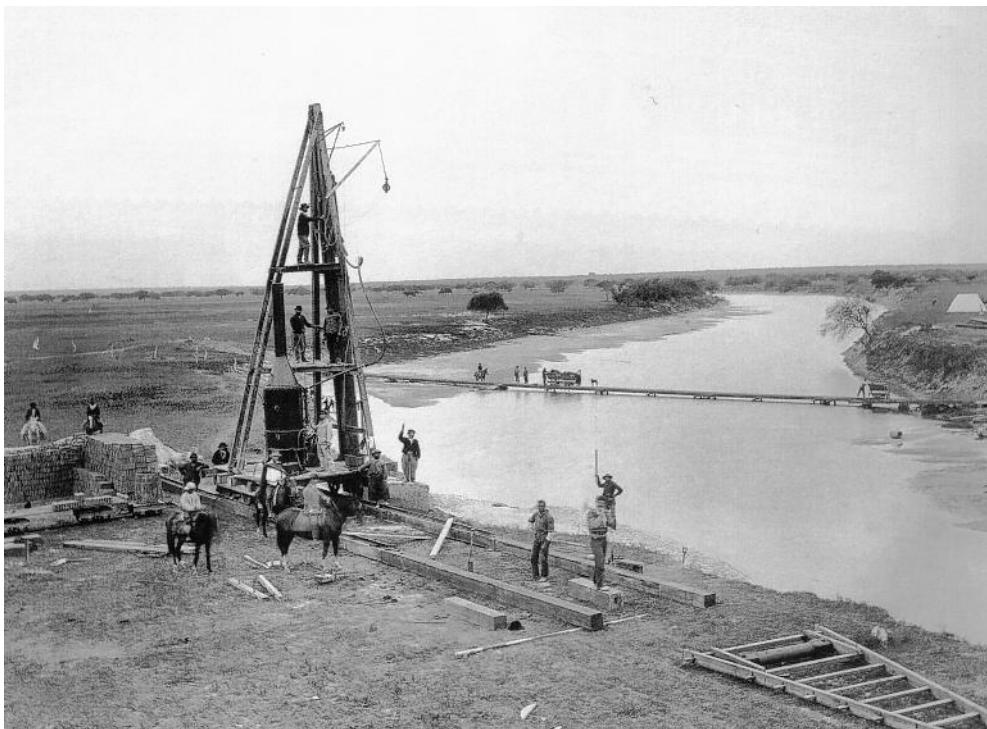


Figura 16: Hinca de pilotes para el puente sobre el río Salado en Santa Fe, 1891 (Kirschbaum, 2005).

GEOTECNIA EN ARGENTINA ENTRE 1896 Y 1905

Con la renuncia de Luis Saenz Peña, asume en 1895 la presidencia de la nación, el entonces vicepresidente José E. Uriburu hasta el fin del mandato en 1898. En ese año vuelve al escenario la figura política que durante la década anterior operó entre bambalinas, el Gral. Julio A. Roca, quien concluirá su gobierno en el año 1904, al fin del período analizado. Desde mediados de la década anterior, y en especial durante su gobierno, Argentina termina de definir abiertamente su rol en el concierto de naciones del mundo como un país agro-exportador e importador de bienes industriales y servicios. Este proyecto económico llevó a que Argentina fuera catalogada como granero del mundo junto con Australia y Canadá. Esta política económica con vaivenes, breves interregnos y ligeros matices se puede decir que se mantuvo a lo largo del siglo XX.

Para el país concebido de este modo, una vez consolidados los aglomerados urbanos mediante la prestación de servicios (agua, electricidad, gas, transporte público, etc.), era necesario contar con vías de comunicación y puntos de egreso e ingreso de mercaderías. Por ello fue necesario vincular todos los centros productores ubicados en el interior del país con los puntos de envío al exterior, como ser las ciudades portuarias, y por otra parte en estas ciudades se hace necesario construir grandes puertos, que permitan la exportación de productos agrícolas, y la importación de maquinarias, equipos y bienes desde Gran Bretaña. En este contexto, no es de extrañar que durante esta década y la siguiente la longitud de las líneas ferreas pase de 722 km en 1870, a más de 40.000 km en 1914, llegando a ocupar el décimo lugar en el mundo, detrás de los países europeos y Estados Unidos. Estos ferrocarriles, concesiones mediante, estaban en poder de grandes consorcios extranjeros.

En Agosto de 1897, el Centro Nacional de Ingenieros (hoy Centro Argentino de Ingenieros), que se había constituido en 1895, edita el primer número de la Revista “La Ingeniería”, como una publicación mensual destinada a ser el órgano oficial de la entidad para “...la difusión de los conocimientos útiles al Ingeniero, Arquitecto y Agrimensor en todas las ramas...”. Esta revista, que aún hoy se publica, ha sido el mejor archivo gráfico y documental de las grandes obras e inquietudes de investigación de los ingenieros argentinos, en especial en los primeros tiempos, junto con el Boletín de Obras Públicas y la Revista de Obras Sanitarias. De ellas surgen muchos de los comentarios, planos y fotografías que ilustran este artículo.

Concluye la construcción del Puerto de Buenos Aires en el año 1897, que había sido iniciado en 1887, luego que en 1881, se presentaran varios proyectos, siendo dos los más notables. Uno elaborado por el Ing. Luis A. Huergo y otro presentado por el comerciante e Ing. Eduardo Madero junto al ingeniero inglés John Hawkshaw.

El proyecto de Madero (Figura 17) representaba la modernidad, estando constituido por diques (*docks*), esclusas y puentes giratorios, lograba ese objetivo, resultando el seleccionado. El proyecto Huergo consistía en una serie de espigones independientes en la desembocadura y a lo largo del Riachuelo; era un proyecto austero y más acorde a las posibilidades de Argentina en esa época y que permitía su ampliación y adecuación a futuros incrementos en el comercio internacional.

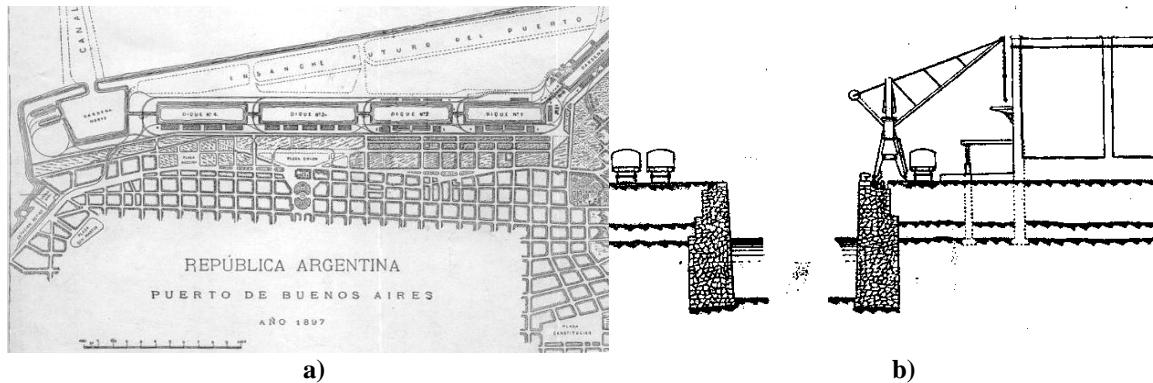


Figura 17: (a) Planta general; (b) corte esquemático (Schnack, 1914).

Lamentablemente la demora en su construcción, con el consiguiente cambio en los volúmenes de exportación e importación y el aumento en el tamaño de los barcos de carga, sumado a la rigidez proyectual del puerto que no admitía crecimientos significativos, llevó a que este puerto resultase obsoleto a los pocos años de servicio, pese a las modificaciones y obras complementarias realizadas durante el año 1914.

Ya en el siglo XX, cuando se construyó el llamado Puerto Nuevo, que aún hoy está en funciones, se adoptó el esquema de espigones propuesto originalmente por Huergo (Figura 18).



Figura 18: Puerto Nuevo con el criterio de Huergo para Puerto Madero (Cichero, 2002).

En la Figura 19 se aprecia la construcción de uno de los *docks* y el dique 4 desde el puente de calle Viamonte, con el puerto en funcionamiento.

Los diques se construyeron en seco mediante excavación a cielo abierto y bombeo del agua dentro del recinto. Las fundaciones de los muros de gravedad que constituyen los muelles fueron superficiales, ubicadas entre -7 y -9 metros de profundidad aproximadamente y los cimientos de los edificios para depósitos se efectuaron mediante zapatas a una cota menor.

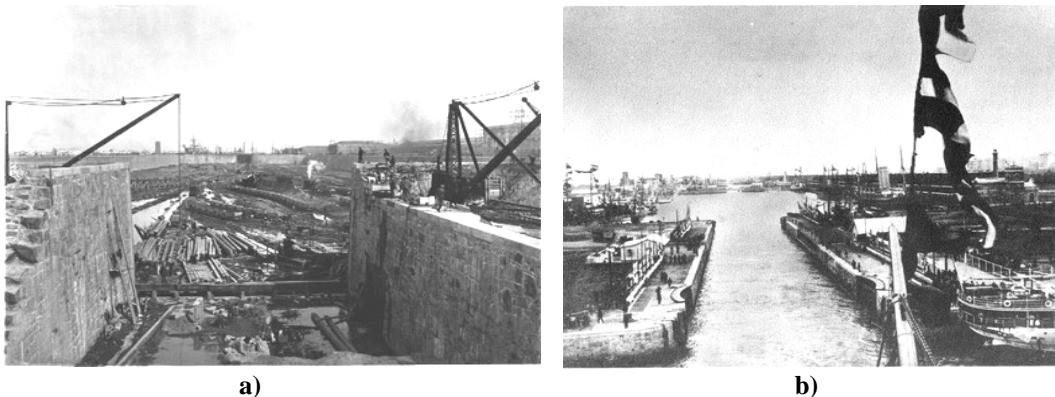


Figura 19: (a) Construcción de un dock; (b) Dique 4, desde el puente Viamonte (Kirschbaum, 2005)

La construcción de las fundaciones consistió en la excavación del pos-pampeano con un espesor de uno a dos metros, hasta descubrir el pampeano. En este nivel se fundaron los edificios, mientras que los muros de diques y dárseras penetran dentro del pampeano para dar suficiente calado a los barcos. Una vez construidas las fundaciones y los muros se comenzó el relleno del predio hasta alcanzar el nivel actual de las calles de acceso.

Soulages (1899), publica un artículo referido a la metodología que se empleaba en la época para abordar el diseño de pilotes sometidos a fuerzas horizontales. En el mismo, Soulages describe los ensayos realizados sobre pilotes de madera hincados para un muelle en el puerto de Rosario, e interpreta los resultados para el diseño de los mismos. En la Figura 20 se observa un corte esquemático del muelle y la obra en construcción.

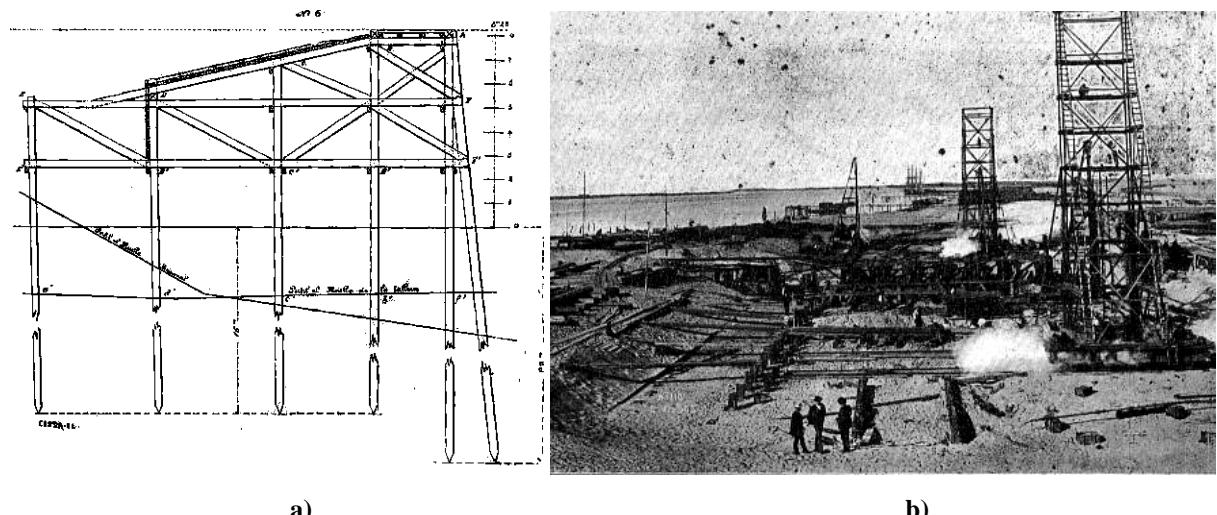
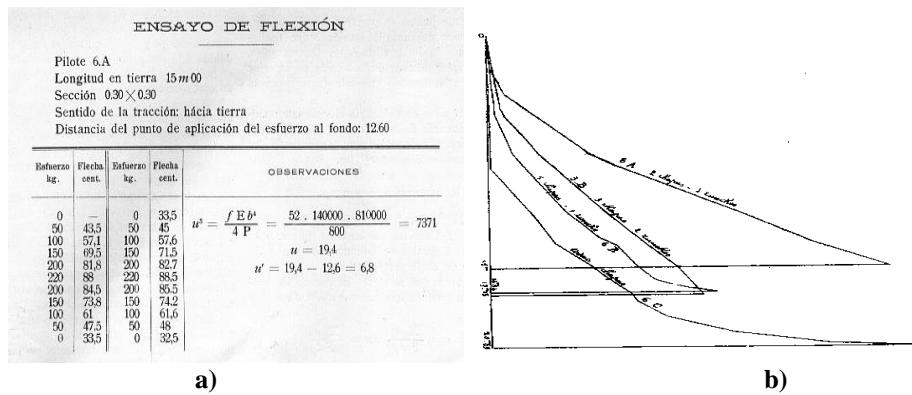


Figura 20: (a) Esquema del pilotaje; (b) Hinca de los pilotes en muelle de Rosario en Santa Fe (Soulages, E. 1889).

El autor plantea un esquema interesante, ya que aplica cargas horizontales y mide desplazamientos laterales en la cabeza del pilote y con estos valores, mediante las formulaciones de la resistencia de materiales, determina la longitud ficticia de un pilote de igual geometría y material, pero empotrado sin confinamiento lateral. Se ensayaron pilotes de madera 30cm de lado y una longitud de entre 25 y 30 metros, sometidos a fuerzas horizontales crecientes hasta 2.5 KN, midiendo los desplazamientos en la cabeza, alcanzando valores máximos de 0.88 m. La hipótesis era que la fuerza horizontal produce una deformación del conjunto pilote-terreno desde el fondo, hasta un cierto punto en que el pilote gira al mismo tiempo que se deforma alrededor de un centro instantáneo de rotación o punto de empotramiento perfecto. Suponiendo el pilote empotrado a una distancia “ u ”, sin empalmes, ni sometido a reacciones del terreno, se obtiene

$$u^3 = \frac{f E b^4}{4 P}, \text{ donde } "E" \text{ es el módulo de la madera, } "f" \text{ es la flecha, } "b" \text{ el ancho y } "P" \text{ la fuerza aplicada. Restando}$$

de “ u ” la distancia del punto de aplicación de esfuerzo en la extremidad del pilote, se puede obtener la longitud ficticia (Figura 21).



Resulta muy esclarecedor como podían resolverse de una manera elegante y relativamente sencilla un problema que para nuestros egresados de hoy resultaría imposible de abordar sin el auxilio de computadoras y programas sofisticados y 55 años antes que Terzaghi (1955), presentara su célebre artículo referido al coeficiente de reacción de la subrasante.

Los ingenieros de la época también abordaban problemas de mecánica de rocas, como el ensayo que se ilustra en la Figura 22. Se trata de un ensayo de carga en roca para estimar la necesidad y el eventual dimensionado del apuntalamiento. Se realizó en la mina de Wolframio de la compañía alemana Hansa en el yacimiento de Los Cóndores, San Luis. En esa mina se ocupaban 300 obreros y contaba con una usina de concentración de mineral.



Hacia fines del siglo XIX, el Ferrocarril al Sud, que sale de Bahía Blanca, en la Provincia de Buenos Aires y remonta el valle del río Colorado primero y del río Negro después, ya había extendido sus vías hasta la ciudad de Neuquén, pero no se había construido el puente sobre el río Neuquén que comunica esa ciudad con la actual Cipolletti.

Por tal motivo el cruce se realizaba en forma precaria, con las demoras consiguientes y los problemas durante las catastróficas crecidas.

En 1900, la compañía decidió encarar la construcción de dicho puente. De acuerdo a Krag (1905), se trataba de un puente de 260 metros de largo (Figura 23), con tres tramos de 60 metros y dos tramos de 40 metros, con vigas metálicas de celosía que apoyan sobre pilares de mampostería fundados en el lecho del río mediante dos cilindros de hormigón por cada pila. El estudio de factibilidad y el anteproyecto estuvieron a cargo de ingenieros locales pertenecientes a las oficinas del FFCC del Sud, y el proyecto ejecutivo estuvo confiado a la firma Levese Son & Henderson, Ingenieros Consultores de Londres.



Figura 23: Vista del puente sobre el río Neuquén del FFCC del Sud (Krag, 1904).

Durante la construcción y atendiendo al problema de las crecidas que sistemáticamente afectan a ese río, se estableció lo que hoy llamaríamos un “Sistema de Alerta Temprana”. Aguas arriba de la obra sobre el río Neuquén, frente a la oficina telegráfica de la localidad de Paso de los Indios se colocó un mareógrafo para medir las fluctuaciones del nivel del río. La oficina telegráfica enviaba dos informes diarios con los niveles medidos, lo que otorgaba entre 24 y 36 de horas de tiempo para evacuar la zona inundable. Un sistema similar se estableció aguas arriba del anterior, en Chos Malal, para crecidas extraordinarias, lo que daba 60 horas de preaviso. Gracias a este sistema se logró evitar pérdidas de vidas y equipos durante la crecida extraordinaria de julio de 1900. Este aluvión sólo dañó uno de los cilindros que estaban en construcción que se puede ver en la Figura 24.

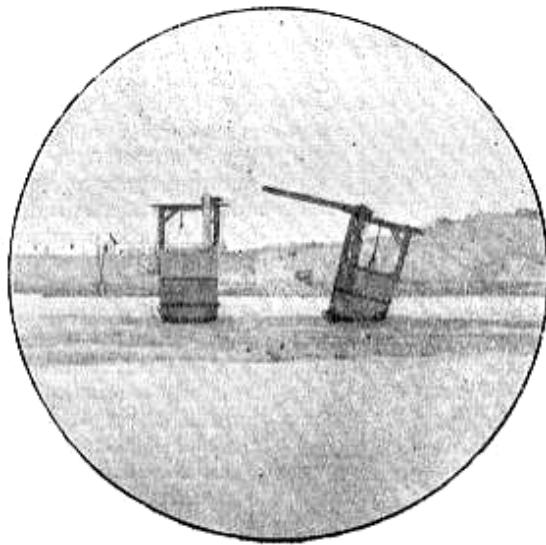


Figura 24: Cilindro dañado (a la derecha) durante la crecida de julio de 1900 (Krag, 1904).

El perfil geotécnico está constituido por un manto superficial de gravas arenosas y rodados con lentes de rodados y bloques de gran tamaño. Este manto superficial descansa sobre el conglomerado que aflora en las barrancas del río y que es conocido en la zona como cemento indio. En este material se apoyaron las cimentaciones. Por tal motivo la

excavación de las fundaciones de las pilas centrales se efectuó mediante cilindros metálicos de 3.5 metros de diámetro, con aire comprimido en su interior. Se apoyaba el cilindro, con su esclusa superior, sobre el suelo desde un puente provisorio mediante una grúa (Figura 25) y comenzaba el descenso del mismo a medida que se excavaba en su interior. Cuando se penetraba por debajo del nivel de agua se insuflaba aire comprimido en el interior con una presión superior a la del agua externa. Esta técnica ya utilizada en Europa y Estados Unidos, se empleaba por primera vez en Argentina. Los estribos en cambio se construyeron mediante cajones de hormigón sin tapa, descendidos a medida que se excavaba en su interior.

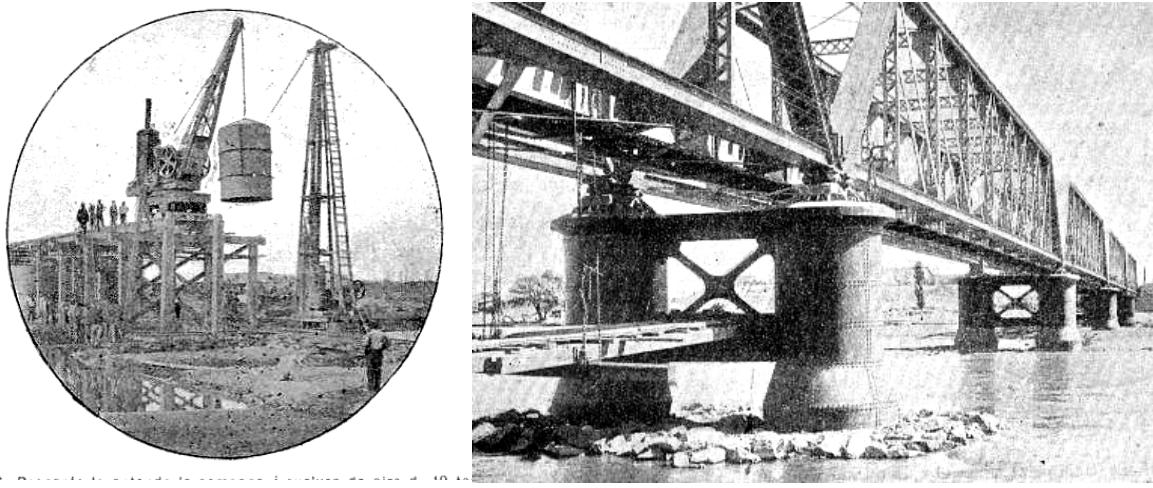


Figura 25: (a) Colocación de un cilindro de fundación desde el puente provisorio; (b) dos cilindros terminados (Krag, 1904).

Durante la colocación del primer cilindro se calculó la resistencia friccional a medida que atravesaba el manto granular, con un método por demás ingenioso. Llegado el cilindro a una determinada cota se excavaba una profundidad y para que el cilindro descienda por su peso, se dejaba salir el aire comprimido de su interior. De ese modo se media la presión interior mediante un manómetro y la magnitud que descendía el cilindro. Planteando el equilibrio entre peso propio (P) y presión interior (p) por el área normal (Ω_{normal}) más la fricción (f) por área lateral (Ω_{lat}) \Rightarrow

$$(P = p \cdot \Omega_{normal} + f \cdot \Omega_{lat} \Rightarrow f = \frac{P - p \cdot \Omega_{normal}}{\Omega_{lat}}), \text{ y asumiendo que la fricción en estos materiales crece}$$

linealmente con la profundidad, se obtuvo una fricción máxima de 32.6 KPa. Este es un valor muy similar al que se adoptaría actualmente para diseñar estas fundaciones. Esto permitió estimar que para descender los cilindros más de cinco metros, sería necesario agregar un peso adicional muy grande. Por ello se adoptó la técnica de disminuir el confinamiento del suelo lateral mediante voladuras controladas, con cargas colocadas en el perímetro de la cuchilla inferior del cilindro. Cuando se llegaba al material cementado inferior se acuñaba el cilindro y se continuaba excavando sin entibado y una vez alcanzada la cota de fundación se retiraban las cuñas se descendía el cilindro y se colaba hormigón en su interior. Este puente se encuentra aún hoy en servicio, después de 110 años de uso.

Durante el año 1897 comenzó la construcción del edificio del Congreso de la Nación, pero para el año 1900 los trabajos mostraban una demora notable, como indica Meano (1900). Esta obra monumental consta de Subsuelo, Planta Baja y Tres Pisos Altos, con 9821 m² cubiertos, sin contar escalinatas, ramblas y veredas, la altura de las fachadas es de 24 metros aproximadamente y posee un espacio central cubierto por una cúpula de 20 metros de diámetro que llega a una altura de 82 metros. Toda la estructura es de mampostería incluso la que toma la carga de la cúpula. En la Figura 27 se puede observar una planta del edificio en el año 1900 y el edificio terminado en 1906.

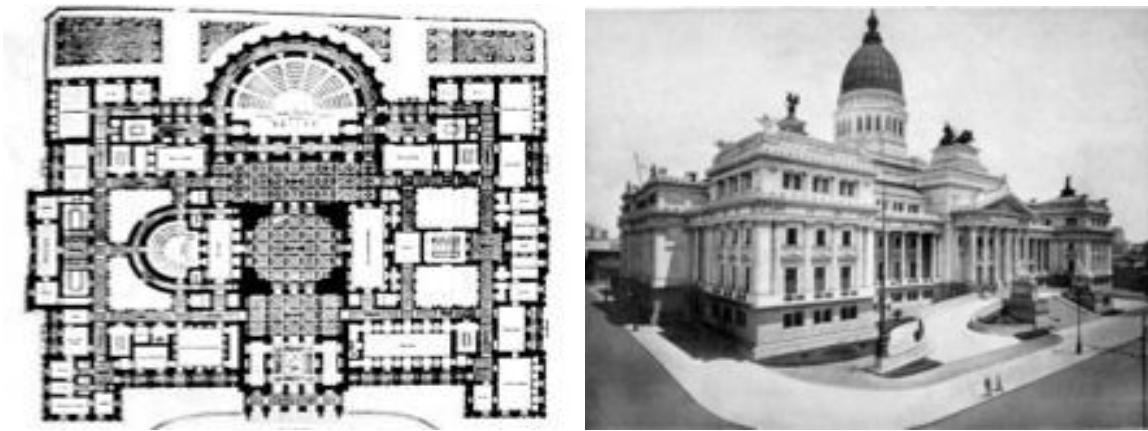


Figura 27: Edificio del congreso nacional (Meano, 1900).

Los atrasos en la obra se debieron fundamentalmente a problemas geotécnicos detectados durante la construcción de las fundaciones. Para la fundación de los muros de cierre del edificio se habían proyectado zapatas corridas a una profundidad de -2.00 metros, pero al llegar a esa cota se encontró un suelo que no poseía las condiciones adecuadas para tomar la carga de los muros revestidos con piedra del edificio. Recién a -5.00 metros de profundidad se encontró suelo apto para ese tenor de cargas. Pero el problema más significativo se detectó en el sector de fundación de la cúpula circular. De acuerdo a los estudios previos se había determinado que la cota de fundación se encontraba a 10.00 metros de profundidad. En esa convicción se realizó una excavación de 650 m² por 10.00 metros de profundidad. A esa cota se realizaron ensayos de carga directa y se pudo comprobar que el suelo no podía tomar la carga prevista. Se hicieron dos ensayos sobre una plataforma de 1.00 m², aplicando sobre ella carga mediante bloques de granito hasta alcanzar una tensión de 400 KPa, que era igual a la tensión producida por el peso de la cúpula. A ese esfuerzo las deformaciones no fueron significativas. Entonces se realizó un segundo ensayo sobre una placa más pequeña cargándola hasta la falla del suelo. En este segundo experimento se comprobó que hasta una tensión de 1000 KPa el suelo no presentaba mayores problemas pero a partir de esa carga las deformaciones crecieron en forma desproporcionada hasta alcanzar unos 36 cm para una tensión de 2240 KPa. Esto fue interpretado por los geotécnicos de la época como que la tensión de fluencia era de aproximadamente 1000 KPa, y siendo la carga de servicio de 400 KPa, el margen de seguridad no era compatible con la magnitud y la importancia de la obra.

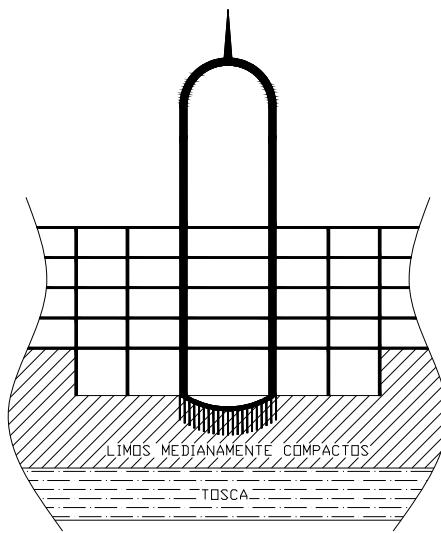


Figura 28: Esquema de fundación de la cúpula del congreso nacional (Esquema del autor)

Se realizaron sondeos adicionales y se determinó que la tosca se encontraba a 20 metros de profundidad, por lo que se optó por un sistema de mejoramiento del suelo por compactación mediante hinca de pilotes. Por ello se efectuó una tercera prueba, previo mejoramiento del suelo. En una zona de dos metros de lado se hincaron con martinete manual y

hasta rechazo, 13 pilotes de madera dura, de 0.20 m de lado y 5.00 metros de largo. Cuatro pilotes en las esquinas, cuatro en el medio de cada lado, uno en el centro y cuatro más en el centro de los espacios intermedios. Estos últimos pilotes formaron un cuadrado de un metro de lado y sobre ellos se colocó una plataforma de hierro. En esta plataforma se acoparon bloques de granito hasta una carga de 650 KN. El mismo autor indica que al llegar a esa carga no se detectó ningún asentamiento notable con lo que se dedujo que el sistema era adecuado, pues se “... consideró más seguro apoyar sobre un suelo compactado en forma homogénea y no sobre la tosca cuyo espesor y homogeneidad son a veces un misterio”.

La fundación de la cúpula se realizó entonces sobre el suelo compactado por medio de pilotes, sobre el que apoya una bóveda invertida. Esta bóveda es de mampostería de granito dentro de un cuenco gigantesco de forma octogonal, con 17 metros de lado y siete metros de profundidad. La Figura 28 muestra un corte esquemático de la fundación de la cúpula central.

REFERENCIAS

- Bessio M. N. (1934). “Elogio del Ingeniero Juan Pirovano”, *Revista La Ingeniería*, No 702, pp. 722-723, Centro Argentino de Ingenieros, Buenos Aires.
- Bodembender, C. (1890). “La cuenca del valle del Río Primero en Córdoba”, Boletín de la Academia Nacional de Ciencias, No 12, 2da entrega, Córdoba, Argentina, 30 pp.
- Carrique, D. (1907). “Puerto del Rosario – Muelle de mampostería”, *Revista La Ingeniería*, No 227, pp. 301-306 y No 228, pp. 317-321. Buenos Aires.
- Castro, V. (1915). “Construcciones de Mampostería-Muros, chimeneas, faros, bóvedas, puentes y fundaciones”, Tomo III, *Fundaciones*, Edición del Centro de Estudiantes de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- Cichero, M. (2002). “Producción y trabajo en la Argentina – Memoria fotográfica, 1860-1960”, Edición de la Universidad Nacional de Quilmes, Argentina.
- Doratioto, F. (2004). “Maldita Guerra – Nueva historia de la guerra del Paraguay”, Editorial Emece, Buenos Aires.
- Farina, A. (1992). “6 de Junio – día de la Ingeniería”, Electroindustria.com, Boletín Digital, No 8, Buenos Aires, Argentina.
- Frias, L. (1984). “Historia del Dique San Roque”, Edición de la Municipalidad de la ciudad de Córdoba, Argentina.
- Huber, N. (1999). “Reseña Histórica del Dique San Roque y Carlos Casaffousth”. Municipalidad de Bialet Massé, Córdoba, Argentina.
- Kirschbaum, R. (2005). “La fotografía en la Historia Argentina”, Tomo I y II, Editorial Clarín, Buenos Aires.
- Krag, C. (1904). “Puente Ferrocarrilero sobre el Río Neuquén”, *Revista La Ingeniería*, No 146, pp. 134-137 y No 151, pp. 188-190. Buenos Aires.
- Kronfus, J. (1920). “Arquitectura Colonial en la Argentina”, Editorial ERA, Córdoba, Argentina.
- Luna, F. (2006). “Revoluciones”, Editorial Planeta, Buenos Aires.
- Lusardi de Capela, D. (2002). “Carlos Casaffousth en la Universidad de Córdoba”, Jornadas de Historia en la UNC, publicación digital, Córdoba, Argentina.
- Meano, V. (1900). “Palacio del Congreso Nacional”, *Revista La Ingeniería*, No 50-51, pp. 677-684. Buenos Aires.
- Outes, F. (1928). “Informe sobre la estabilidad del Dique San Roque. Imprenta Lagos”, Buenos Aires.
- Pirovano, J. (1876). “Fundaciones”, Tesis para optar al grado de Ingeniero, Facultad de Matemáticas de Buenos Aires, Imprenta Coni, Buenos Aires.
- Ponte, R. (2006). “Historia del regadío: Las acequias de Mendoza, Argentina”, Scripta Nova, Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales, Vol. X, No 218, Barcelona, España.
- Reyna, S., et al. (2005). “Conservación de los tajamares de las estancias jesuíticas de Alta Gracia y Santa Catalina, patrimonio de la humanidad: Estudios hidrológicos, hidráulicos, estructurales y ambientales”, Congreso Internacional de Rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico y Edificación, Alta Gracia, Argentina.
- Schnack, B. (1914). “Obras complementarias del puerto de la Capital”, *Revista La Ingeniería*, No 375, pp. 1-12. Buenos Aires.
- Soulages, E. (1899). “Cálculos Justificativos del Proyecto de Muelle de Madera para Puerto del Rosario”, *Revista La Ingeniería*, No 33, pp. 479-483, Buenos Aires.