

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000304011

EL CEMENTO ARMADO

EN LA

REPÚBLICA ARGENTINA

DEPÓSITO PARA AGUA FILTRADA EN TUCUMÁN

CONFERENCIA DADA EN EL «CENTRO NACIONAL DE INGENIEROS»
Y PUBLICADA EN LOS NÚMEROS 21 Y 22
DE «LA INGENIERIA» DE 15 Y 30 DE NOVIEMBRE DE 1903

POR

CARLOS WAUTERS

INGENIERO CIVIL

DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO DE OBRAS PÚBLICAS
Y
SUPERINTENDENTE DEL DEPARTAMENTO DE IRRIGACIÓN

F. N. 26758



BUENOS AIRES

IMPRENTA DE LA FÁBRICA «LA SIN BOMBO»

1065 - SARANDÍ - 1099

1904



III 34000

Akc. Nr. 5210/51

El cemento armado en la República Argentina

DEPÓSITO PARA AGUA FILTRADA EN TUCUMÁN

I.—CONSIDERACIONES GENERALES

No es esta la oportunidad ni es tampoco nuestro propósito, hacer un estudio teórico para establecer las ventajas ó inconvenientes que pueda presentar el empleo del cemento armado en las construcciones civiles, comparando este material de construcción con los más comunmente usados, la madera, el hierro, el acero ó la mampostería ordinaria.

Aún cuando las primeras aplicaciones del cemento armado se hacen remontar á mediados del siglo pasado, solo se trataba entonces de ensayos sin mayores alcances; de tal modo que propiamente hablando, recién desde 20 años á esta parte puede notarse la difusión de este elemento constructivo que ha asegurado al cemento armado un lugar predominante entre los materiales de construcción, de aplicaciones cada día más ámplias, y no tan

sólo por parte de los ingenieros en las obras civiles, sinó por parte de los arquitectos en las obras de edificación corriente.

No obstante ser tan corta la vida del cemento armado, existe ya una literatura completa á su respecto en cuanto se relaciona á la descripción de las obras ejecutadas, así como también á los procedimientos y métodos de cálculo para la fijación de las dimensiones más apropiadas para las diferentes piezas que las constituyen.

Más aún, con el cemento armado sucede lo que no ha pasado con ningún otro material de construcción: un asombroso desarrollo en el estudio de sus condiciones constructivas y propiedades mecánicas, que experimentadores competentes persiguen con interés y que por lo pronto, en un período limitadísimo de años, han hecho desaparecer las incertidumbres y dudas de los primeros momentos facilitando los cálculos de resistencia, de tal modo que hoy pueden ya determinarse las dimensiones precisas de las piezas de una construcción cualquiera, con una aproximación comparable á la que permiten los métodos aplicados á las construcciones metálicas.

En Europa el cemento armado ha entrado resueltamente á competir con las construcciones metálicas y de fábrica: Austria en primera línea, Alemania, Bélgica, Francia, Inglaterra, etc., generalizan su empleo sin restricción; y la exposición universal celebrada en 1900 en París, ha afianzado su predominio como medio constructivo: ha permitido la ejecución de obras livianas y atrevidas, conservando en su aspecto general el carácter imponente que inspira la confianza en su solidez.

Cierto es que ha contribuido á acentuar en gran parte este progreso rápido, la circunstancia de no haberse experimentado accidentes graves en las construcciones hechas, ó mejor dicho, que inmediatamente de producidos han podido determinarse con toda precisión las causas que los producían, ajenas por completo al sistema constructivo en sí é imputables únicamente á errores de la práctica misma del sistema, lo que no ha sucedido en otras especialidades. En efecto, recordemos por ejemplo, lo que ha pasado en Europa con los puentes colgantes ó suspendidos: á principios del siglo pasado se generalizaron rápidamente para caer, después de algunos accidentes, en un período completo de descrédito, mientras en Norte América, modificando los procedimientos de construcción, mejorando las disposiciones, etc., se levantaban obras gigantescas y atrevidas que llaman la atención, como los grandes puentes de Brooklyn, Niágara, East River en Nueva York, etc.; hasta que en los últimos años, estudiando en Europa nuevamente el problema, se ha visto que no se trataba de vicios inherentes al sistema sinó de errores en las disposiciones.

Muchos inconvenientes se han opuesto al cemento armado; pero todo el que sigue de cerca las publicaciones que á su respecto se hacen diariamente, tiene que convencerse que los ensayos experimentales á que se le somete, vienen demostrando la inconsistencia de los mismos, ofreciendo en cambio elementos nuevos para asegurarle mayores ventajas constructivas y económicas.

En la República Argentina el cemento armado data de ayer: basta recordar, para demostrarlo, que

recien se ha introducido oficialmente su enseñanza en los institutos profesionales superiores en el año corriente, formando parte desde ahora del programa de Construcciones Civiles que se dicta en la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires.

En el campo de las aplicaciones poco se ha hecho aún, y el mayor número de ellas se refieren á obras más de carácter edilicio que civil, en el sentido estricto de la palabra, siendo arquitectos los profesionales que lo han aplicado en elementos constructivos aislados, en pisos, tabiques, techos, etc. Los pocos ingenieros que se han ocupado del cemento armado lo han hecho en su caracter de arquitectos más bien, esto es en obras de edificación, como por ejemplo para depósitos de muebles de la empresa Expreso Villalonga en Buenos Aires y aún en estos suprimiendo las paredes de frente, medianeras y fondo que son en albañilería común; para edificios en el Puerto Militar de Bahía Blanca destinados al alojamiento de oficiales, maestranza, etc.; fundaciones para el molino y graneros del Río de la Plata y elevadores de granos en el Puerto Madero, y algunas otras aplicaciones edilicias de menor importancia.

En el más amplio campo de las obras civiles, públicas ó privadas, nada se ha hecho; y por esta razón la construcción del depósito para agua filtrada para el servicio de dotación á la población de la ciudad de Tucumán, ha llamado justamente la atención de los profesionales que han tenido oportunidad de visitarlo, y las noticias descriptivas someras que la prensa diaria metropolitana

ha dado del mismo, han despertado el interés de los entendidos, aún en Europa; los pedidos insistentes de algunos redactores de revistas extranjeras y de algunos colegas argentinos nos han decidido á hacer conocer los antecedentes que nos han inducido á afrontar la construcción indicada, contribuyendo en la modesta esfera de nuestra acción personal, á despertar el interés que á nuestro juicio debe merecer de los ingenieros argentinos el cemento armado, como recurso constructivo esencialmente apropiado á las necesidades del interior de la República, bajo el doble punto de vista utilitario y económico.

Todo está aún por hacerse en el país, porque relativamente representan poco los esfuerzos hechos en materia de obras públicas con respecto á lo mucho que en lo futuro exigirá nuestro progreso material, como base indispensable para nuestro desenvolvimiento general; y si se piensa que, según lo asevera el Excmo. Sr. Ministro de Obras Públicas de la Nación, Dr. Civit, en su segunda memoria anual al H. Congreso, se han gastado próximamente mil millones de pesos en un periodo de 40 años, en su mayor parte años de reducidas exigencias puesto que éstas deben ir aumentando diariamente, corresponde estudiar, al ingeniero más especialmente, el medio de sacar un provecho intensivo de los nuevos gastos á efectuar, puesto que de los hechos ya solo cabe su estudio crítico para analizar los errores cometidos y buscar los medios de no volver á incurrir en ellos.

No entraremos en este interesante estudio que debe hacer la ingeniería argentina: todo el que ha-

ya recorrido el país examinando atentamente sus obras públicas, conoce cuántas son las que se han ejecutado sin los reconocimientos y estudios completos previos necesarios, cuántos ferrocarriles se han trazado sin otro propósito que aumentar el número de kilómetros de vía tendida, cuántos viaductos, túneles y puentes son inútiles ó de dimensiones exageradas, establecidos sin gran examen previo, y buscando únicamente la colocación del mayor número posible de toneladas de fierro ó acero. La reacción se impone, y el país que cuenta ya con un selecto cuerpo de ingenieros nacionales, debe procurar evitar esos errores y sus autoridades facilitar al ingeniero los medios de ensayar procedimientos constructivos nuevos, que permitan fijar rumbos á nuestra ingeniería, fundando escuela propia y característica como la tienen todas las naciones más adelantadas, escuela que responda á las condiciones locales y permita la adaptación de los métodos extraños á nuestras propias necesidades.

En este concepto es digna de atención la actitud del actual gobierno de Tucumán, que ha prestado su más decidido apoyo á nuestros propósitos, haciendo posible la ejecución de una obra que por sus proporciones ha venido á señalar un paso atrevido en la especialidad del cemento armado.

En efecto, no basta al ingeniero en un país nuevo como el nuestro, conocer teóricamente su ciencia ó arte, saber calcular la estabilidad de sus obras y asegurarles una solidez suficiente: es indispensable además, que proceda en todos sus actos de profesional con buen sentido, ese sentido que muchos

han dado en llamar sentido común, y precisamente porque tiene que ser bueno es poco común, y sólo se adquiere con la práctica diaria y la experiencia propia, única capaz de producir buenos resultados, porque la ajena parece siempre despreciable, ó por lo menos poco digna de atención y estudio.

Ese buen sentido es precisamente el que debe inspirarnos y ayudarnos á reaccionar contra ese cómodo sistema de adoptar sin reservas cualquier método, cualquier tipo de construcción, sin estudiar previamente si se amolda ó no á nuestro ambiente.

Nadie ignora, por ejemplo, que si tenemos en nuestra red de ferrocarriles una trocha ancha es debido á un error ó circunstancia casual: un material destinado á Rusia, por equivocación llegó á la República Argentina; y la crónica no dice si el material que debía venir aquí no fué á Rusia á imponer allí otra trocha distinta que la conveniente.

Las concesiones de ferrocarriles fueron otorgadas, ó fueron á parar en manos de ingleses en su mayor parte, y su país, productor por excelencia en metales elaborados, encontró aquí un mercado de consumo importante: hasta las traviesas ó durmientes para asegurar la vía se querían hacer y se hicieron en muchas líneas de acero, de copas, etc.! Teníamos, sin embargo, á mano el quebracho colorado, incomparablemente superior, y cuyas propiedades conocidas hoy le han hecho ocupar un lugar predominante para ese uso aún en Europa.

Cierto es que la metalurgia es hoy una ciencia, y que los procedimientos perfeccionados de elaboración han permitido obtener productos más homo-

géneos, que sometidos á ensayos de laboratorio han hecho posible el conocimiento más completo de sus propiedades mecánicas, la reducción de los coeficientes de seguridad aplicados al cálculo de las dimensiones de las diferentes piezas de una obra cualquiera, y por consiguiente un mayor grado de atrevimiento en el proyecto de construcciones elegantes y sólidas á la vez, que no hubieran podido ejecutarse con las albañilerías ordinarias. Pero ni esas ventajas hemos aprovechado en el país, ni siquiera se ha buscado el empleo de puentes más satisfactorios bajo el punto de vista teórico, pero también más livianos y económicos por consiguiente: sólo vemos puentes ingleses pesados y muy pesados.

Las construcciones metálicas tienen, por otra parte, en su contra un terrible enemigo cuyos desastrosos efectos han dado ya por el suelo con muchas obras; la oxidación es en efecto imposible de evitar, porque si con capas protectoras de pinturas diversas, renovadas con frecuencia, puede evitarse en parte ó atenuarse su acción destructora, sólo es posible en las partes visibles, pero no en las juntas, ensambladuras ó nudos, en que la oxidación se produce como en cualquier otra parte de la obra y aumenta sin indicios exteriores, hasta debilitar las piezas unidas, de tal modo que no pueden ya prestar el trabajo que su destino en la obra les asigna.

En las obras ejecutadas en nuestro territorio no ha sido necesario apelar á las construcciones metálicas para sacar de ellas las ventajas de que son susceptibles, cuando se trata de grandes luces, de arcos notables, puentes colgantes, ú otras á que no se prestan los otros materiales; las obras

ejecutadas son obras corrientes, sin caracter predominante alguno que imponga ineludiblemente su uso, y por consiguiente sin recurrir á materiales extraños al país hubieran podido ejecutarse, dejando los capitales que representan, en su mayor parte por lo menos, en el mismo.

En caso de obras especiales y en que hoy los perfeccionamientos en los métodos de cálculo, que no se limitan á resolver el problema de la estabilidad considerando únicamente los esfuerzos principales desarrollados por el sistema de fuerzas exteriores, sinó entrando al estudio de las deformaciones y determinación muy aproximada de los esfuerzos secundarios, permiten una solución satisfactoria, nos explicaríamos la preferencia concedida á las construcciones metálicas aún con los inconvenientes de otro orden que presentan. Pero en obras corrientes y comunes, pensamos que debe desecharse su empleo siempre que sea posible.

Ahora si la mampostería no es susceptible de trabajo á tensión, y es indispensable apelar al hierro ó al acero, claro está que convendría aquella construcción en que su cantidad pueda reducirse á un mínimo. Es precisamente lo que pasa con el cemento armado: el hierro ó acero dulce entra en su composición en una proporción mínima, en barras ó piezas perfiladas comerciales de uso corriente y por esto mismo de menor precio, ligadas con alambres, sin remachaduras ó uniones costosas, y envueltas en una masa de hormigón ó concreto en que predomina la arena ó gravilla que se encuentra en todas partes en la República y de condiciones inmejorables.

Así solo queda como material extraño al país y de importación, el cemento Portland que sin embargo se ocupa en pequeña cantidad en obras comunes que no tienen el carácter de obras hidráulicas.

Mas aún, estamos convencidos que si se generalizasen las construcciones en cemento armado y se aumentara el consumo del cemento hidráulico, no tardaría en establecerse una usina bien montada, que explotando los yacimientos naturales que abundan en nuestro territorio, los sometieran á una elaboración completa y tan perfecta como en Europa, usina que después de acreditar sus productos proporcionaría á precio reducido cementos artificiales tan aceptables como los similares extranjeros.

La arena y gravilla se encuentran mucho más esparcidas que la buena piedra de construcción ó la tierra apropiada para la fabricación de ladrillos, y entonces hubiéramos hallado un sistema de construcción apropiado especialmente á nuestras necesidades. Pero son las administraciones públicas las que deben resolver estos problemas de interés general, y no dejar librada su solución á la acción privada.

No se crea sin embargo, que consideramos al cemento armado apto para todo género de construcciones; al contrario, no lo recomendaríamos para la edificación, sinó en accesorios como pisos, tabiques, etc., como se aplica en Europa, sinó en construcciones de carácter civil, y pesando en cada caso las condiciones locales en pro y en contra, como lo hemos hecho al proyectar el depósito para agua filtrada de Tucumán. Sólo una excepción ha-

riamos para localidades sujetas á movimientos seísmicos como Mendoza, San Juan y otras ciudades, buscando un tipo de construcción apropiado que evite los inconvenientes que á nuestro juicio presenta el cemento armado aplicado á la edificación, y que indicaremos someramente al hablar de la casilla de maniobras anexa al depósito que describimos, y aprovechando en cambio las propiedades elásticas de la construcción.

La asociación del metal y del hormigón asegura un producto realmente notable: las propiedades de ambos materiales se complementan de tal modo, que propiamente hablando puede decirse que se suman las ventajas constructivas de ambos, anulándose en gran parte sus inconvenientes respectivos; y con esta rara condición, de que entrando á trabajar uno de los materiales componentes no se afectan en lo más mínimo las cualidades del otro, ni se atenúan ó amortiguan sus propiedades. Así el metal hace posible el trabajo á tracción del nuevo material, y el hormigón su trabajo á compresión, y siendo prácticamente iguales los coeficientes de dilatación de los dos elementos componentes, no hay peligro que por variaciones de temperatura desaparezca el íntimo contacto entre ambos materiales; el metal protegido por el hormigón no está ya expuesto á la acción de los agentes atmosféricos, y la oxidación no le privará ya con el transcurso de los años de las propiedades que le hacen útil, y por el contrario el óxido de hierro que recubre al metal al momento de emplearse, desaparece al poco tiempo reducido por el mismo cemento que está á su lado; los esfuerzos secundarios tan

importantes en algunas construcciones metálicas no se desarrollan yá, pues el aumento de masa ó peso muerto hace imposible las vibraciones, que repetidas contribuyen á alterar la estructura molecular interna del metal, modificando con el tiempo sus propiedades mecánicas; el fuego, en casos de incendios por ejemplo, no alcanza ya al metal protegido eficazmente por el hormigón que no sufre por su acción; el agua ó la humedad no afectan al metal, siempre que para casos semejantes se tomen especiales precauciones en la composición del hormigón; y así señalaríamos tantos hechos que van comprobándose con la experiencia diaria de estas aplicaciones.

II. — ANTECEDENTES

Dadas estas consideraciones de orden general, y siguiendo el método que acabamos de señalar para proceder con ese buen sentido que invocamos al principio, señalaremos las circunstancias especiales que nos llevaron á elegir el cemento armado para la construcción del depósito de agua filtrada de Tucumán.

Ante todo, hagamos notar que el establecimiento de filtros y depósitos para la provisión de esta ciudad, se encuentra situado entre los kilómetros 3 y 4 de la línea del F. C. C. N., sección Norte, donde existe doble vía, por cuanto se encuentra allí el desvío establecido para asegurar el empalme de esta sección con la del Sur, antes ferrocarril á San Cristóbal, de modo que el intercambio de productos entre ambas líneas asegura un tráfico abundante; el establecimiento está contiguo á la vía, que además se presenta frente al mismo con una fuerte rampa, de modo que siendo todo el terreno de tosca dura, el paso de trenes pesados produce trepidaciones sensibles; y si bien no hemos medido por dificultades materiales de la operación la amplitud de las oscilaciones que producen aquellas, se sienten facilmente y á tal punto, que algunos han querido atribuir á esta circunstancia los defectos sufridos por todas las construcciones ejecutadas anteriormente.

En efecto, el hecho de haberse producido rajaduras en todas las construcciones, demuestra que debe buscarse su causa en un fenómeno general; pero hay otros varios que en el caso pueden explicar los desperfectos señalados.

El terreno de fundación es una tosca dura formada de margas abigarradas consistente en seco, pero que bajo la acción del agua se pone plástica y pierde por completo sus propiedades de resistencia á la compresión, de modo que si ese terreno puede aceptarse como bueno para obras comunes, no sucede lo mismo cuando por su carácter hidráulico pueden dar lugar á filtraciones que modifican por completo su naturaleza. Hemos comprobado experimentalmente que por varias causas esas filtraciones se producían, y entonces en todas las construcciones se realizaba el estado de cosas que acabamos de analizar: la causa es general á todas las construcciones del establecimiento y los efectos han sido iguales en todas.

Hay sin embargo, otras causas generales que han afectado por igual todos los edificios: materiales pésimos y malísima obra de mano. Los ladrillos son muy porosos é irregulares haciendo necesarias juntas desiguales, en que se ha usado una mezcla con cal común que las aguas de las abundantes infiltraciones han desalojado, y decimos desalojado porque no es creíble que al tiempo de la construcción se haya colocado arena casi pura, como lo han demostrado el estado de las albañilerías en varios agujeros que hemos practicado.

En el caso especial del depósito de mampostería anteriormente ejecutado y en que las rajaduras ad-

quieren diariamente un carácter alarmante, no son sólo aquellas las causas de los desperfectos. Hechos los cálculos de estabilidad de las bóvedas empleadas, que darán lugar á una memoria interesante, se ha comprobado que hay allí un defecto de proyecto que ha obligado á reducir su capacidad útil en un 50 %, no siendo esto bastante para evitar las rajaduras que en todas direcciones presenta el edificio, y siguen aumentando no obstante esa precaución.

Pero si esta falta de estabilidad podía ser como debe serlo, la causa originaria de los desperfectos producidos, no es menos cierto que en las demás no la había y sin embargo se habían producido rajaduras análogas, aún que no de tanta importancia.

Resuelta la construcción de un nuevo depósito para 5000 m^3 de capacidad, era necesario tomar muy en cuenta estas circunstancias y como dadas las diferentes causas que acabamos de señalar, todas concurrentes, no era posible determinar entre ellas la predominante y originaria, había prudentemente que proyectar un tipo de construcción que las evitara todas.

Recordemos además que en el depósito construido se había gastado \$ $\frac{m}{n}$ 20 por metro cúbico de capacidad calculada, esto es, \$ $\frac{m}{n}$ 40 por metro cúbico de capacidad útil, por efecto de la reducción en un 50 % que señalamos antes, impuesta por los desperfectos producidos.

Era pues necesario proyectar una obra impermeable, no sólo para evitar las pérdidas de agua, sino la alteración de las condiciones de resis-

cia del subsuelo; y elástica, no tan solo para eliminar la acción destructora posible de las trepidaciones, sino para que en caso de filtraciones en el subsuelo, se impidiera el asiento de una parte de la construcción y las rajaduras consiguientes.

La construcción metálica no era aceptable: prescindiendo de la faz económica, la necesidad de conservar el agua á una temperatura más baja que la del ambiente de verano en este clima tropical, obligaba á cubrirlo. Las alternativas de carga, humedad y seca, hubieran dado á los agentes atmosféricos oportunidad propicia para desarrollar una activa oxidación, que se produce en todos los tanque metálicos: allí están los grandes depósitos distribuidores de las Obras de Salubridad de la Capital, que á pesar de su corta existencia están de mostrando la exactitud de la observación que hacemos.

Eliminada la construcción metálica correspondía estudiar la conveniencia de la mampostería ordinaria. Como no hay en Tucumán ladrillos prensados y su transporte desde Buenos Aires hubiera representado un enorme gasto, se imponía usar mezclas y revoques cementicios que aseguraran la impermeabilidad de la mampostería. En este orden de ideas proyectamos un depósito rectangular cubierto, enterrado en las dos terceras partes de su altura para reemplazar los muros de contención de las paredes con muros de revestimiento, con pilares intermedios para el empotramiento de arcos destinados á soportar la sobrecarga de los techos. Hecho el presupuesto asegurando al cemento Portland la liberación de los derechos de aduana y su

transporte con fletes reducidos, llegamos así mismo á un precio medio de \$ $\frac{m}{n}$ 18,00 por metro cúbico de capacidad útil, esto es el precio medio corriente según hemos podido deducirlo de los proyectos formulados para varias capitales de provincia por la administración de las Obras de Salubridad de la Capital.

La construcción en mampostería no eliminaba una de las causas posibles de deterioro: las trepidaciones del suelo podían con el tiempo producir hendiduras que llegando á afectar los revoques hubieran permitido la infiltración; é iniciada esta acción el subsuelo se hubiera encontrado muy pronto en las mismas condiciones que en las construcciones actuales.

Estaba indicado el empleo del cemento armado, que no solo presenta una elasticidad suficiente para anular los efectos de semejantes trepidaciones, sino que asegura una solidaridad completa á la construcción, haciendo imposible las deformaciones ó hundimientos locales, como lo prueba en una forma concluyente el accidente ocurrido al depósito de Llanes en España, de 900 m^3 de capacidad y considerado hasta hace poco una de las más importantes obras construídas allí en cemento armado.

Para el éxito de obras de este género, es indispensable satisfacer varias condiciones:

- 1.º Establecer las disposiciones de conjunto y fijar las dimensiones de las diferentes partes de la construcción, adoptando un fuerte coeficiente de seguridad para compensar, nó las teorías ó hipótesis que sirven de base á los cálculos de resistencia, sinó para compensar los errores á que podía involuntaria-

mente llevarnos una primera aplicación en el país; pues en efecto, siendo precisamente en depósitos ó tanques donde se cuentan las más antiguas y frecuentes aplicaciones del cemento armado, se ha llegado á formular métodos y aplicar coeficientes que han merecido yá la consagración de la experiencia;

2.º Disponer de un personal idóneo y competente, pues la obra de mano debe ser esmerada no sólo en cuanto se refiere á la interpretación exacta de las disposiciones del proyecto, sino en la preparación de las mezclas, su colocación para asegurar un contacto perfecto del cemento con el hierro aún en las uniones más pequeñas, para ligar los rellenos de días sucesivos de trabajo que aseguren la homogeneidad y continuidad del conjunto, para el éxito de los revoques interiores que deben asegurar la impermeabilidad de las paredes, etc.

En este sentido faltando el personal idóneo, solo nos quedaba el recurso de asegurarnos el concurso inteligente de un empresario entendido, y así se explica que nos hayamos dirigido al Sr. Julio Traverse, cuya competencia al respecto acreditaba la circunstancia de haber trabajado y estudiado el sistema en Europa bajo la dirección de empresarios conocidos, y el hecho de haber ejecutado yá algunas obras, de menor importancia es cierto, pero con resultados satisfactorios. Ha conseguido formar un plantel de buenos obreros y su decidida cooperación para el éxito de esta obra, nos ha permitido llevar á feliz término su ejecución.

3.º Reunir materiales de primera clase, todos ellos sin dificultad en nuestro caso, puesto que la arena y gravilla que dependen más particularmente de las

condiciones locales resultaban inmejorables; el cemento y acero han sido elejidos de las mejores marcas é introduciéndolos libres de impuesto de aduana, haciéndose su transporte á pié de obra con las rebajas en los fletes ferroviarios que aseguran las leyes de concesión de las empresas respectivas para el transporte de materiales destinados á obras públicas; y

4.º Asegurar una inspección permanente en la obra, capaz de hacer cumplir el contrato formulado, los pliegos de condiciones y especificaciones de la construcción que formaban parte del mismo, y en que nos honramos en hacer constar la acción eficiente del Ingeniero Diego F. Outes, que la tuvo á su cargo durante todo el periodo de trabajo.

El anteproyecto formulado había permitido preveer una economía apreciable haciendo la construcción en cemento armado; y una vez terminada la obra y hecha la liquidación respectiva, ha resultado corresponder un gasto de \$ $\frac{m}{n}$ 13 por metro cúbico de capacidad útil en vez de \$ $\frac{m}{n}$ 18 que resultaba para la construcción en mampostería ordinaria, estableciendo á favor del sistema una economía de 28 %.

III. — DESCRIPCIÓN GENERAL

La lámina n^o 1 indica las disposiciones de conjunto y muestra que se ha situado el depósito en el eje normal á la vía férrea que corresponde á la casilla del guardián, y su centro á una distancia de 60 metros de la cañería maestra á la ciudad.

La forma adoptada es la cilíndrica, pues es la más satisfactoria bajo el doble punto de vista de la resistencia y de la impermeabilidad; sus paredes como para las cañerías trabajan á tracción, lo que no sucede cuando se adopta una forma rectangular, porque entonces las paredes trabajan á flexión, se hace necesario reforzar sus dimensiones y esto sólo se consigue con un aumento de materiales y obra de mano, esto es un mayor costo definitivo por metro cúbico de capacidad útil. Teóricamente la forma más conveniente sería la de un cilindro de altura igual al diámetro de la sección; pero si esta disposición es posible para pequeñas capacidades, no lo es ya para casos como el nuestro en que hemos limitado la altura útil de agua á 5,25 *m.* y el diámetro interior á 36,10 *m.*

El nivel máximo del agua á depósito lleno se ha fijado á la cota 495,65 *m.*, esto es al nivel del verdedero de la cámara medidora que está á la salida del establecimiento de filtros.

Respecto á las disposiciones del depósito en si,

nos ha servido de guía la nota publicada por la «Compagnie Générale des Eaux de Paris», que ha adoptado el cemento armado para varias de las obras ejecutadas por su servicio técnico en los alrededores de la ciudad y en que especifica las condiciones generales á que sujeta sus proyectos de tanques en los términos siguientes que reproducimos en todas sus partes:

«Los diferentes tanques ejecutados desde 1893 tienen capacidades variables de 200 m^3 hasta 4000 m^3 y son unos completamente enterrados, otros semi-enterrados y los últimos en elevación sin terraplen alguno que los recubra.

«En todos los casos han sido calculados del mismo modo, no tomando en cuenta la resistencia del cemento ni el empuje de las tierras en el cálculo de las dimensiones de las piezas metálicas que constituyen la armadura.

«La armadura metálica de las paredes comprende:

1.º Una serie de directrices ó cinturas horizontales, planchuelas equidistantes en el sentido vertical (0,25 *m.* de eje á eje) y cuya sección varía conforme á la ley de las presiones hidrostáticas, aumentando de arriba hacia abajo;

2.º Una serie de generatrices ó montantes verticales, hierros perfilados en U, distantes 3 metros de uno á otro, y que asegurarán la posición relativa de las cinturas horizontales;

3.º Un enrejado de fierros redondos de 6 á 8 *mm.* de diámetro, cruzándose vertical y horizontalmente de modo á formar mallas no mayores de 8 *cm.* de lado, en término medio.

«Esta armadura queda envuelta en un hormigón

ó mortero de cemento Portland (750 *kg.* por m^3 de arena).

«La fórmula aceptada por la Compañía para la determinación de las dimensiones de las cinturas, que forman la parte principal de la armadura, es la siguiente:

$$S = \frac{2}{3} \frac{1.000 \text{ h. l. r.}}{R}$$

en que S es la sección de una planchuela,

h la distancia de la misma al nivel máximo de agua,

r el radio interior del tanque,

l la distancia entre ejes de dos cinturas próximas,

R el coeficiente de resistencia del hierro 10 *kg.* 10^6 por m^2 , y

$\frac{2}{3}$ un coeficiente de reducción puramente empírico y aplicable á los tanques. (*)

«Determinada así la sección de la planchuela, se fijan sus dos dimensiones transversales de modo que la cintura ó planchuela quede perdida en el hormigón, cuyo espesor depende del diámetro del tanque y su altura; para capacidad de 1000 m^3 y altura útil de 5,25 *m.*, el espesor se adopta de 0,08 *m.* arriba y 0,12 *m.* abajo; para otro de 4000 m^3 é igual altura, 0,10 *m.* arriba y 0,18 *m.* abajo.

(*) Fórmula que puede reducirse á

$$S = \frac{P D}{3 R}$$

en que S es la sección en m^2 del hierro,

P la presión que sufre la cintura en *kg.* m^{-2} ,

D diámetro en *m.*,

R como antes,

y que se aplica al cálculo de tuberías sujetas á presión interior.

«La armadura del fondo está formada por planchuelas colocadas radialmente, fijas por una parte á una placa metálica central y por la otra, á los montantes verticales de la pared exterior. Completa este sistema de piezas principales, un enrejado formado por fierros redondos de 6 *mm* de diámetro que se cruzan formando mallas como las de las paredes: el cruzamiento de dos fierros se asegura con una ligadura hecha con alambre.

«Los trabajos se ejecutan en el orden siguiente: se colocan primeramente las cinturas horizontales y los montantes que las ligan entre sí. Estas cinturas son planchuelas curvadas y unidas entre sí con cubrejuntas dobles, bulonadas para depósitos de pequeña capacidad y remachadas para tanques de gran diámetro. Luego se forma la armadura del fondo y después se procede á hacer el enrejado del fondo y paredes.

«Terminada así la armadura completa de la pared, se coloca el molde ó andamio exterior á una distancia conveniente de la misma, y contra ese molde los cimentadores de oficio echan á cuchara la mezcla por capas sucesivas de 3 á 4 centímetros de espesor, empezando por la parte inferior de la pared y atacándola simultáneamente en todo su perímetro, hasta llegar por anillos sucesivos análogos hasta arriba.

«Cuando el cemento ha hecho presa se retira el molde y se ejecutan entonces los revoques exteriores é interiores.

«Se procede luego á la ejecución del fondo y á la unión del mismo con las paredes, cuidando especialmente esa parte delicada de la obra.

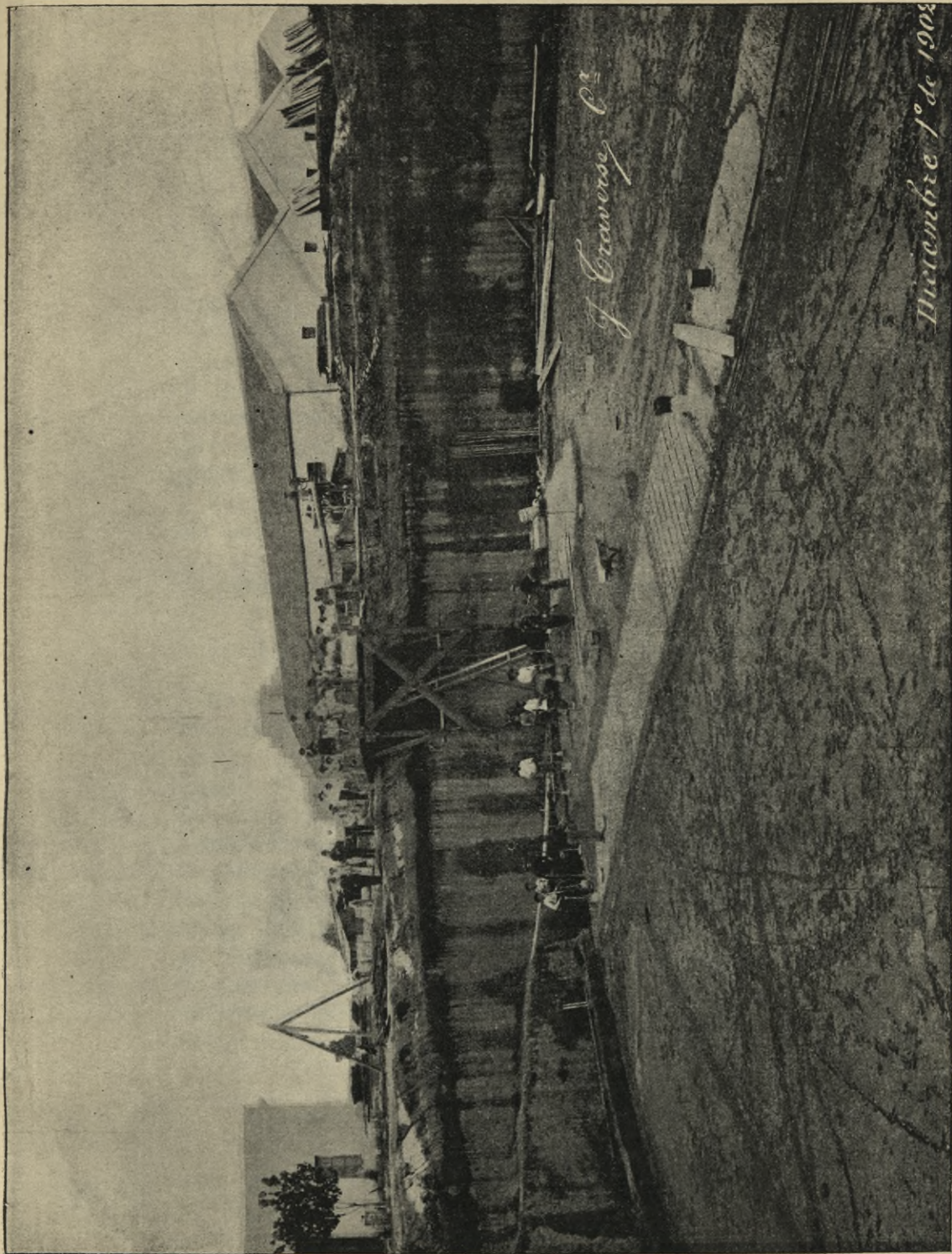
«Los techos, del tipo que hemos elegido, se componen de uno ó varios anillos circulares ó toros á sección circular y una cúpula central ó segmento esférico. Descansan sobre vigas armadas circulares concéntricas al depósito que soportan columnas en cemento armado, convenientemente colocadas en el interior del tanque. Su armadura metálica se compone de hierros á *T* simples colocados según la sección recta del toro y un enrejado de hierros redondos que aseguran mallas iguales á las de las paredes y fondo.»

Como se vé, estas disposiciones que ha generalizado M. Chassin, empresario en París, tienen su parecido con el método Monier, que más propiamente es aplicable para pequeñas capacidades en que basta el enrejado formado por hierros redondos, sin necesidad de recurrir á planchuelas ó hierros perfilados, y en que tanto las generatrices como las directrices se hacían con aquellas varillas: así se han ejecutado muchos tanques, pues es esta una de las más antiguas y corrientes aplicaciones del cemento armado.

Estos procedimientos no han podido aplicarse en todas sus partes en nuestro caso, y señalaremos al tratar de cada una de las secciones de la construcción las modificaciones introducidas.

Excavaciones.

Conforme marca la lámina nº 1 y demuestra la fotografía núm. 1, el tanque ha sido enterrado en su mayor parte, exigiendo una excavación circular de 40 metros de diámetro para dejar exteriormente



J. Crawley Co.

Diciembre 1° de 1902

Núm. 1 — Excavación general y galería para cañerías

á las paredes un espacio libre de 1,80 *m.* para la colocación de moldes y andamios, y hacer posibles las maniobras necesarias.

Aún cuando la profundidad de la excavación ha sido variable, en media ha alcanzado á 4,75 *m.*, con un volúmen de 6230 *m*³; la capa superficial de 1,20 *m.* de espesor era de tierra vegetal y se ha reservado para el terraplen sobre los techos del mismo tanque con el propósito de establecer allí un jardín. El resto de la excavación se ha hecho en tosca dura y resistente, de modo que han podido establecerse paredes verticales y sin ningún talud.

La longitud de cañerías colocadas se descompone así:

| | |
|---------------------------------------|------------------|
| Alimentación á la ciudad. | 168,90 <i>m.</i> |
| » del filtro al depósito. | 61,60 » |
| Desagüe y <i>trop plein</i> | 145,65 » |

De su longitud total de 374,15 *m.*, se ha establecido en túneles y galerías 92,90 *m.*, con una escavación de 160 *m*³, de modo que en media la colocación de cañerías ha exigido una escavación de 5 *m*³ por metro lineal.

Si se agregan las escavaciones requeridas para la colocación de cañerías, casilla de maniobras y galería, que importan 1520 *m*³, el total de escavaciones de 7750 *m*³ ha exigido 1480 jornales, esto es un rendimiento por jornal de 10 horas de trabajo de 4,200 *m*³. Las tierras provenientes de las escavaciones se han empleado en regularizar los terrenos próximos con un transporte de 10 á 90 metros,

y se han empleado 56 días en este trabajo, dando tiempo para el acopio de materiales para la construcción.

Galerías y cañerías.

La disposición de cañerías se ha hecho, como indica la lámina nº 1, de modo que el agua de la cámara anexa á los filtros pueda alimentar directamente el depósito de reserva ó pasar directamente á la ciudad sin entrar al mismo, y para economizar caños se ha dispuesto la de alimentación directa á la ciudad de modo que la misma pueda servir para la dotación á la ciudad con el agua del tanque. Del mismo modo el desagüe del depósito, esto es de los últimos metros cúbicos de las napas inferiores cargadas de arenas, impurezas arrastradas por las aguas, que más propiamente aseguran su limpieza de fondo, se ha combinado con el desagüe de seguridad ó *trop plein* en la forma indicada en la misma lámina.

La boca de la cañería de alimentación á la ciudad se ha colocado á la cota 490,50 *m.*, y á 2,50 *m.* de distancia del mismo centro del depósito, en que se ha situado la boca del desagüe á una cota de 490,40 *m.*, esto es á 0,10 *m.* más bajo que aquella, de modo que quede siempre un pequeño volumen de agua para el lavado de fondo; y como todo el piso del tanque se ha dispuesto inclinado hacia el centro con este desnivel desde la pared externa hacia el mismo centro, el desagüe fácil queda asegurado.

Para evitar que por efecto de obstrucciones interiores, para inspeccionar el estado de las cañerías,

arreglar juntas, etc., fuera necesario remover el piso del tanque y hacer luego una reparación en el mismo con sus inconvenientes serios, se ha dispuesto la cañería en una galería de fácil acceso, que debajo del tanque sigue una dirección diametral que marca el plano, y que siendo de 1,50m. de alto por 1,00m. de ancho permite la inspección en todo momento.

Se ha construido de cemento armado para una sobrecarga de agua de 5250 kg. m^{-2} , prescindiendo de la resistencia de la armadura metálica que comprende todo su perímetro y como si se tratara simplemente de un tubo cargado exteriormente; su parte superior afecta la forma de una bóveda de medio punto, las paredes laterales son verticales y el piso horizontal. Las dimensiones adoptadas son sin embargo mayores que las que asigna el cálculo, porque estas hubieran exigido obra de mano más esmerada.

La armadura metálica está formada por hierros redondos ó varillas de 8 mm. de diámetro que sirviendo de directrices verticales van colocadas de 8 en 8 cm. una de otra y en la parte interna; las generatrices van al exterior, están formadas de hierros redondos de 6 mm. de diámetro y colocadas de 7 en 7 cm. En los puntos en que se cruzan se forman ligaduras con alambre de acero dulce, y para facilitar el transporte de las secciones de armaduras así formadas en trozos de 6 metros y su colocación en obra, se agregaron cables diagonales que aseguraban mayor rigidez á la armadura.

La colocación se hizo en la excavación previamente preparada de modo que su pared natural sirviese de molde exterior y al interior se colocaron

tablas de 0,025 *m.* grueso por 0,15 *m.* de ancho convenientemente dispuestas para formar un cajón resistente, asegurando la impermeabilidad de las hendiduras entre tablas pegando longitudinalmente tiras de grueso papel.

La mezcla usada en estado muy líquido con el objeto de que rellenara perfectamente el cajón y asegurara el contacto directo del hierro con el cemento, se preparó con un dosaje de 1 de cemento y 4 $\frac{1}{2}$ de arena mediana bien lavada. Las paredes y piso tienen un espesor de 0,10 *m.* y en cuanto al arco superior se hizo el relleno necesario para ligarlo con el hormigón que forma el disco inferior de todo el depósito: la fotografía n.º 1 señala este estado de la construcción en que solo se emplearon 5 días y en ella se vé además un enrejado de varillas formando mallas de 0,20 *m.* de lado en toda la extensión de la galería para hacer aún más segura la construcción.

La cañería de 0,254 *m.* de diámetro se ha sostenido con columnas de 0,10 *m.* \times 0,10 *m.* de sección, armadas con dos hierros *T* simétricamente dispuestos, dimensiones excesivas para el peso calculado para cada caño lleno de agua. Debajo de las válvulas y caños *T* se han colocado columnas armadas de 0,20 *m.* por 0,20 *m.* y además toda la cañería va sujeta con abrazaderas á las paredes de la galería.

Las juntas que por el espacio reducido no podían hacerse torneadas, se han hecho á junta de plomo y sujetando el trabajo estrictamente al pliego especialmente formulado. Su éxito ha sido completo, pues hechas las pruebas de recepción á carga máxima no se ha notado escape ni pérdida alguna.

Lo mismo ha sucedido con las demás cañerías y

válvulas colocadas en la casilla de maniobras desde donde se domina todo el servicio.

Para poder dar al tanque una altura de agua de 5,25 m. y asegurar el aprovechamiento completo de su capacidad útil fué necesario disponer la cañería de alimentación á la ciudad á un nivel tal que hizo indispensable rebajar la que salía del antiguo depósito, en una longitud de 230,96 m.; y como al construir el nuevo tanque se deseaba hacer posible la alimentación á la red distribuidora de la ciudad sin pasar por el depósito primitivo, se adoptó la disposición que señala el plano, y haciendo el descenso de la cañería maestra algunos metros más arriba del punto de unión. El trabajo se hizo sin interrupción para el servicio de la ciudad colocando en todo el trecho rebajado una cañería auxiliar provisoria.

Así dispuestas las cañerías, cualquier accidente en el primitivo depósito no amenazaría dejar sin agua lo población, puesto que eso hubiera podido suceder desde que la cañería maestra cruza el depósito existente bajo el piso de la galería de servicio establecida entre las bóvedas que lo forman, piso que se está levantando ya exponiendo la referida cañería por efecto del movimiento de las mismas bóvedas.

Piso de hormigón y armadura del mismo.

Todo el fondo de la excavación se ha cubierto de un disco de hormigón de 0,30 m. de espesor, (láminas números 2 y 3,) colocado con todas las reglas del arte establecidas en el pliego de especificaciones que formaba parte del contrato; su composición era: 1 parte en volumen

de cemento hidráulico Boulogne sur Mer, marca Demarle Lonquety, 1 de arena fina, $2\frac{1}{2}$ de arena mediana y $4\frac{1}{2}$ de gravilla.

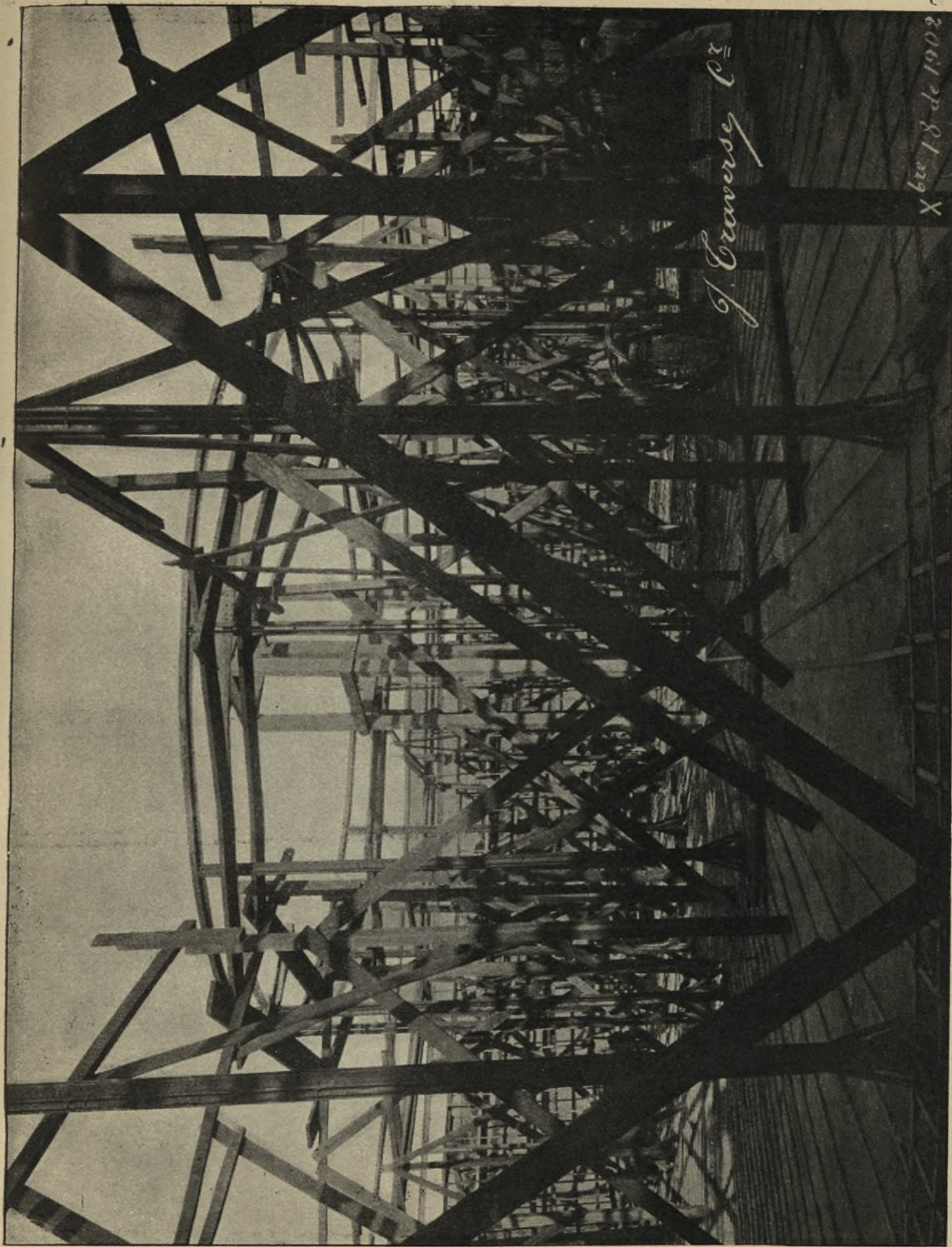
La composición granulométrica de estas arenas era para la fina, grano de menos de 0,5 *mm.*; para la mediana, grano de 0,5 *mm.* á 2 *mm.*; gruesa de 2 á 10 *mm.* y gravilla de 15 *mm.* á 5 *cm.*

En la colocación de este hormigón que empezó el 21 de Noviembre de 1902, sólo se emplearon 460 jornales en 74 horas de trabajo ó sean 8 días, debido á algunas interrupciones por mal estado del tiempo.

Terminado el 28 de Noviembre, el 1º de Diciembre se empezó la colocación de la armadura del piso compuesta de planchuelas que en vez de correr radialmente desde cada montante de la pared vertical hasta la placa central, se interrumpen frente á la primer fila de 24 columnas, cuyas bases asientan sobre dos planchuelas colocadas en circunferencia con centro en el tanque, distante 0,50 *m.* una de otra, y de 38,1 *mm* × 4,8 *mm.* Esta primer serie de planchuelas radiales en número de 228 quedan simplemente enganchadas en la cintura circular interior y bulonadas á la exterior, y en la otra extremidad de unión con el montante un codo permite la ensambladura con el mismo mediante bulones convenientemente colocados.

En la fila interior, las 12 columnas asientan también en dos cinturas concéntricas formadas con planchuelas como las descritas antes; y 114 planchuelas radiales aseguran la armadura y sus uniones extremas son como antes con simples ganchos.

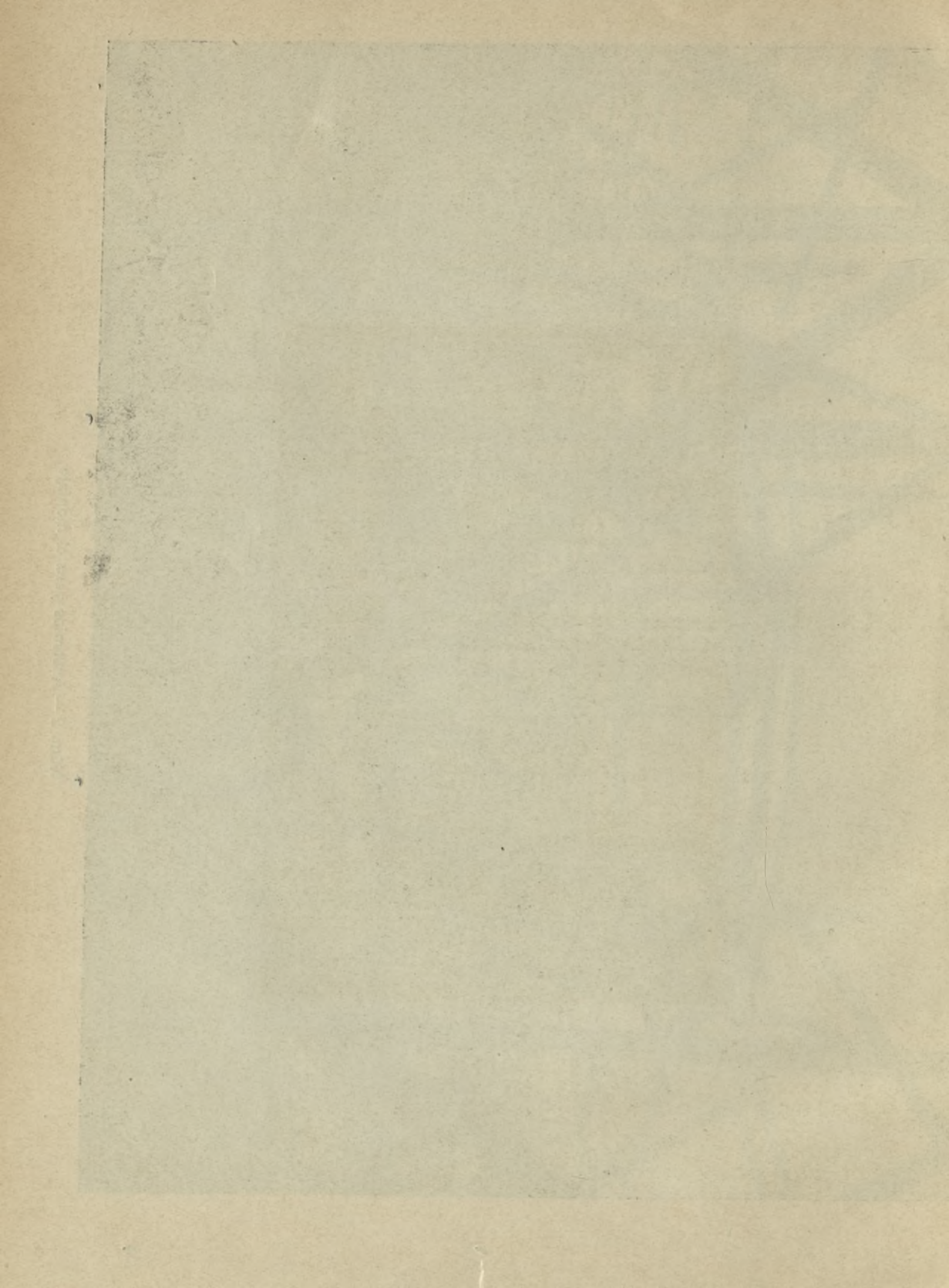
La fotografías núms. 2 y 3 muestran esta dis-



J. Cravensy Co.

Xbre 18 de 1902

Núm. 2 — Andamios para el montaje



posición, y en la número 4 se vé la placa central á la que concurren 57 planchuelas radiales que bulonadas á la placa van por su otro extremo, alternativamente en la cintura externa é interna enganchadas y bulonadas del mismo modo.



Núm. 3 — Base de una columna

Directrices y generatrices de las paredes.

El cálculo de la armadura se ha hecho observando estrictamente las prescripciones impuestas



Núm. 4 — Placa central, alimentación y desagüe

por el servicio técnico de la «Compagnie Générale des Eaux de Paris» en la nota que hemos reproducido; y se ha hecho con precauciones y detalles que aseguran un éxito completo á la obra ejecutada, y en cuanto á las disposiciones corresponden en términos generales á las que ha usado M. Chassin en los dos tanques de 4000 m^3 que ha construido en Châtillon.

La aplicación de las fórmulas indicadas antes al cálculo de las 21 directrices horizontales y tomando el coeficiente de trabajo del hierro de 15 kg. mm^{-2} , nos ha permitido formular el adjunto cuadro, en que además se han señalado las dimensiones definitivas de las planchuelas usadas por no hallarse en plaza las que indicaba el cálculo: fácil es darse cuenta que para todas hay exceso de material

Dimensiones de las directrices

| Cinturas | Tensión EN LA CINTURA <i>kg.</i> | Sección calculada <i>mm²</i> | Perfil usado <i>mm</i> | Sección adoptada <i>mm²</i> | Unión DE LAS CINTURAS |
|----------|--|---|---------------------------|--|--------------------------|
| 1 | 1125 | 75 | 50,8 × 3,2 | 152 | Perno |
| 2 | 2250 | 150 | 50,8 × 3,2 | 152 | » |
| 3 | 3375 | 225 | 50,8 × 6,4 | 305 | » |
| 4 | 4500 | 300 | 50,8 × 6,4 | 305 | » |
| 5 | 5625 | 375 | 76,2 × 6,4 | 460 | » |
| 6 | 6750 | 450 | 76,2 × 6,4 | 460 | » |
| 7 | 7875 | 525 | 76,2 × 9,5 | 700 | » |
| 8 | 9000 | 600 | 76,2 × 9,5 | 700 | » |
| 9 | 10125 | 675 | 76,2 × 9,5 | 700 | » |
| 10 | 11250 | 750 | 95,2 × 9,5 | 902 | » |
| 11 | 12400 | 825 | 95,2 × 9,5 | 902 | » |
| 12 | 13525 | 900 | 95,2 × 9,5 | 902 | » |
| 13 | 14650 | 975 | 82,5 × 12,7 | 1012 | Remache |
| 14 | 15750 | 1050 | 82,5 × 12,7 | 1187 | » |
| 15 | 16875 | 1125 | 82,5 × 12,7 | 1187 | » |
| 16 | 18000 | 1200 | 101,6 × 12,7 | 1250 | » |
| 17 | 19125 | 1275 | 79,4 × 19,1 | 1520 | » |
| 18 | 20250 | 1350 | 79,4 × 19,1 | 1520 | » |
| 19 | 21375 | 1425 | 79,4 × 19,1 | 1520 | » |
| 20 | 22500 | 1500 | 79,4 × 19,1 | 1520 | » |
| 21 | 23625 | 1575 | 139,7 × 12,7 | 1750 | » |

El peso total de hierro empleado en estas directrices horizontales, comprendiendo cubrejuntas y pérdidas, alcanza á 18000 *kg.*, que distribuidos en 113,70 *m* de circunferencia dan un peso medio por metro lineal de pared de 158 *kg.* proximamente.

La colocación equidistante de las directrices de 0,25 *m* en 0,25 *m* se ha adoptado sin modificación, pues permite la preparación más fácil de los montantes, desde que los agujeros necesarios para las ligaduras de las mismas á las directrices es también más sencilla.

La longitud de las planchuelas de las cinturas varía de 6 á 8 metros y su unión para cerrar el circuito completo se hizo á remachadura y perno (fotografía núm. 5), tomando un coeficiente de resistencia al corte de 6 *kg mm*⁻² á sección doble, puesto que la unión se hacía á doble cubrejunta.

Aún cuando la nota transcripta señala la necesidad de una remachadura en estas uniones para capacidades como la del tanque construido hemos considerado inútil la remachadura, pues si esta se explica en un puente ú otra construcción en que la oxidación puede destruir el perno, ó las vibraciones aflojar las tuercas, no sucede lo mismo en el cemento armado, puesto que uno y otro efecto quedan eliminados por la envoltura misma de la mezcla.

Los hierros se colocaron todos limpios y lavados para alejar la tierra é impurezas que podrían cubrirlos, pero sin tomar el cuidado de sacar el óxido de hierro que se encarga de reducir el mismo cemento puesto en su contacto.

Los montantes ó generatrices de la pared no se

han colocado de acuerdo con las prescripciones de la nota traducida de 3 en 3 metros, sino de 0,50 *m.* en 0,50 *m.*, lo que por cierto representa una repar-



Núm. 5 — Ensambladura en las cinturas

tación más completa y uniforme de las presiones internas sobre las directrices. Se han colocado 76 montantes U de $50\text{ mm} \times 25\text{ mm} \times 7\text{ mm}$, sección de 575 mm^2 y peso de $4,50\text{ kg m}^{-1}$, distantes de 1,50 *m* uno de otro, é intercalando dos de los 152 montantes U de $40\text{ mm} \times 20\text{ mm} \times 5,5\text{ mm}$, sección de 437 mm^2 y peso de $3,50\text{ kg m}^{-1}$

El cálculo demuestra que la sección adoptada

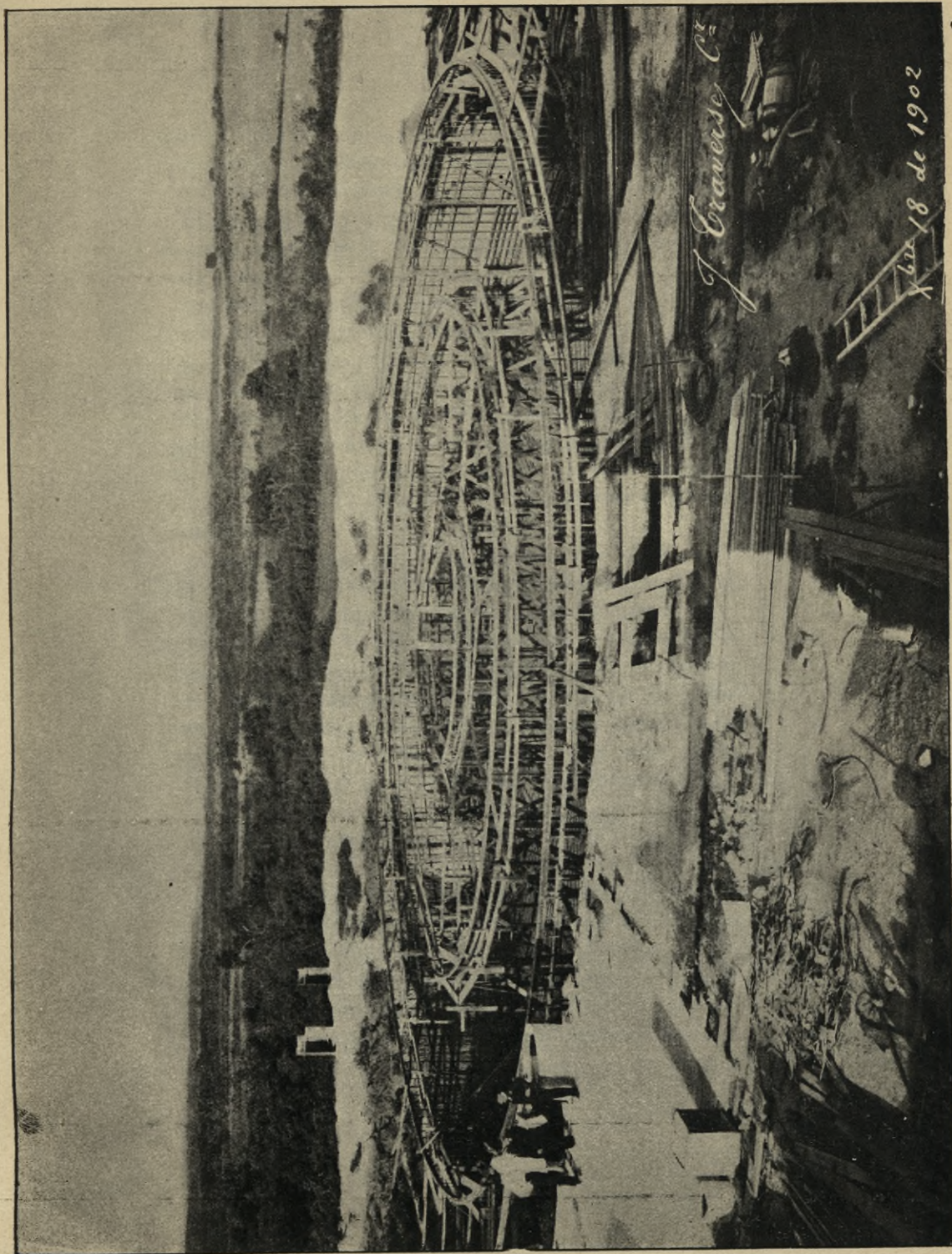
es exagerada, es decir que se ha tomado una seguridad supérflua.

Cada montante va bulonado á la escuadra de la planchuela radial correspondiente en la armadura del piso, fijado á cada cintura horizontal por una abrazadera en la forma que indica la fotografía número 5 y atornillado también á la última cintura superior calculada para resistir al empuje de la bóveda externa del techo.

Se completó la armadura metálica de las paredes, formando un enrejado con varillas de 8 y 6 *mm* de diámetro y mallas de 8 *cm* de lado, haciendo ataduras con alambre en cada punto de cruce. (fotografía núm. 6 y 7)

La preparación del cajón se hizo empezando por disponer interiormente tablonces de 51 *mm*. de espesor y 5 *m*. de largo, á una distancia conveniente calculando el espesor de la pared. Exteriormente se colocaron horizontalmente tablonces de 25 *mm*. de espesor y 171 *mm* de ancho, que se iban agregando en toda la circunferencia á medida que se levantaba la pared.

No se adoptó aquí el sistema adoptado en París pues requiere cementadores de oficio, y era más fácil formar un cajón en el cual se echaba la mezcla previamente preparada con una altura de solo 20 centímetros y en que era posible un apisonamiento completo y la unión íntima del hierro con la misma, empleándola bastante líquida. Así fué posible por anillos sucesivos formar la pared cilíndrica, en un tiempo mucho menor y con mayor facilidad de ejecución, exigiendo la modificación un empleo mayor de madera para formar la do-



J. Traversy Co.

Jan 18 de 1902

Núm. 6 — Vista general de la armadura metálica

ble pared. Se tomó siempre la precaución de que los anillos alcanzaran al medio de las cinturas y de acelerar el trabajo de tal modo que solo se necesitaron 6 días empleando 12 hombres en el apisonado únicamente, de los 65 que intervinieron en este trabajo.

La mezcla empleada se componía de 1 parte en volúmen de cemento, 1 de arena fina, $1\frac{1}{2}$ de arena gruesa, preparada en un todo de acuerdo con las condiciones impuestas en el pliego de especificaciones; esta proporción de elementos fué fijada en vista de la composición granulométrica de la arena, teniendo en cuenta que los revoques interiores debían asegurar la impermeabilidad de la pared.

A las 36 horas de terminada la pared se retiró el andamio exterior conservando el interior, y procediendo á colocar un revoque 24 horas después, revoque de más ó menos un centímetro de espesor y cuyo único objeto era hacer desaparecer las irregularidades dejadas por el molde exterior. El apisonado del terreno exteriormente á la pared se hizo simultáneamente y con toda clase de precauciones para asegurar su consistencia.

Columnas interiores.

El peso propio y sobrecarga del techo determinan no solamente las dimensiones de las 36 columnas repartidas en el interior del depósito, sino también las de las vigas armadas que soportan y en que van empotradas las armaduras de la cúpula central y de los dos toros concéntricos.

Adoptando para la tierra, el terraplen colocado en la forma que indica el plano respectivo, un peso de 1500 kg m^{-3} , para el cemento armado terminado una densidad de 2500 kg m^{-3} , y asignando un espesor de $0,10 \text{ m}$. á los techos y la sobrecarga de tierra con las dimensiones que en detalle indican los planos, el peso total de la cúpula central con sobrecarga es

$$P_1 = 77520 \text{ kg.};$$

para el primer toro central

$$P_2 = 291100 \text{ kg.};$$

y para el segundo

$$P_3 = 468540 \text{ kg.}$$

Considerando que el diámetro de la cúpula es de $9,00 \text{ m}$., la luz del 1.^{er} toro de $6,75 \text{ m}$. y del 2.^o de $6,85 \text{ m}$., resulta la carga por metro lineal de la 1.^a armadura circular, la que descansa sobre las 12 columnas de la fila central:

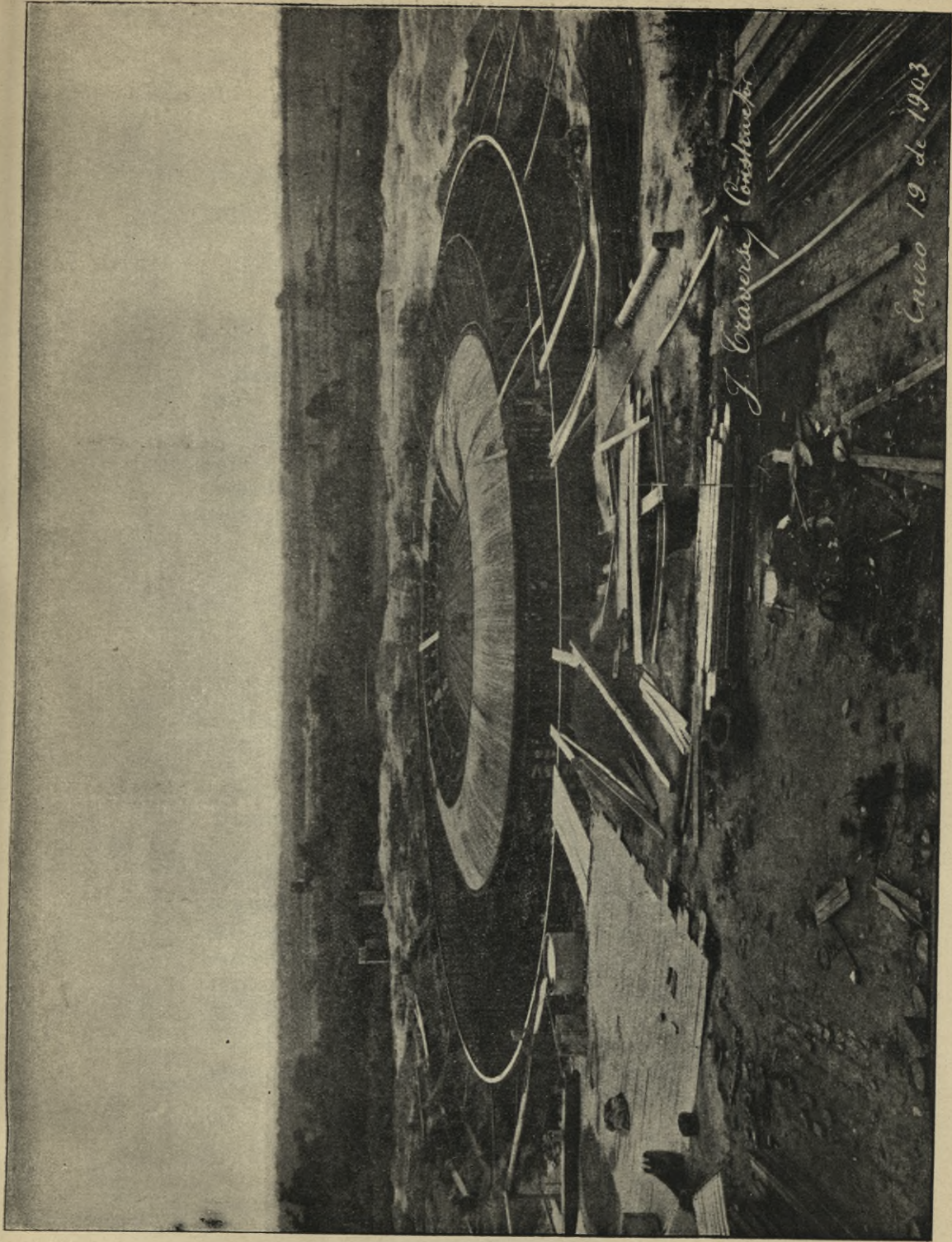
$$p_1 = \frac{77520 \text{ kg.}}{2 \pi \times 4,5 \text{ m}} + \frac{291100 \text{ kg.}}{2 \pi (4,5 + 11,25) \text{ m}} = 5684 \text{ kg m}^{-1};$$

y de la segunda en que hay 24 columnas:

$$p_2 = \frac{291100 \text{ kg}}{2 \pi (4,5 + 11,25) \text{ m}} + \frac{468540 \text{ kg}}{2 \pi (11,25 + 18,10) \text{ m}} \\ = 5483 \text{ kg m}^{-1}.$$

Sobre el muro exterior la carga es por metro lineal:

$$p_3 = \frac{468540 \text{ kg}}{2 \pi (11,25 + 18,10) \text{ m}} = 2541 \text{ kg m}^{-1}$$



J. Craverby Constantino

Encero 19 de 1903

Núm. 7 — Cajón para los techos

y asignándole un espesor de 0,10 *m.*, la carga específica por efecto de este empuje será

$$p_2 = \frac{2541 \text{ kg}}{10 \times 100 \text{ (cm}^2\text{)}} = 2541 \text{ kg cm}^{-2}$$

Si como aconsejan varios autores, M. Matrai entre otros, prescindimos de la resistencia de la armadura metálica, solo tomamos en cuenta el trabajo del hormigón á razón de 30 kg cm^{-2} y admitimos que la parte metálica sólo entra en juego para evitar el flexionamiento, las condiciones son satisfactorias con la sección adoptada de 575 cm^2 ; pues distantes las centrales de 2,35 *m* y de 3,00 *m.* las exteriores, la carga específica de las primeras resulta

$$p_1 = \frac{2,35 \text{ cm} \times 56,84 \text{ kg cm}^{-1}}{575 \text{ cm}^2} = 23,2 \text{ kg cm}^{-2}$$

y de las segundas

$$p_2 = \frac{300 \text{ cm} \times 54,83 \text{ kg cm}^{-1}}{575 \text{ cm}^2} = 28,6 \text{ kg cm}^{-2}$$

Como indica la fotografia núm. 2, la armadura metálica está formada con 4 cantoneras de 50,8 *mm* \times 50,8 *mm* \times 6,4 *mm* distantes 3 *cm.* entre ellas y ligadas cada 0,40 *m* por planchuelas bulonadas á las alas de las mismas. Las extremidades inferiores de estas cantoneras se unen en la base á otras dos de 0,80 *cm* de longitud, en la forma que marca la misma vista y al detalle respectivo de la lámina núm. 4.

Con el propósito de evitar la formación de rajaduras en la base de las columnas como resulta-

do de la presión misma que el pilar ejerce sobre el hormigón que sirve de base, y de asegurar su repartición más uniforme en una extensión superficial mayor del piso, se ha colocado un enrejado de 0,80 *m* por 0,80 *m* como marca la fotografía núm. 3 con varillas metálicas de 8 *mm* de diámetro formando mallas de 8 *cm* de lado.

Los 6 moldes preparados de una pieza ó en un solo cajón para las bases de las columnas y los 12 para el capitel, fueron ejecutados con tanto cuidado que retirados 48 horas después de ejecutado el relleno, quedaba moldeada la columna de tal modo que no requería la colocación de revoque exterior, fotografía 3. El molde completo para una columna requiere dos jornales de carpintero y su armadura metálica completa un jornal de herrero y dos de ayudantes.

Colocados los 6 moldes completos en 5 horas de trabajo de 2 oficiales y 2 auxiliares, se tapaba la cara abierta del molde á medida que se hacía el relleno de hormigón bien pisonado, preparado con una parte de cemento, 1 1/2 de arena fina y 1 1/2 de arena gruesa; un oficial empleaba 5 horas de trabajo para una columna poniéndole á mano la mezcla preparada.

En vista de los resultados á que llegó M. Considere sobre el sunchado de las columnas, se han preparado en esa forma las armaduras metálicas de modo que sus condiciones de resistencia son inmejorables.

Vigas armadas del techo.

Estas vigas colocadas sobre las columnas se han formado con dos planchuelas simétricamente colocadas con respecto al eje horizontal de la misma viga y de modo que sus ejes distan 0.40 m, entre sí. (fotografía núm. 8).

Su cálculo, adoptando la fórmula de M. Lefort:

$$M_{max.} = R. S. h,$$

en que R es el coeficiente de trabajo del hierro de 12 kg mm^{-2} ,

S la sección de la armadura, y

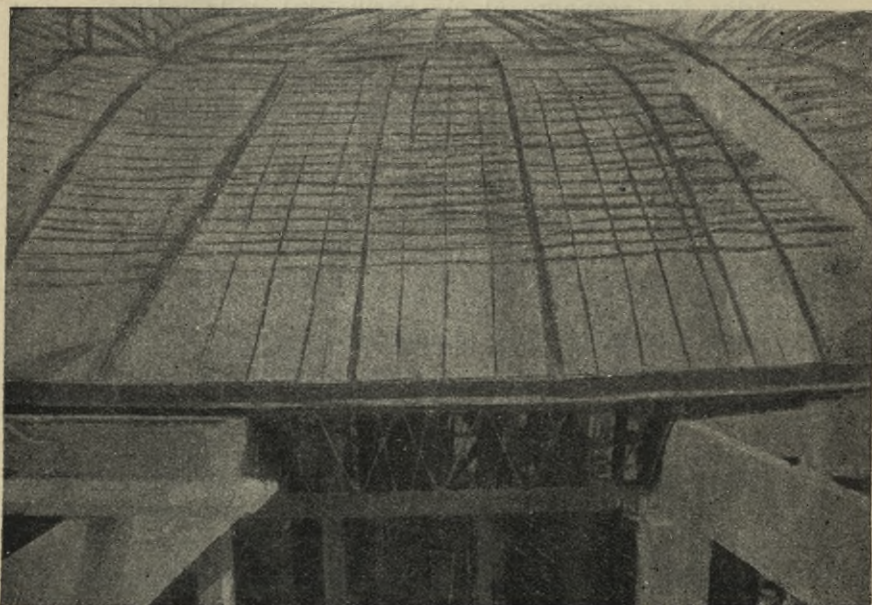
h la distancia entre planchuelas 0,40 m, dá para la armadura exterior en que la distancia entre columnas es de 3 m. y la carga $p_2 = 5843 \text{ k m}^{-1}$,

$$M_{max.} = \frac{Pl^2}{12} = \frac{5843 \text{ kgm}^{-1} \times 3 \text{ m} \times 3 \text{ m}}{12} = 411000 \text{ kg cm}$$

$$S = \frac{M_{max.}}{R h} = \frac{411000}{1200 \times 40} \frac{\text{kg cm}}{\text{kg cm}^{-2} \times \text{cm}^2} = 8,56 \text{ cm}^2.$$

Conforme á este método la armadura metálica resiste por sí sola á la acción de las fuerzas exteriores, haciendo caso omiso del hormigón que la rodea, y según los constructores que lo recomiendan como Coignet, Pavin Lafarge, Bonna, Rabut, etc., el cálculo se hace como si se tratara de una viga metálica ordinaria, aún cuando al fijar el trabajo para el hierro en 12 kg mm^{-2} se toma en cuenta implícitamente la intervención concurrente del hormigón.

No analizaremos aquí los diferentes métodos que podrían preferirse en este cálculo; en el caso que nos ocupa las planchuelas usadas que son de 95,2



Núm. 8 — Viga armada central

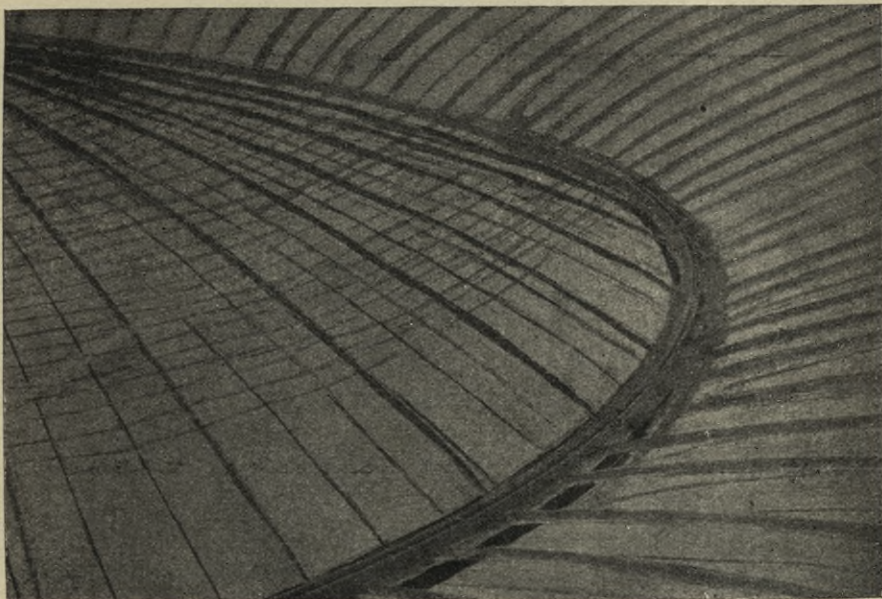
$mm. \times 12,7 mm$ aseguran para cada una, una sección

$$S = 12,06 \text{ cm}^2,$$

que además van ligadas de trecho en trecho con planchuelas de $3 mm \times 25 mm$, y como no podían obtenerse de una sola pieza se han ligado una vez curvadas con pernos ó bulones. (fotografía núm. 8.)

Como muestran las fotografías núm. 8 y 9 y se

puede ver en el plano de detalle de la lámina n° 3, se han dispuesto simétricamente con respecto á la planchuela superior de la armadura dos cantoneras



Núm. 9 — Unión entre toros

de $76 \text{ mm} \times 50 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$, cuyo objeto es resistir al empuje de las bóvedas inmediatas.

Adoptando el método de M. Coignet idéntico al de una cintura, el empuje horizontal de la cúpula central sería de 5211 kg m^{-1} ; pues en efecto siendo la carga que soporta de 77250 kg y su longitud de $28,27 \text{ m}$, la carga por metro lineal sería $p = 2742 \text{ kg}$, el empuje

$$H = \frac{2 p y}{D} = \frac{2 \times 2742 \text{ kg } m^{-1} \times (9,70 - 1, 12) \text{ m}}{9 \text{ m}} \\ = 5211 \text{ kg } m^{-1}$$

y la sección S , adoptando el coeficiente de trabajo del hierro de $R = 10 \text{ kg } mm^{-2}$, sería

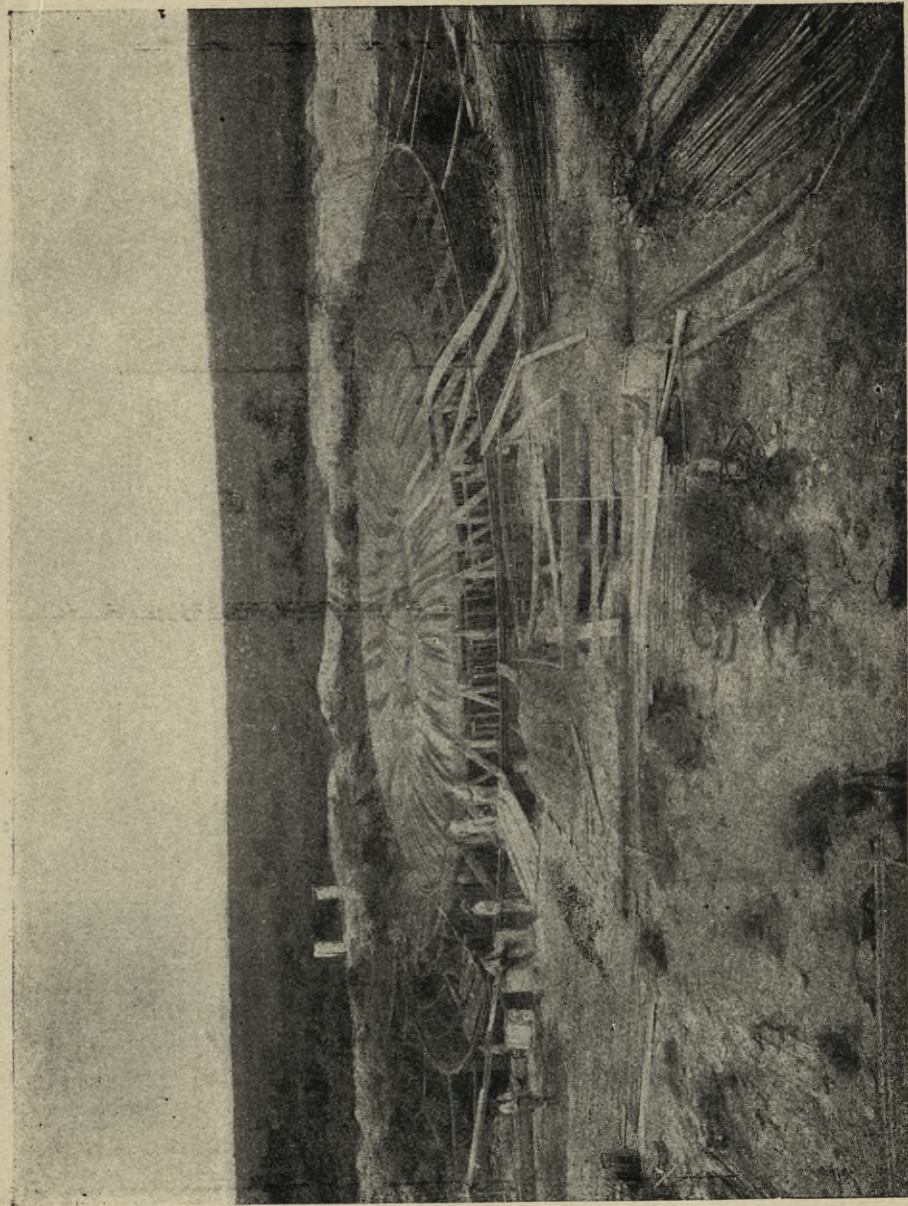
$$S = \frac{H D}{2 R} = \frac{5211 \text{ kg } mm^{-1} \times 9000 \text{ mm}}{2 \times 10 \text{ kg } mm^{-2}} = 2345 \text{ mm}^2.$$

Aplicando un método gráfico como el que recomienda el profesor Guidi llegamos á una sección sensiblemente idéntica de 2340 mm^2 .

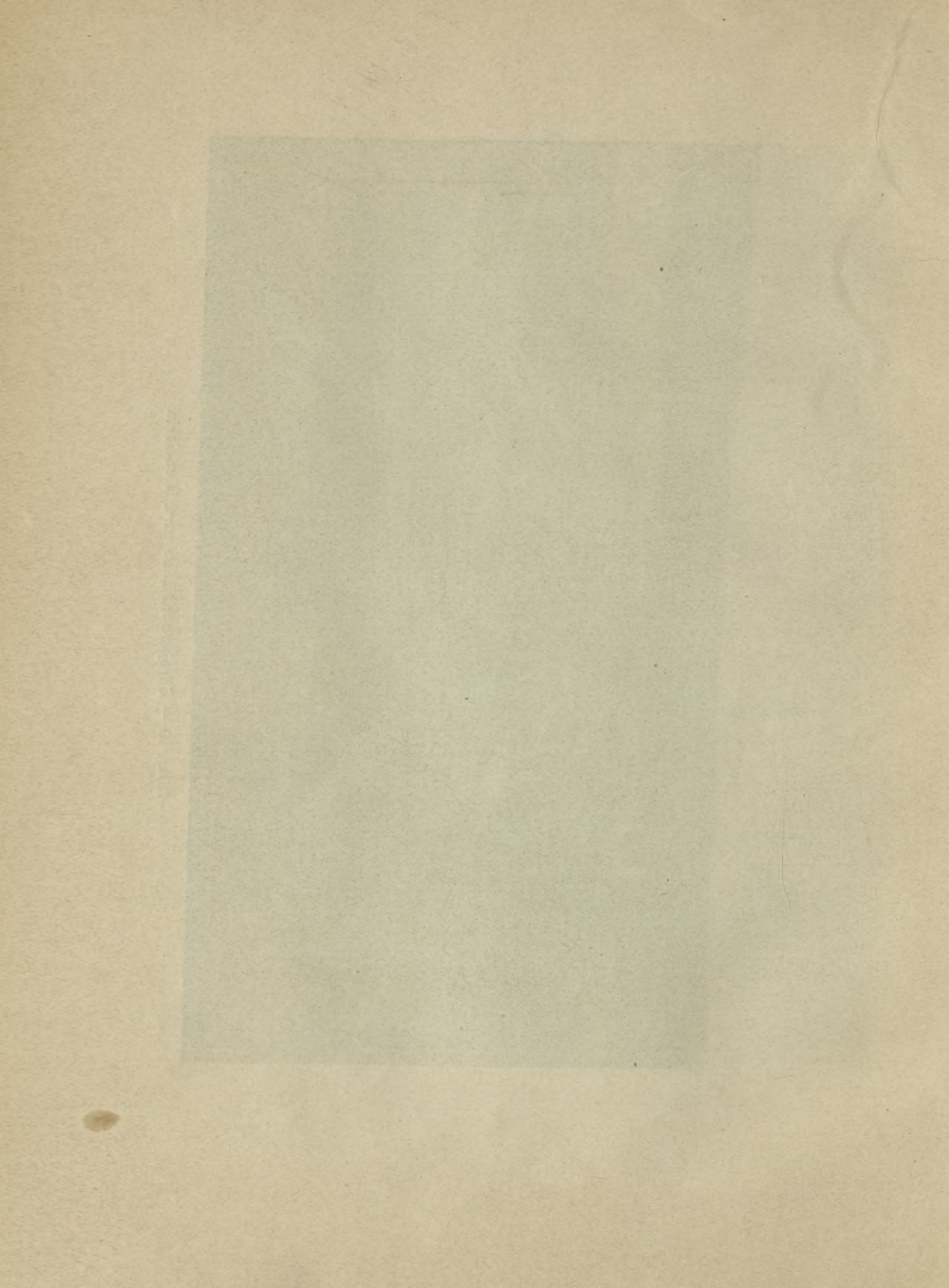
Del mismo modo se ha determinado la sección de 7980 mm^2 para la cintura externa que vá colocada sobre la pared del depósito, que se ha formado como marca el plano de detalle respectivo, y muestran las fotografías núm. 6 y 7, con dos hierros U de $140 \text{ mm} \times 60 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$, una planchuela de $140 \text{ mm} \times 16 \text{ mm}$ y 70 alambres de 5 mm de diámetro cada uno.

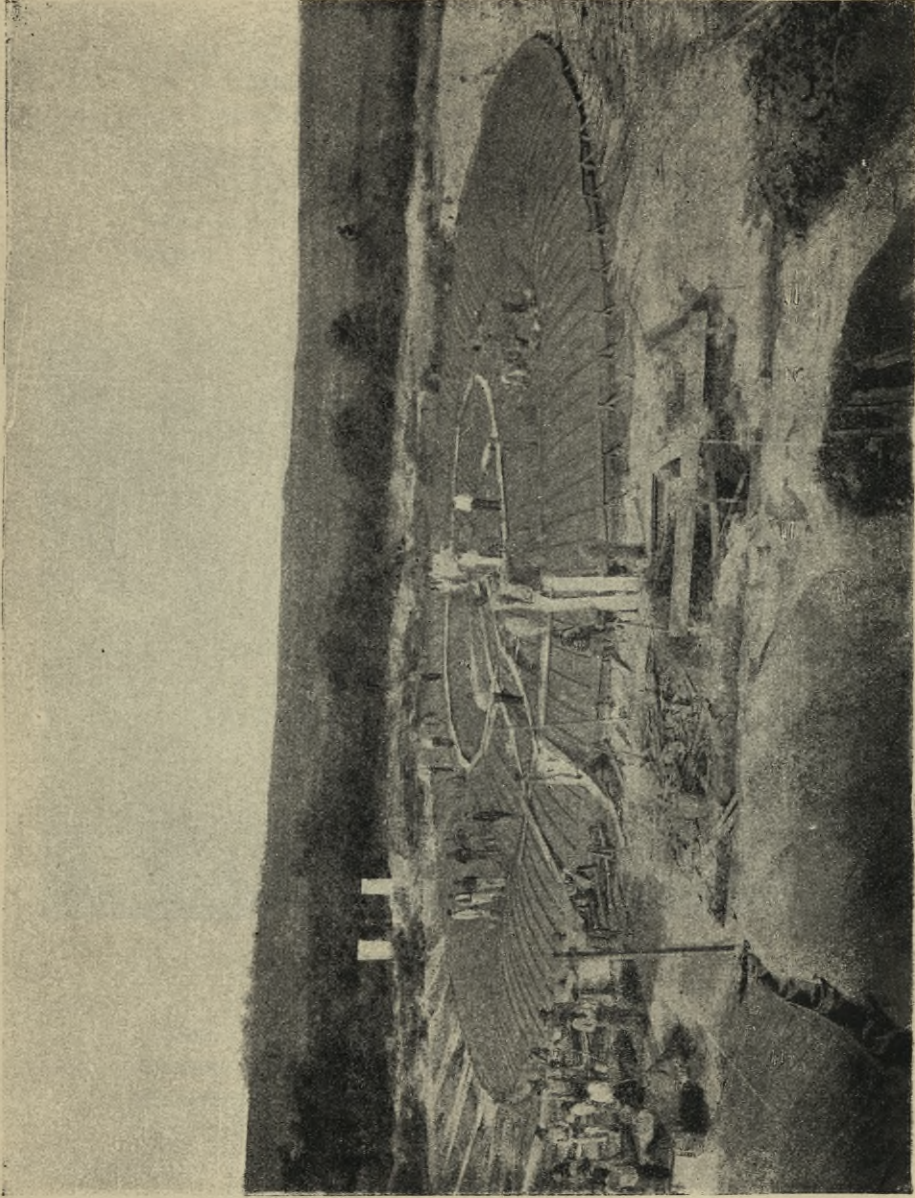
Estas armaduras fueron previamente encurvadas á martillo conforme á un gálibo trazado con anterioridad, y las diferentes piezas que forman cada una de ellas fueron ligadas con cubrejuntas bulnadas cuidadosamente.

Listos ya los andamios interiores conforme muestran las fotografías núms. 7, 10 y 11, se colocaron las directrices de las bóvedas, formadas con hierros T de $38,1 \text{ mm} \times 38,1 \text{ mm} \times 4,8 \text{ mm}$ y peso de $2,5 \text{ kg } m^{-1}$; en número de 37 en la cúpula, 94 en el toro interior y 152 en el exterior. Las generatrices, visibles en las mismas fotografías y las núms. 9 y 12, son varillas de 8 mm de diámetro que



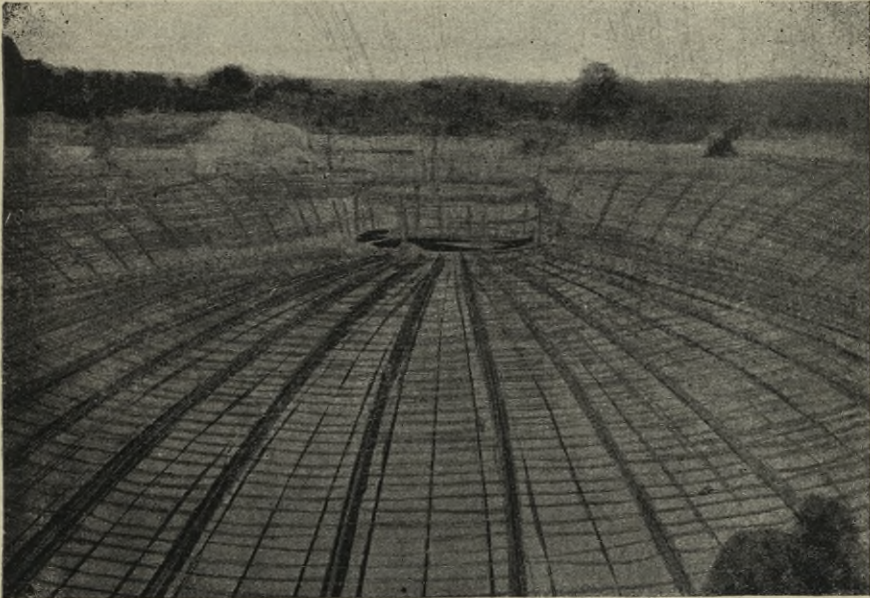
Núm. 10 — Enrejado metálico para la cubierta





Núm. 11 — Armadura para techos

cruzan las alas del *T* de las directrices agujereadas á cada 0,10 *m* y que para asegurar el enrejado van cruzadas por otras varillas directrices atadas con alambres en los puntos de cruzamiento y que sobre los dos metros exteriores son las mismas de la pared vertical dobladas sobre el techo.



Núm. 12 — Cúpula central y entrada

Los cajones para moldear las vigas armadas circulares que acabamos de describir han dado mucho trabajo y puede estimarse que cuestan más ó menos 300 \$ por metro cúbico de cemento arma-

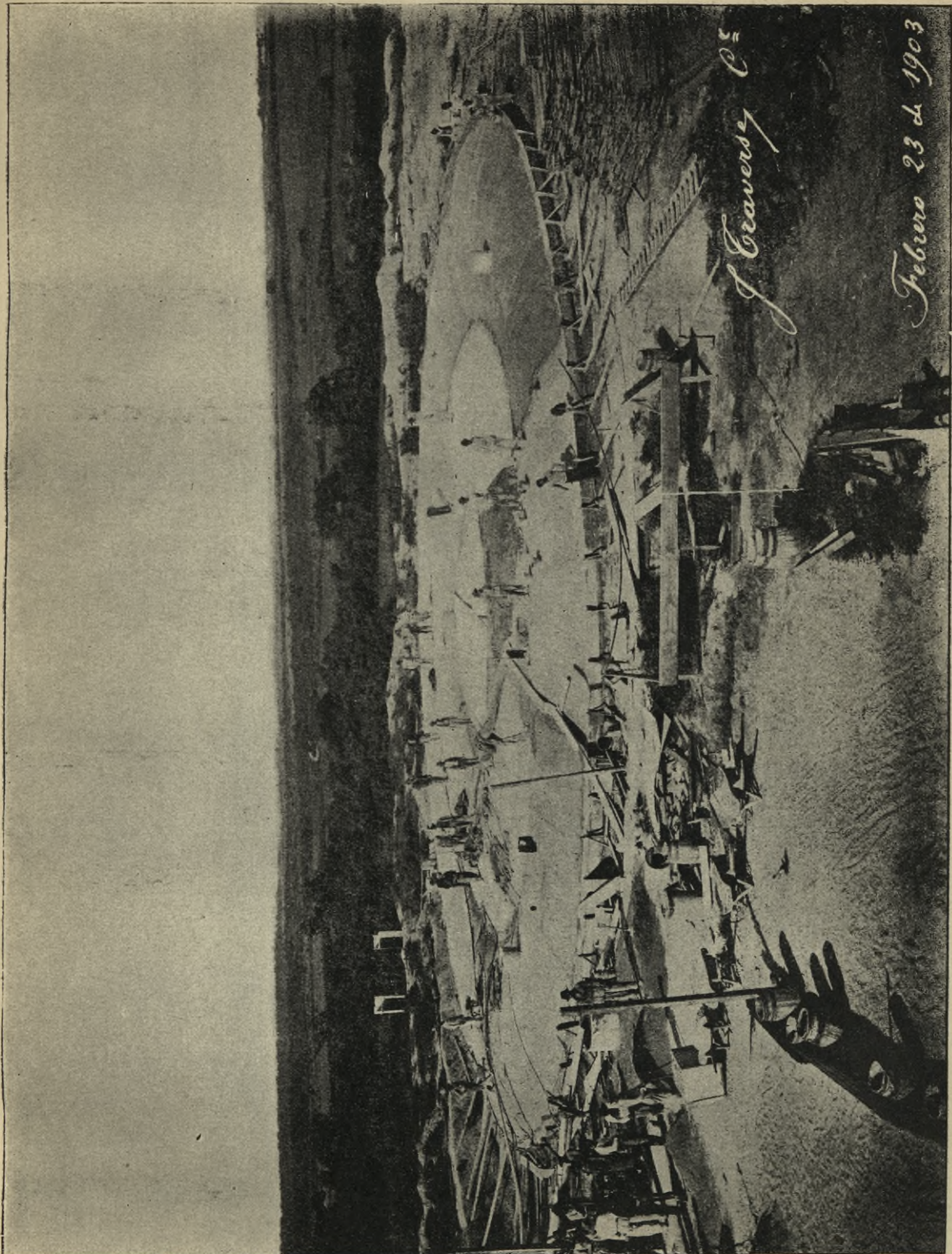
do concluido. En cuanto al andamio para los techos, se dispuso de modo que la armadura metálica descrita quede perdida en el hormigón y que, por razones del trabajo mismo, ha debido tomarse de un espesor mayor que el necesario calculando los techos como pisos ó lajas comunes, de 8 *cm* en la clave de las bóvedas y de 10 á 12 *cm* en los nacimientos.

Los espacios vacíos entre hierros de las armaduras fueron rellenos con una mezcla fluida de 1 de cemento y 1 de arena fina para asegurar un contacto directo del cemento con el metal. Y en cuanto al relleno del techo ó colocación del hormigón, fotografías núms. 13 y 14, puede hacerse muy facilmente dada la comodidad para el pisonamiento y demás maniobras necesarias.

Esta parte de la obra se hizo muy rápidamente y los 212,65 *m.* de vigas y 1080 *m*² de techos se armaron y colocaron en 12 días hábiles de trabajo. Tres días después de terminado el fragüe se empezó á desarmar el andamio interior iniciándose inmediatamente la colocación de los revoques interior y exterior de las bóvedas.

Piso y revoques interiores.

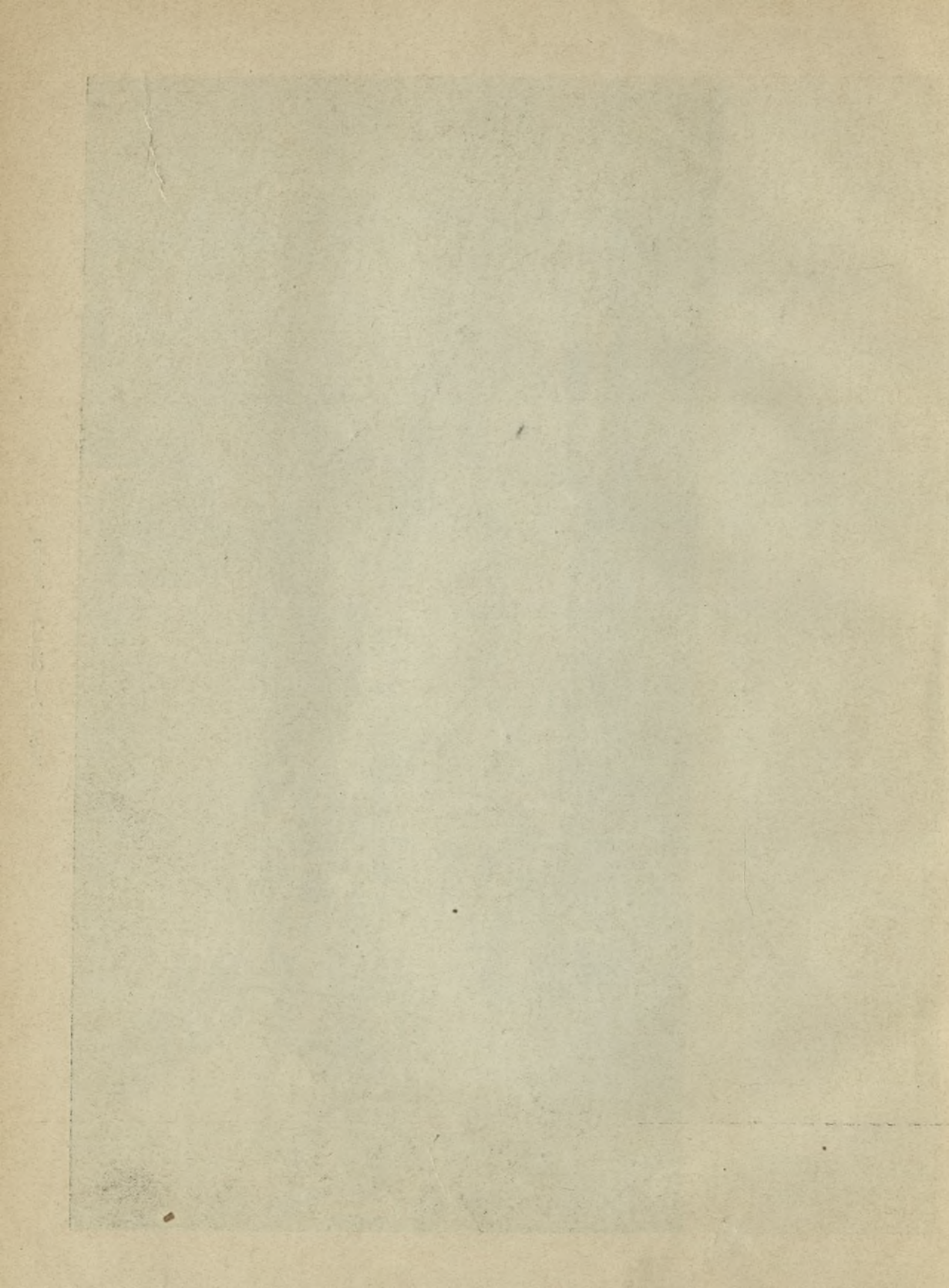
Retirado completamente el andamio interior y efectuada una prolija limpieza del piso, se procedió á picar el hormigón del fondo ó base, regando con una lechada de cemento puro á medida que se colocaba la mezcla de 1 parte de cemento, 1 de arena fina y 2 de arena gruesa que envuelve la armadura metálica del piso. Se ha te-

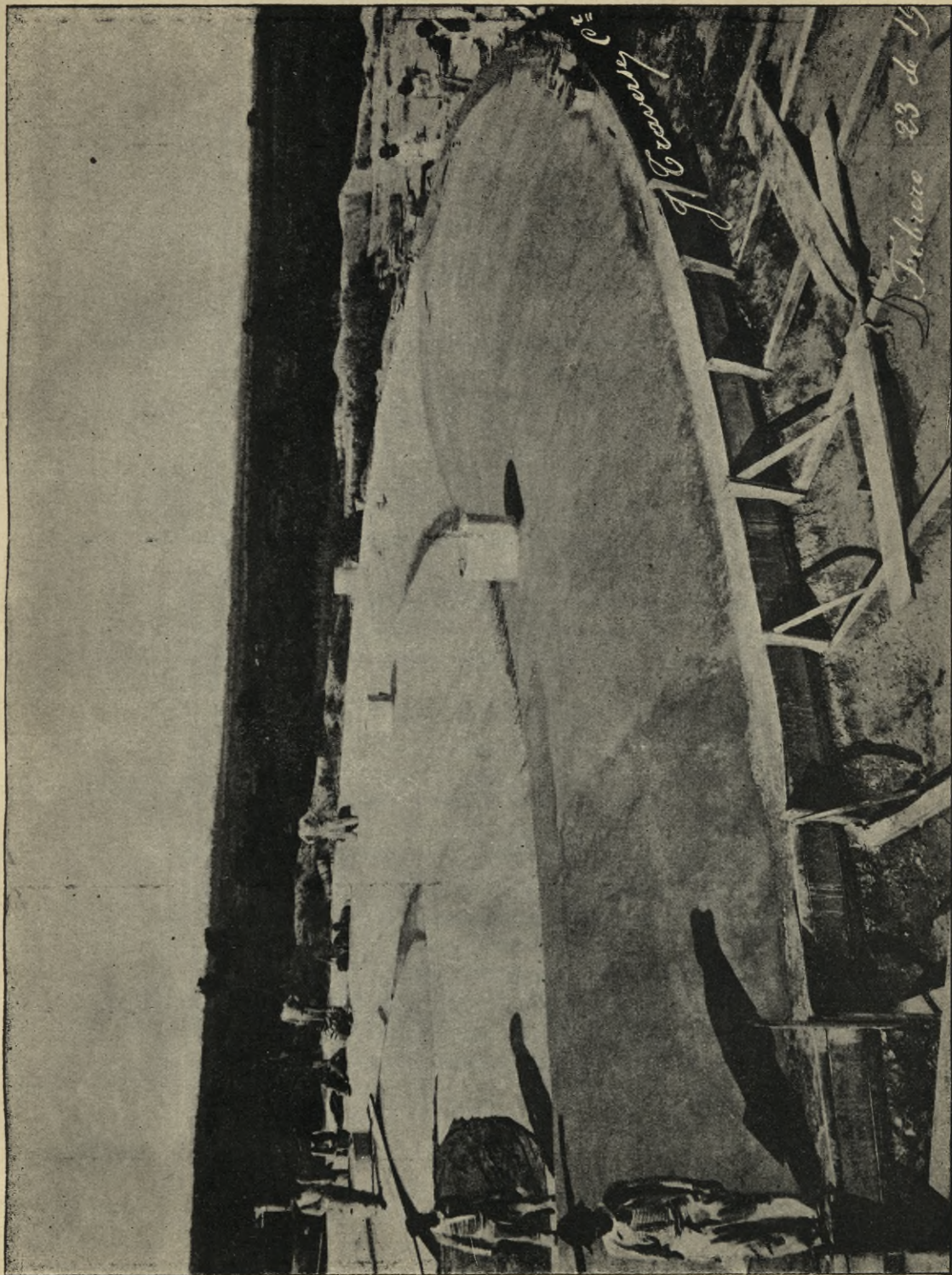


J. Craversy Co.

Febrero 23 de 1903

Núm. 13 — Cúpula y techos





Compañía General de

Febrero 23 de 19

Núm. 14 — Ventiladores

nido un especial cuidado de la unión de la base con la pared vertical exterior, pues como lo observa M. Cristophe en su tratado *Le béton armé et ses applications*, si no se adoptaran estas precauciones se podrían producir rajaduras debidas á la flexión de las paredes bajo la influencia de las variaciones de carga y temperatura.

Esta parte gruesa del piso se terminó en solo 4 días de trabajo de 14 albañiles; todas las precauciones tomadas no aseguran la unión perfecta de ese piso con el inferior de hormigón, pero constituye propiamente el piso armado y solidario con todo el resto de la obra.

En la colocación de los revoques que se inició inmediatamente, se han tomado precauciones especiales; en efecto de ellas depende la resolución de la cuestión más delicada que puede promoverse en la construcción de tanques, esto es la que se refiere á la impermeabilidad que deben asegurar.

El hormigón de cemento, como las mamposterías en general, no son propiamente impermeables; pero las filtraciones que se producen al principio más ó menos abundantes según las circunstancias, desaparecen poco á poco hasta que se colmata la pared por efecto del depósito de sales calcáreas que producen al cabo de cierto tiempo la impermeabilidad completa: esta pues, se asegura con el tiempo.

Muchos constructores, como M. Chassin por ejemplo, de palabra tan autorizada en esta especialidad de los depósitos para agua, recomiendan revoques interiores con fuerte proporción de cemento

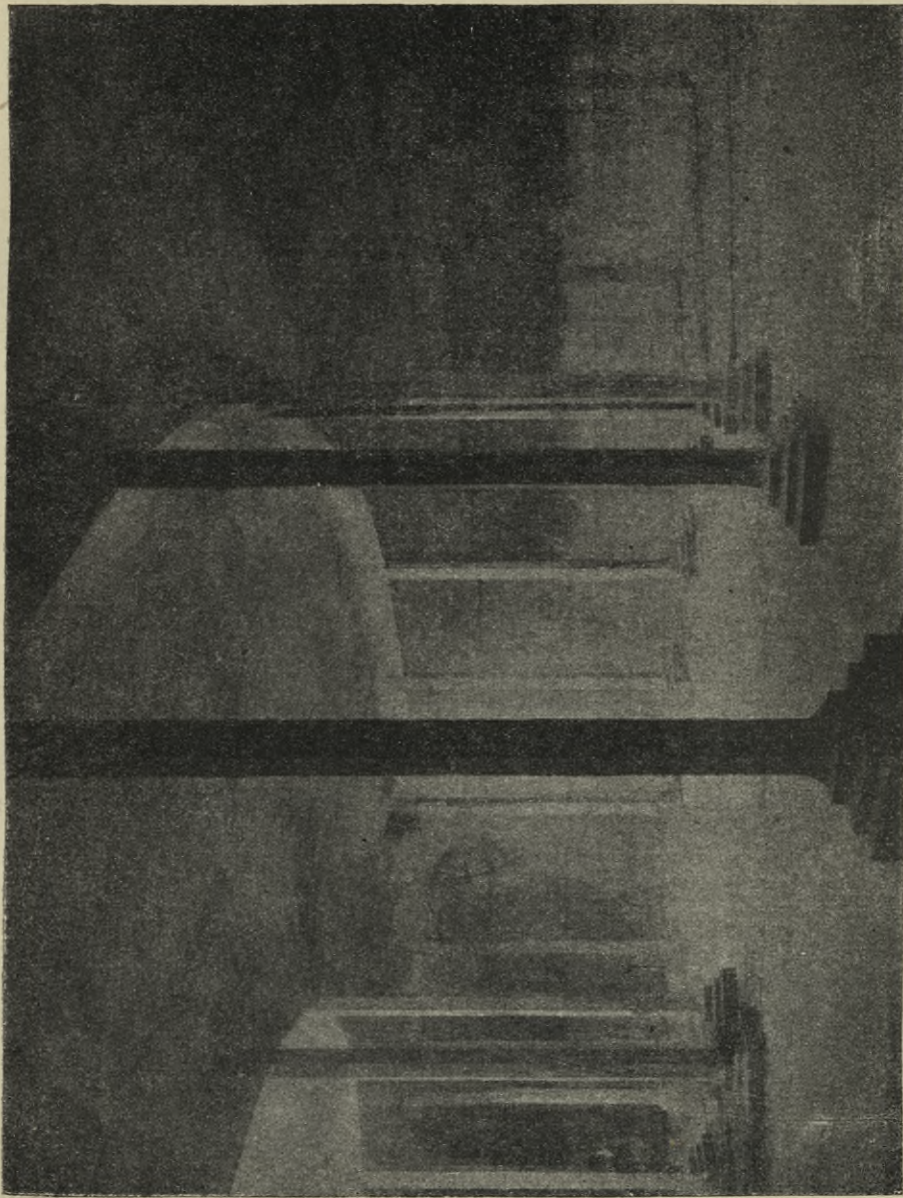
dejando á la pared la composición de un hormigón ordinario. Otros en cambio, prefieren aumentar la dosis de cemento en la misma pared, haciendo además empleo de materiales inertes finos, esto es haciendo uso de arena fina que asegura una impermeabilidad más completa.

No obstante, la experiencia demuestra que bastan los revoques fuertes y los usados aquí tanto en las paredes como en el piso, formados con una parte en volúmen de cemento y una de arena fina, han dado resultados excelentes.

El espesor del revoque que en la base es de 2,5 *cm* ha ido disminuyendo hasta 0,5 *cm* en la parte superior, y se ha colocado después de picar el muro y bañarle con una lechada de cemento; consta de 3 capas sucesivas que se han echado con fuerza fratachando la superficie en vez de alisarla como se acostumbra, y comprimiendo fuertemente la mezcla contra el paramento.

En cuanto al del piso, se hizo por franjas radiales, tomando troncos sucesivos de sectores circulares que se iban terminando de la circunferencia hacia el centro. El trabajo se hizo con mucha rapidez concluyéndose en 5 días entre 14 albañiles. (fotografía núm. 16).

Tres días después de terminados los revoques se empezó á llenar el depósito echando el primer día una napa de 0,20 *m* de agua y aumentando progresivamente la carga, pero humedeciendo siempre las paredes y bóvedas con un riego abundante antes de llegar al estado de carga completa.



Núm. 15 — Revoques interiores



Núm. 16 — Casilla de maniobras

Casilla para maniobras.

Todas las válvulas de la cañería se han colocado en una casilla completamente independiente del depósito, en la posición que indica el plano general, y ella da acceso á la galería inferior al tanque.

Su construcción en cemento armado responde á la conveniencia de aprovechar la oportunidad y presencia de personal idóneo para hacer un ensayo, que sirva de prueba experimental para otros constructores que quieran utilizar el cemento armado en el clima de esta provincia en obras de caracter arquitectónico.

La fotografía núm. 16, muestra el resultado obtenido en la parte en elevación y basta su examen para demostrar que este tipo de construcción requiere un estilo arquitectónico apropiado, pues es lógico pensar que los demás, más ó menos clásicos ó *art nouveau* concebidos para materiales de otro orden, no sean adaptables á este tipo constructivo especial.

En efecto, en el caso estudiado, aún cuando se ha dispuesto arriba de la casilla un pequeño tanque con capacidad de 8000 litros para el fácil riego de los terrenos inmediatos del establecimiento, las paredes armadas solo tienen un espesor de 4 *cm* y es fácil entonces darse cuenta que las molduras y adornos, para responder á un tipo arquitectónico clásico, requerirán espesores mayores que darían un aspecto anti-estético al conjunto, puesto que el detalle resultaría de más volúmen y peso que la misma pared.

La armadura metálica sistema Matrai es sencilla y está marcada en el plano respectivo; lámina n° 4 el techo fué calculado para una sobrecarga de 1000 kg m^{-2} y el piso inferior para una de 400 kg m^{-2} .

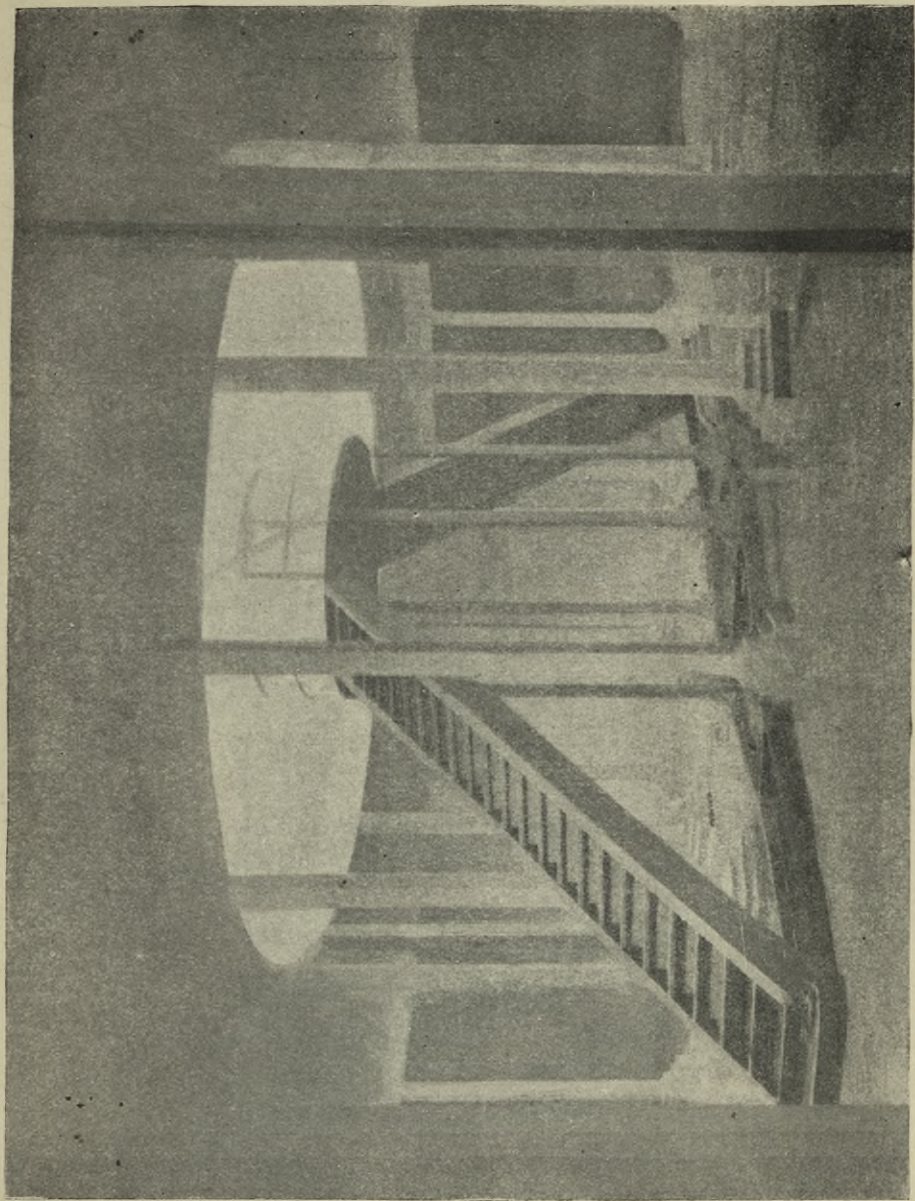
Todas las escalinatas se han hecho también con el mismo cemento armado y en ellas es fácil darse una idea exacta de la elasticidad que presenta la construcción. La temperatura en el interior de la casilla muestra uno de los inconvenientes del sistema para la aplicación en los edificios: el cemento armado no vale la mampostería ordinaria como aislador del calórico y esto es para el clima de Tucumán un serio inconveniente agregado á los que generalmente se le oponen para la aplicación en la construcción de edificios.

En la casilla se observa otro de los graves defectos: una sonoridad mayor que en un edificio análogo de mampostería común, y este fenómeno es particularmente sensible en el mismo depósito, pues no solo el poco espesor de las paredes contribuyen á ello sino la misma forma circular y la disposición en bóveda de los techos.

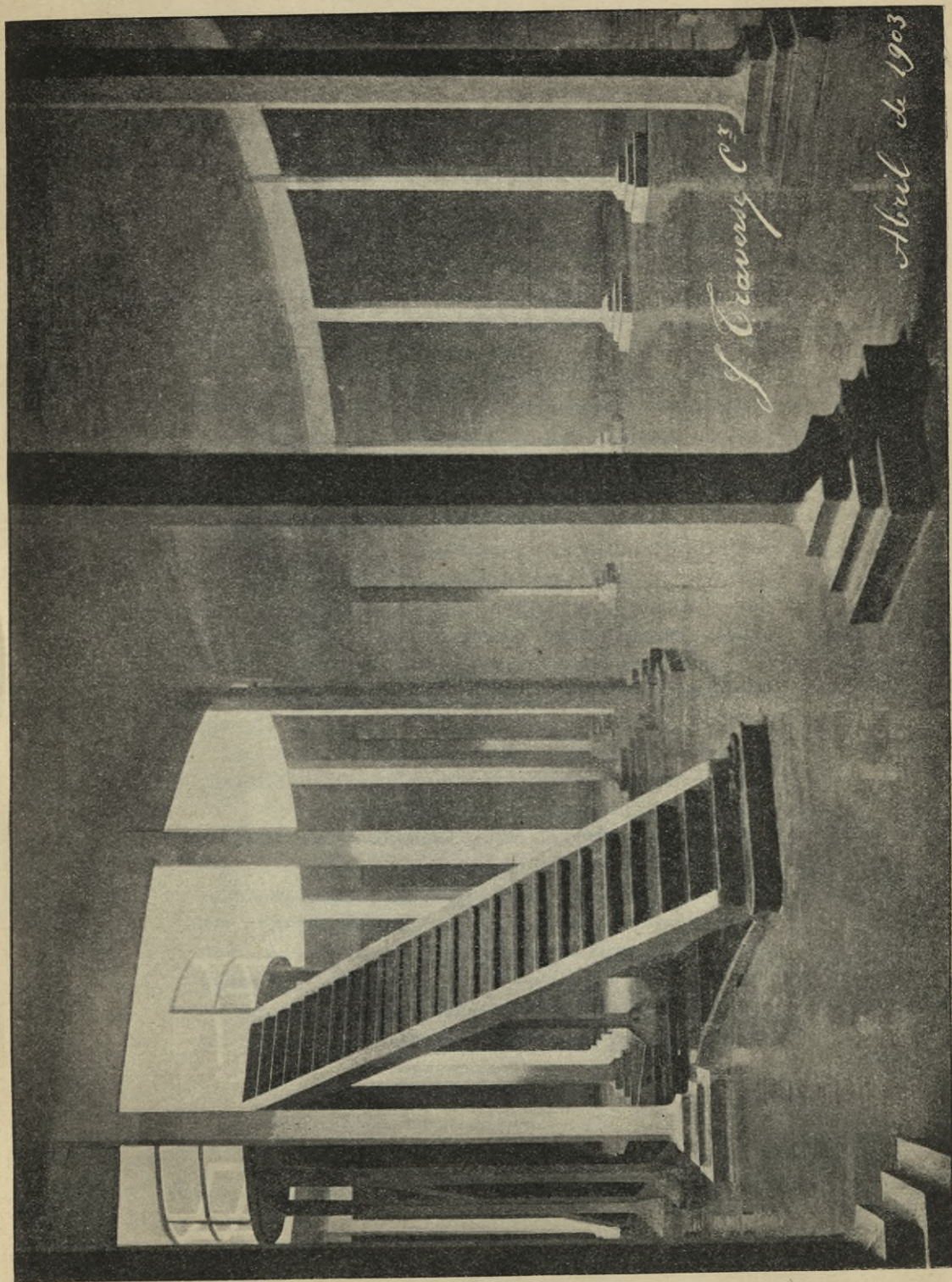
Como se comprende, todos estos inconvenientes no lo son para una casilla de maniobras en que sólo se penetra en los momentos necesarios para satisfacer exigencias del servicio.

Disposiciones accesorias.

Como marcan las fotografías núms. 12 13 y 14, se han dispuesto en la clave de las dos bóvedas de los toros concéntricos varias aberturas ó respiraderos que facilitan la remoción del aire interior. En



Núm. 17 — Escalera de servicio



J. Crandall Co.

Abril de 1903

Núm. 18 — Vista interior

el centro de la cúpula central la abertura se ha dejado mayor para facilitar la entrada y salida de materiales y al mismo tiempo el acceso del personal á una plataforma circular de 3 m. de diámetro, sostenida por 4 columnas de 150 cm^2 de sección y 4,50 m. de altura que descansan directamente sobre el piso, y de la cual parten dos escaleras tendidas á partir de los extremos de un diámetro de la misma é inclinadas á 35° .

La armadura metálica de la plataforma está formada por cuatro fierros U que forman un cuadrado inscripto en el círculo y que sujeta una hoja de metal desplegado núm. 24; atada en toda la circunferencia por medio de alambres á una cintura circular, hierro U también.

Los pilares son zunchados, su armadura como la de la escalera dispuesta como marcan los croquis respectivos; el pié de las escaleras va ligado á los pilares, cuyas bases lo están también entre sí, de modo que la escalera, fotografías núms. 23 y 24, forma un sistema armado é independiente del piso del tanque.

La mezcla usada en toda la escalera y su barandilla correspondiente, es de 1 parte de cemento, $1 \frac{1}{2}$ de arena fina y $2 \frac{1}{2}$ de arena gruesa.

En la parte inferior de la cañería de alimentación y el área que afecta el primer golpe de agua se ha colocado un piso accesorio, independiente del general del tanque y de modo que no se produzcan á la larga degradaciones superficiales molestas.

Todo el techo del depósito se ha cubierto con un terraplen de tierra vegetal que permite el es-

tablecimiento de un jardín, y que mantiene una temperatura inferior á la ambiente dentro del tanque, de todo punto indispensable para conservar al agua filtrada esta condición tan apreciable en los días de fuerte calor.

El interior del tanque ha sido blanqueado con dos manos de cal hidráulica de Teil, que hace más uniforme el tinte característico del revoque de cemento; será conveniente renovarlo con alguna frecuencia para conservarle ese aspecto, aún cuando la precaución no responda á otro objeto.

Pruebas de recepción.

El contrato celebrado con el empresario, en que se le autorizaba á introducir las modificaciones de detalle que estimase convenientes pero sin afectar los delineamientos generales del proyecto formulado, fijaba la impermeabilidad requerida para la obra del siguiente modo: á carga máxima de agua, esto es con 5,25 *m* de altura, no debía descender el nivel en más de un centímetro en ocho días, lo que representa una pérdida de menos de 0,015 litro por segundo.

Exteriormente se practicaron pozos hasta el nivel del piso del tanque á los diez días de estar cargado el depósito, y cuatro días después de abierto no se observaba una exudación siquiera. Pero la prueba no era concluyente, pues dada la pequeña cantidad de agua perdida por unidad superficial que admitía la permeabilidad consentida por contrato podía evaporarse completamente.

Ideamos entonces transformar un evaporímetro

Richard, disponiéndolo en una caja forrada en zinc y con una de sus paredes perforadas de modo que el depósito metálico del evaporímetro estuviera en comunicación directa con el depósito de cemento, estableciendo la igualdad de niveles en ambos.

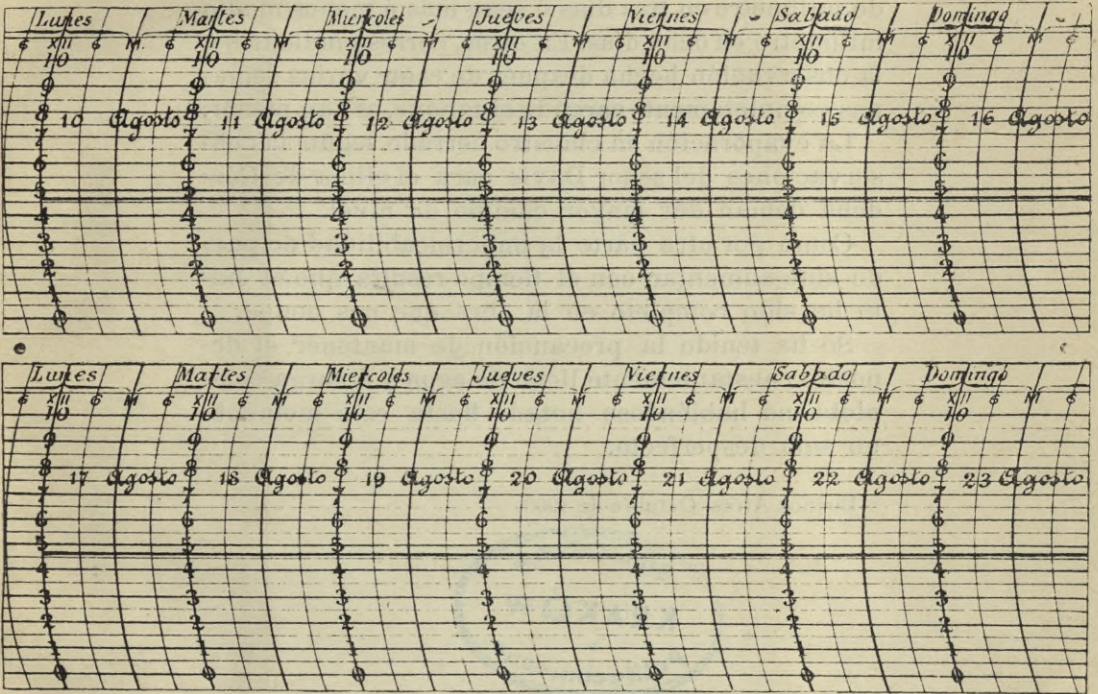


Diagrama de la altura del agua en el depósito

La evaporación se anuló tapando con un disco metálico la superficie del paño que debía mantenerse mojado á expensas del líquido contenido en

el pequeño depósito, en que el flotador traducía sobre el diagrama las variaciones de nivel del agua.

En esta forma la baja de su nivel sólo podía provenir de la del depósito grande. El resultado ha sido el que marcan los diagramas respectivos, en que puede observarse un descenso de dos décimos de milímetro en tres días ó sean más ó menos medio milímetro en ocho días. En otros, correspondientes á la observación hecha después de estar varias semanas completamente cargado el tanque, es aún menor.

La evaporación en claustro cerrado según las observaciones del señor Davis para el clima de Córdoba debían dar mayor cambio de nivel.

Como por otra parte la impermeabilidad no puede sino aumentar con el tiempo resulta que el éxito ha sido completo en la obra que nos ocupa.

Se ha tenido la precaución de mantener el depósito constantemente lleno de agua y á carga completa no habiéndose notado hasta este momento un solo desperfecto.

Buenos Aires, Octubre de 1903.



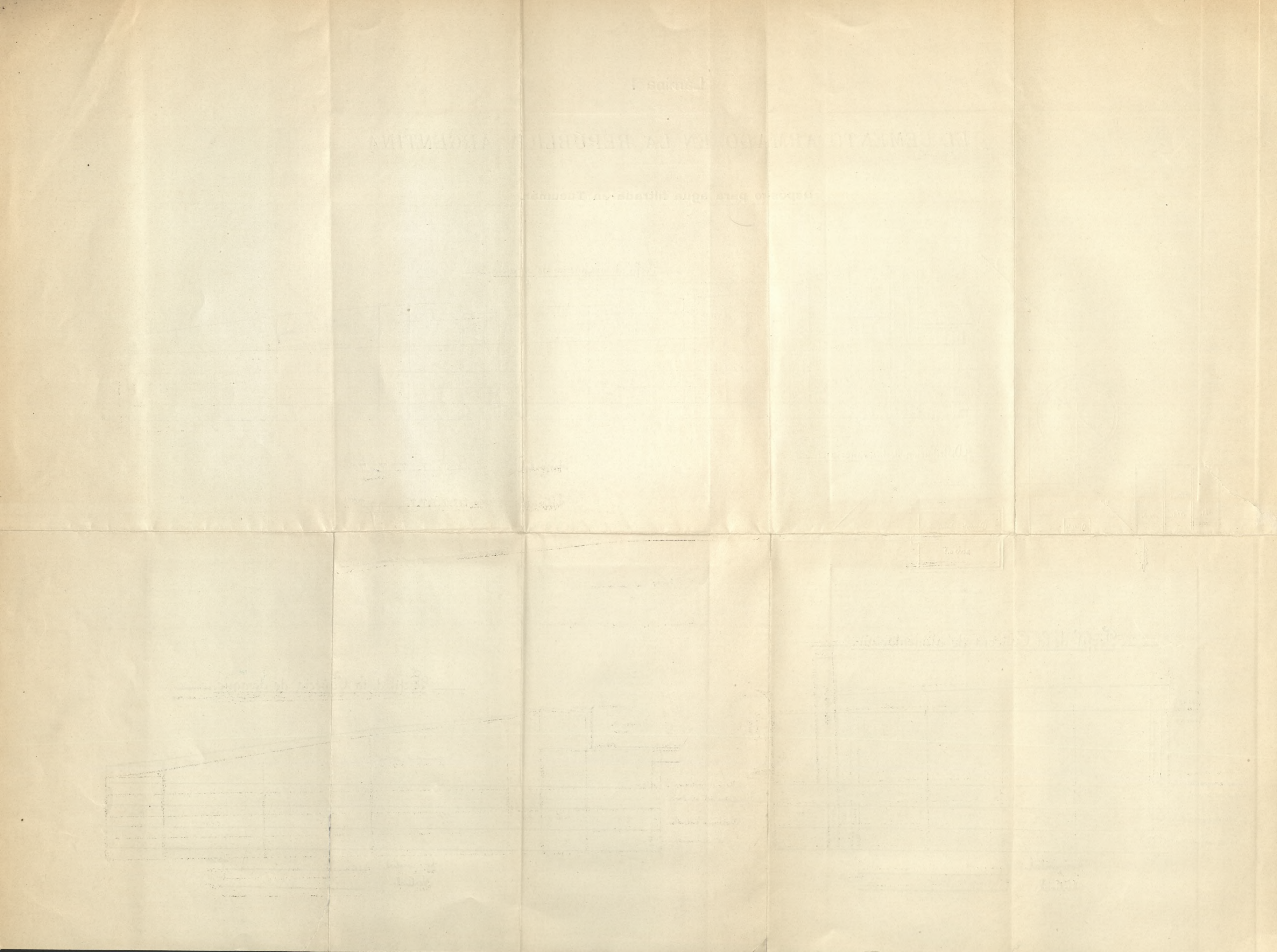
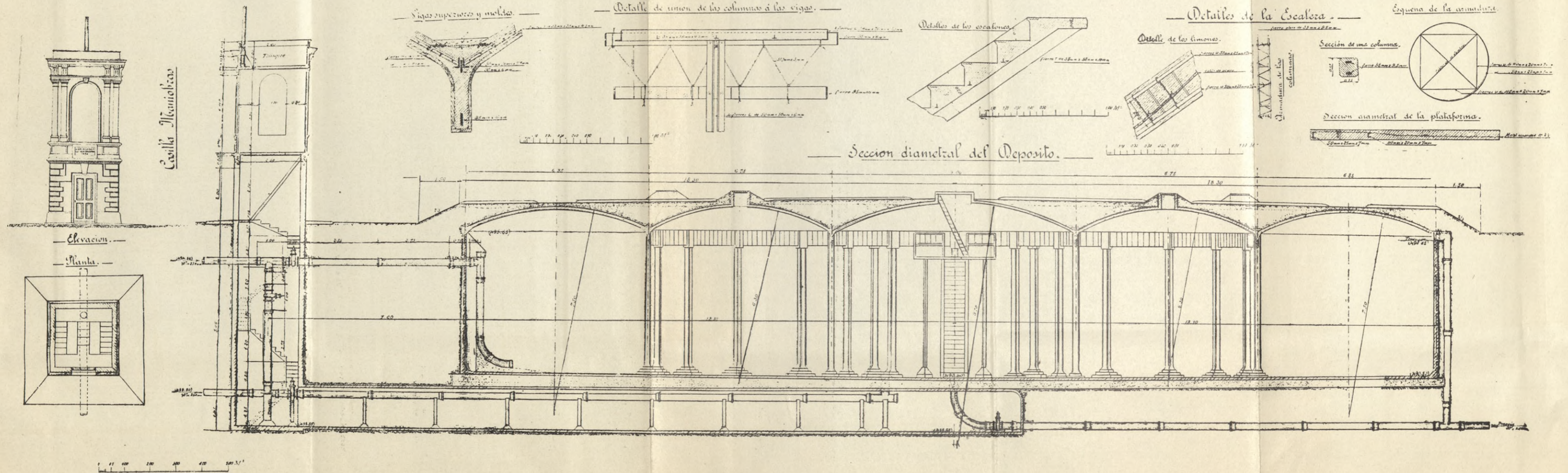


Lámina 3

EL CEMENTO ARMADO EN LA REPÚBLICA ARGENTINA

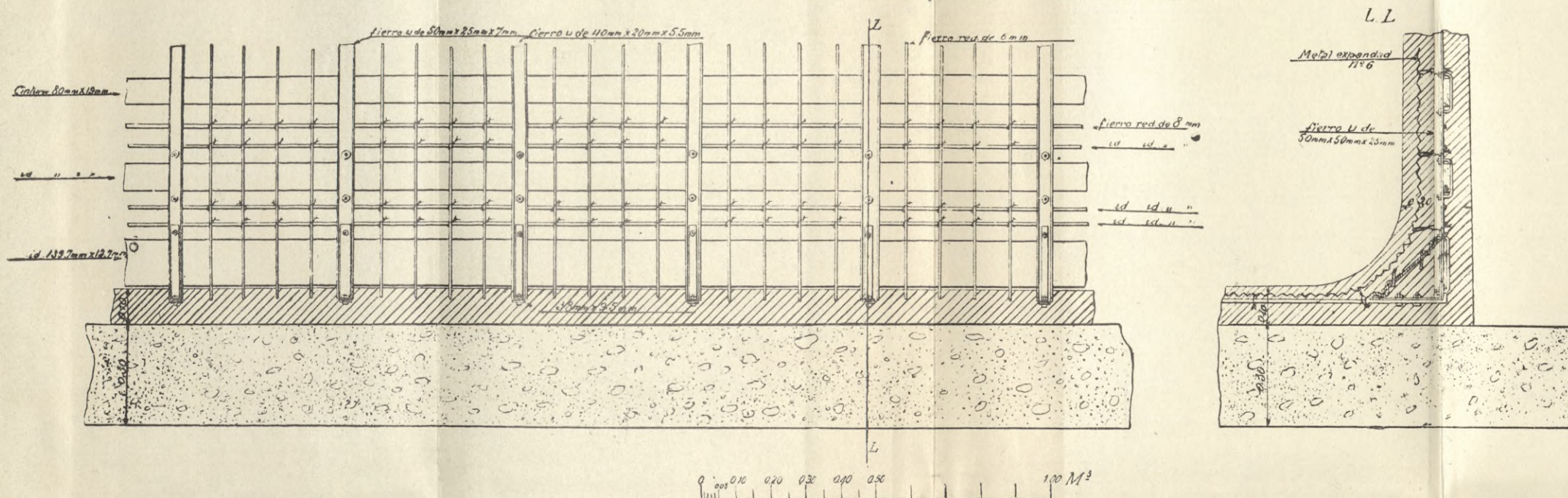
Depósito para agua filtrada en Tucumán



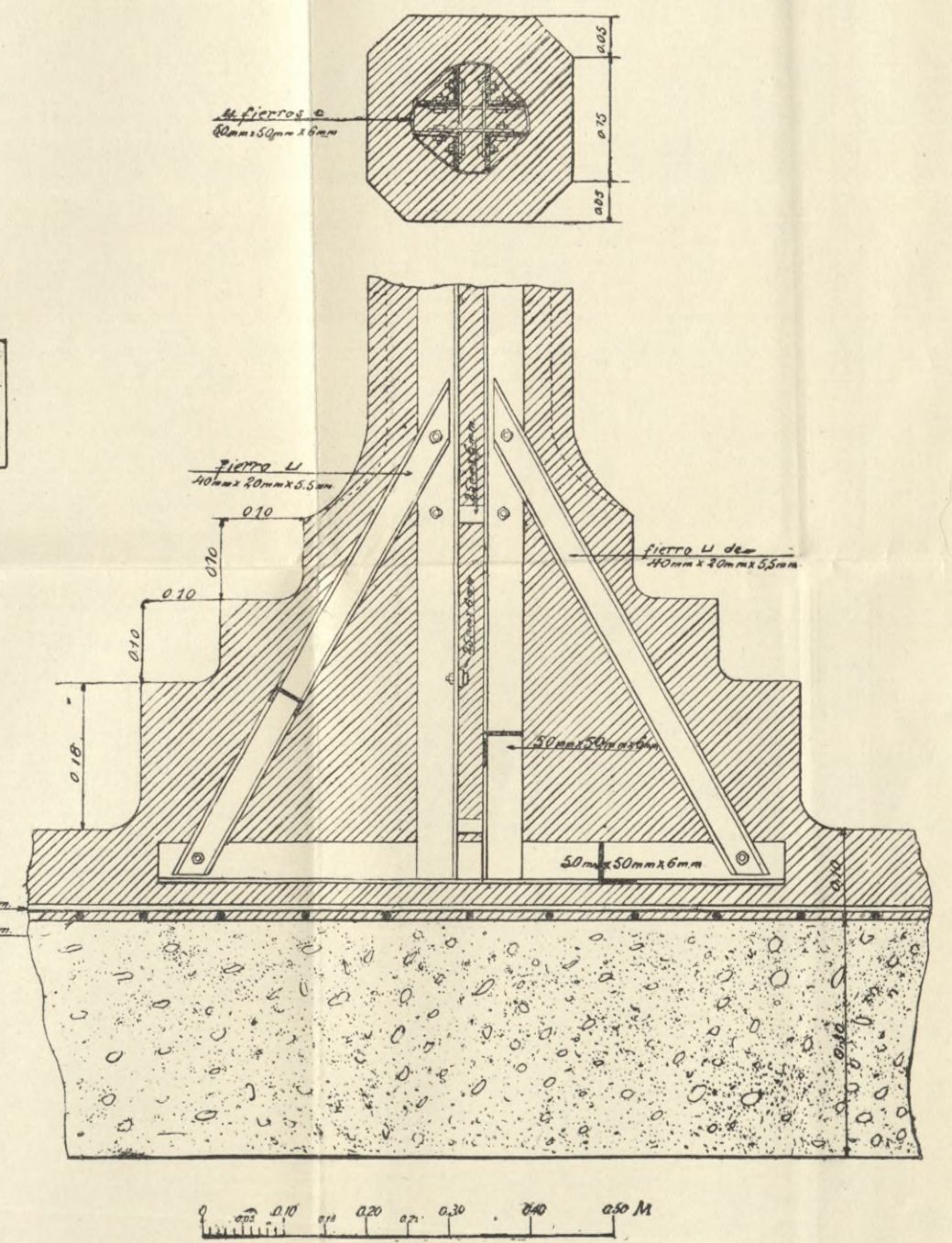
EL CEMENTO ARMADO EN LA REPÚBLICA ARGENTINA

Depósito para agua filtrada en Tucumán

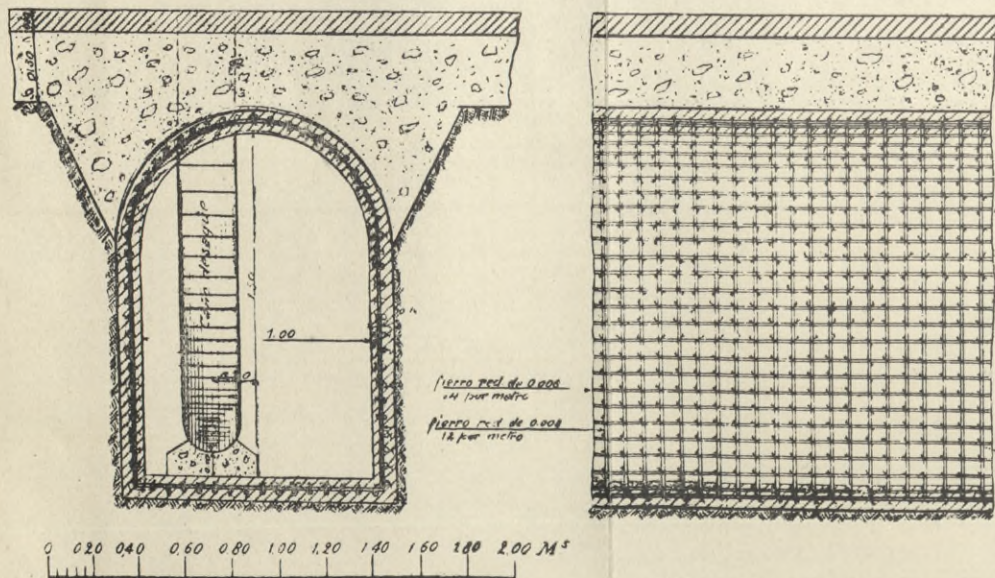
Armadura de la pared cilíndrica.



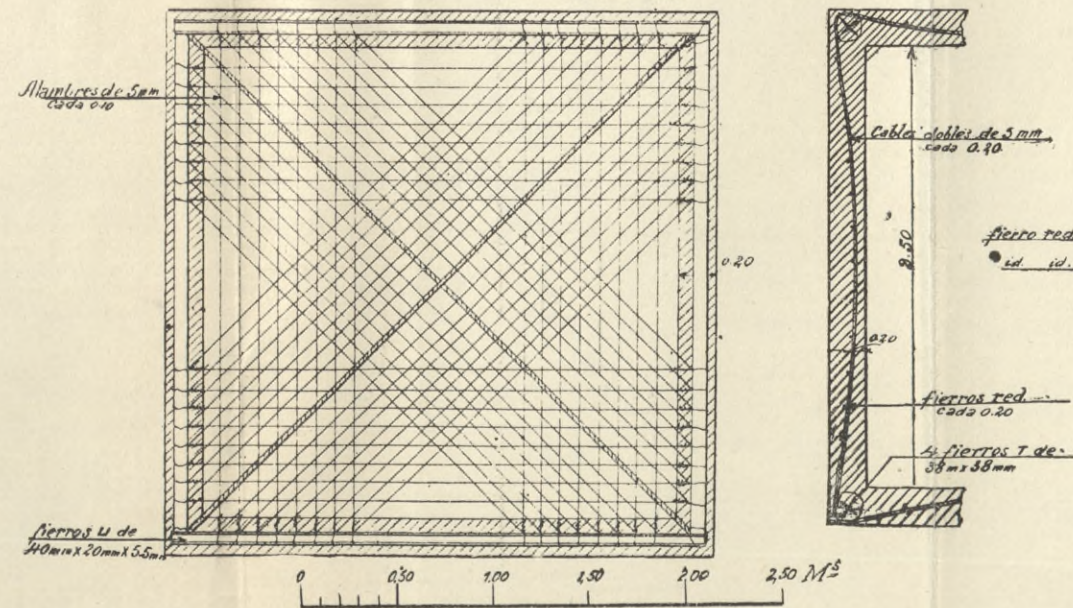
Armadura de una Columna.



Galería de Inspección.



Armadura del piso y mazo de la Casilla.





POLITECHNIKA KRAKOWSKA
BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw.

34000

Kdn. 524. 13. IX. 54

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000304011