

LAS OBRAS DE LA ESCLUSA DE IMUIDEN

Unas notas publicadas recientemente en la revista holandesa *De Ingenieur* sobre los resultados del hormigonado en la esclusa de Imuiden me han recordado dos visitas a esta gigantesca obra, y he creído que quizá fuese interesante comentar nuevamente sus características principales y los métodos nuevos de estudio y construcción que en ella se han empleado.

Situada en la entrada del canal de Amsterdam al mar del Norte (fig. 1.^a) y sobrepasando ampliamente

y amplitud de medios, que como ejemplo puede decirse que, a pesar de estar construídas en 1896 las esclusas que se utilizan actualmente, se llevaron a cabo ensayos detenidos del terreno de cimentación en la ubicación de la nueva obra, distante de la antigua solamente setecientos metros.

Las dimensiones de la esclusa fueron fijadas poco antes de la guerra europea, cuando parecía que el tonelaje de los grandes barcos iba a ser cada vez mayor;

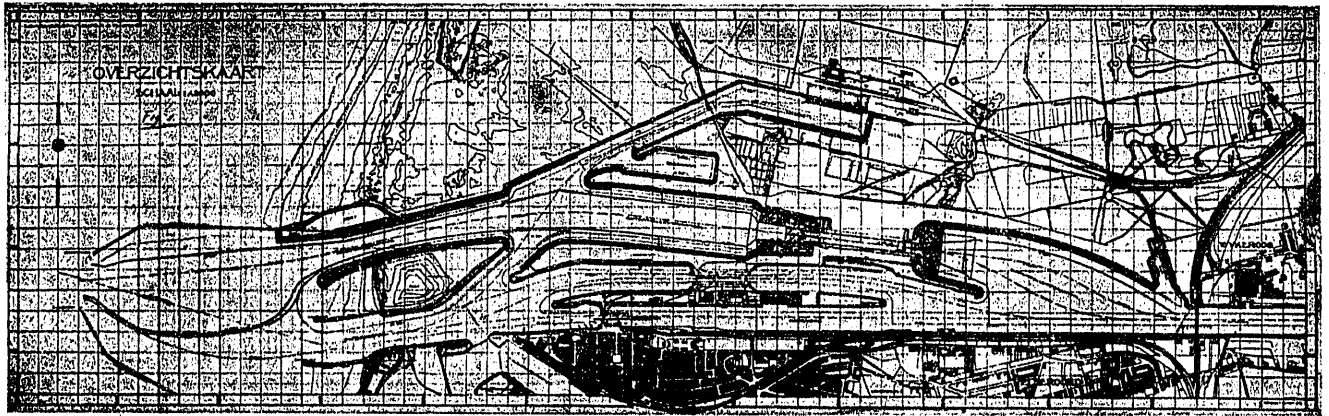


Fig. 1.º Plano general de la entrada del canal de Amsterdam al mar del Norte. En la parte inferior, la entrada del puerto pesquero de Imuiden, y de Sur a Norte, la esclusa antigua; la Gran Esclusa (1896), actualmente en servicio; la esclusa en construcción, con la pequeña dársena auxiliar de las obras, y las dos dársenas comerciales existentes.

en dimensiones (400 × 50 × 15) las mayores esclusas construídas o en construcción (Panamá Pedro Miguel, 305 × 33,50; Amberes Kruisschans, 270 × 35), ha de servir en adelante todo el tráfico de aquel puerto, puesto que el otro acceso ha de cerrarse por las obras de desecación de Zuyderzee. Por su importancia fué desde un principio estudiada esta obra por los ingenieros del Rijkswaterstaat holandés con tal detalle

pero las condiciones de después de la guerra, que han hecho parar esa marcha, han dado lugar a una revisión estrecha de ellas que se suscitó en 1919, antes del comienzo de las obras. Después de titubeos se han adoptado las previstas en principio, por no quedar por bajo de las dos grandes esclusas antes citadas, por facilitar las esclusadas en masa que se presentan con los temporales y las nieblas del mar del Norte

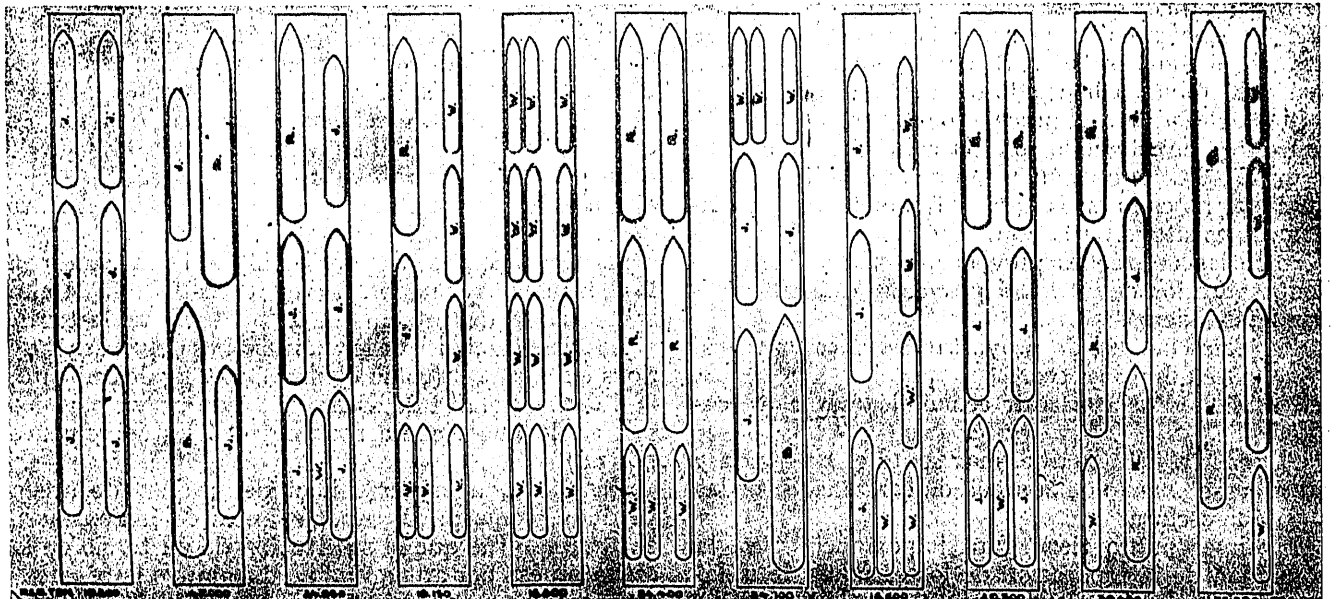


Fig. 2.º Tonelajes totales de registro de una esclusada con tipos de barcos corrientes: B, *Brabantia*, 20 300 t de reg.; R, *Røepaf*, 7 555 t.; J, *Jascn*, 3 200 t.; W, *Waalstroornn*, 1 400 t.

y también por un noble espíritu de emulación y de *record*, que ha colocado en la obra carteles para los extranjeros con un plano y la leyenda *The biggest lock in the World* y que, sentido desde hace años y unido a las circunstancias de su país, ha hecho a los holandeses los maestros de las obras de mar.

Abordaban los primeros ensayos, que se hacían con vistas al proyecto y como un aspecto del problema, la investigación del coeficiente de asiento del terreno (o de balasto, como decía nuestro Zafra), es decir, la carga que produce la unidad de asiento, para deducir las correcciones que habían de introducirse en el momento flector resistido por la solera obtenido del supuesto de su absoluta rigidez.

Se llevaron a cabo experimentos comprimiendo el terreno con una superficie cargada de manera variable; pero las influencias de la variación de la superficie actuante resultaron tan grandes, que en la imposibilidad práctica de hacer ensayos con superficies del tamaño de la solera de la esclusa no se tuvieron en cuenta esas correcciones, y se acometió el proyecto de una esclusa ordinaria de cajeros macizos y de solera rígida. Los estudios del terreno dieron, sin embargo, un resultado que desde el primer momento hizo comprender que el proyecto podría llevarse a la práctica de una manera relativamente económica, porque bajo la capa superficial de arenas se encontró a — 17,50 m del cero de Amsterdam (— 15,50 es la cota de la solera) una capa de arcillas impermeables y otra a la cota (— 40), y esta circunstancia indujo a Mr. Ringers, ingeniero autor del proyecto, a creer en la posibilidad de sustituir parcialmente los cajeros macizos por tablestacados hincados en esa capa de arcillas impermeables y de concentrar todos los acueductos en la proximidad de las cabezas.

Después de una larga discusión se había decidido construir en seco la esclusa; pero esto traía aparejado como problema grave que los agotamientos y las excavaciones habían de perturbar el régimen de equilibrio de las capas acuíferas del terreno que alimentaban a varias poblaciones vecinas, y las consecuencias podían ser terribles, puesto que sobre la primera capa de arcillas que tenía que atravesarse con las excavaciones de las cabezas de la esclusa las aguas son saladas y por bajo de ellas se encuentra una zona de aguas dulces potables colocada sobre la profunda, que es otra vez de aguas saladas. Se consiguió, sin embargo, eludir el problema haciendo descender a la cota — 9 la capa acuífera por el procedimiento de agotamiento continuo y envolviendo toda la cabeza de la esclusa en un tablestacado estanco Larssen de 26 m de profundidad, hincado en la capa inferior de arcillas impermeables situada a la cota — 40.

Entre las cuestiones previas que se habían estudiado sobre los detalles del proyecto, estaban comprendidas, además:

- 1.º Conveniencia de proyectar las cabezas transformables en diques secos.
- 2.º Medios de construir económicamente los cajeros.
- 3.º Efecto del agua del mar sobre el hormigón y empleo en el mismo de la arena de las dunas situadas junto a la esclusa.

El primer punto tiene gran importancia para la posibilidad de la reparación de los caminos de rodadura de las puertas de la esclusa, pero ha sido resuelto sin proyectar las cabezas para resistir como diques secos mediante la adopción de un cajón flotante

que podrá situarse sobre la solera, y construyendo transformables en dique seco las cámaras de las puertas para la reparación de las mismas (fig. 3.ª).

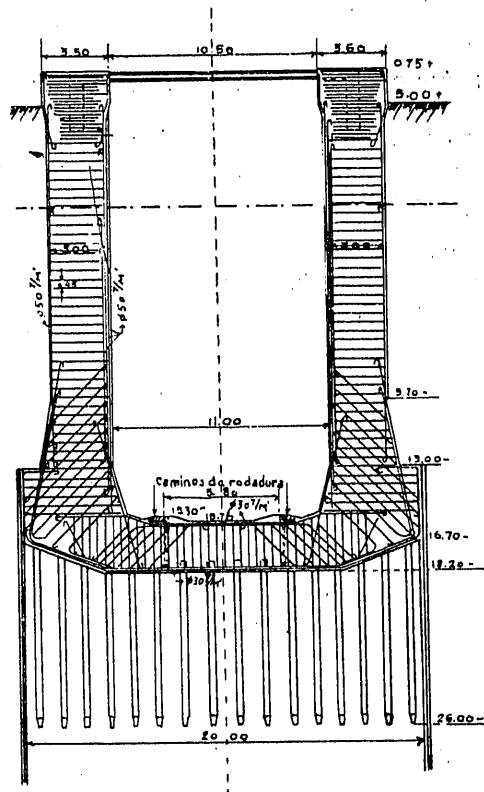


Fig. 3.ª Corte de la cámara de la puerta.

La economía de los cajeros se ha conseguido adoptando muros de cimentación alta, con zarpa trasera sobre pilotaje a la cota — 7,50 y con tablestacado delantero impermeable hincado en la capa de arcillas, todo de hormigón armado, habiéndose obtenido así un importante ahorro de excavación y del cubo de hormigón del muro.

Para los estudios de los efectos del agua del mar sobre los hormigones se siguió un plan de ensayos sobre probetas expuestas durante tiempo al agua del mar, y se ha llegado a las consecuencias siguientes:

El *trass* en adición del 20 por 100 disminuye la resistencia y retrasa el fraguado; pero, sin embargo, ha sido empleado en todos los hormigones de portland por sus favorables efectos químicos, sustituyéndolo en algunos casos por el 50 por 100 de su volumen de cemento de escorias de altos hornos, vistos los buenos resultados químicos obtenidos con este cemento de naturaleza puzolánica.

Es necesario una gran protección de la armadura en los hormigones armados, habiéndose adoptado 34 mm sobre las barras principales de pilotes y tablestacas.

Las dosificaciones de los hormigones deben ser muy ricas en cemento (como ejemplo, 125 kg de cemento, 25 l de *trass*, 175 l de arena, 200 l de grava para los pilotes, lo que viene a ser unos 425 kg de cemento por m³).

En cuanto a la posibilidad del empleo de arena de duna, como ya se suponía antes de los ensayos, el resultado fué que la sustitución de un tercio de la arena gruesa por arena fina no disminuye la resistencia mecánica y aumenta, en cambio, la fluidez del hormigón en el encofrado y su impermeabilidad ulterior, y en general el aumento del árido fino a expensas

con muy buen resultado, como era de suponer por la calidad arenosa del terreno.

Los pilotes traseros son de tracción, y según el autor del proyecto de los muros cajeros, Mr. Josephn Jitta, se ha conseguido con ellos disminuir el ancho de la zarpa, a pesar de la importancia de los empujes que pueden actuar sobre el muro, ya que puede existir un desnivel hidrostático volcador de 2,50 m en ciertas condiciones de servicio de la esclusa.

La construcción de los cajeros se ha llevado a efecto con un pórtico móvil, hormigonándolos por secciones de 28 m y uniendo cada dos contiguas por una junta de machihembra; pero ni la construcción de pilotes y tablestacas, ni la de los cajeros presenta el interés que el hormigonado de la cabeza de aguas arriba de la esclusa, parte de obra adjudicada a la Sociedad Holandesa de Hormigón en 3 millones de florines (7 millones de pesetas), y para cuya construcción era necesario fabricar 62 500 m³ de hormigón, que, más o menos, 7 000 m³ en pilotes y tablestacas, daba un total de 69 500 m³ para el macizo de dicha cabeza. El hormigonado se ha seguido en bloques de manera análoga a la empleada en las presas de embalse, hormigonando cada bloque sin solución de continuidad y no interrumpiendo la fabricación del hormigón desde la una del medio día del lunes hasta las cinco de la tarde del viernes, o sea un total de cien horas, que, menos ocho perdidas, se convertían en noventa y dos de trabajo útil para verter en ese tiempo un cubo máximo de 3 000 m³; así es que la capacidad mínima horaria del hormigonado debía ser 33 m³, dedicándose la tarde del viernes, la noche del viernes al sábado y el mismo sábado a reparaciones y modificaciones en la instalación, ya que era imposible hacer trabajar al personal en domingo.

Para esa producción horaria se adoptaron, después de tanteos, dos hormigoneras de 1 500 litros de cabida y de 1 000 litros de amasada, de cada una de las cuales se calculaba se obtendrían 30 m³ por hora, o sea un cubo total horario que podía oscilar a voluntad entre 45 y 60 m³, habiéndose proyectado todos los aparatos auxiliares de transporte de hormigón y carga de agregados para este cubo máximo.

Se eligió la instalación de hormigonado después de una comparación entre los tres sistemas posibles: 1.º, el empleo de cajas sin fondo transportadas por grúas-pórtico, adoptado en la construcción de muros cajeros, que fué desechado por el gran número de movimientos que eran precisos por la forma de la cabeza de la esclusa; 2.º, el de un cable transbordador, que había de resultar de gran coste, porque la luz había de sobrepasar los 200 m, y por la gran capacidad que se necesitaba, y que, sin embargo, presentaría siempre los inconvenientes originados por la discontinuidad en la llegada del hormigón, y 3.º, el vertido de hormigón por torre y canaletas. Este sistema, nacido y empleado frecuentemente en América, no ha llegado a ser todavía de uso corriente en Europa, quizá porque ha descorazonado a algunos los malos rendimientos obtenidos en una época que por fuerza tiene que ser de aprendizaje.

Después de estudiar el sistema de vertido por canaletas empleado en la construcción de las esclusas de Gestemünde-Wessermünde, en Alemania, y ante la imposibilidad de construir en Europa instalaciones de gran rendimiento, se encargó el proyecto de dicha instalación a una casa norteamericana especialista, y de ella se incluye un croquis en estas notas

(fig. 6.^a). Consta de doble torre con dos cangilones de 1 m³, una canaleta larga y un *derrick*, y situando este último en las dos posiciones indicadas, se consigue alcanzar cualquier punto de la cabeza.

Como se deduce del croquis, el movimiento del conjunto de canaletas y *derrick* ofrece inconvenientes por los vientos de amarre de la torre, y estos inconvenientes disminuían mucho el rendimiento previsto durante mi primera visita al comienzo del hormigonado en el otoño de 1925. Sin embargo, se han atacado y resuelto sin gran dificultad, y recuerdo que mayores se nos han presentado a constructores españoles para el hormigonado de alguna plaza de toros, el tipo ideal de obra para este sistema de distribución del hormigón.

Es también interesante la instalación de mezcla y carga de los áridos y del cemento (fig. 7.^a), por las di-

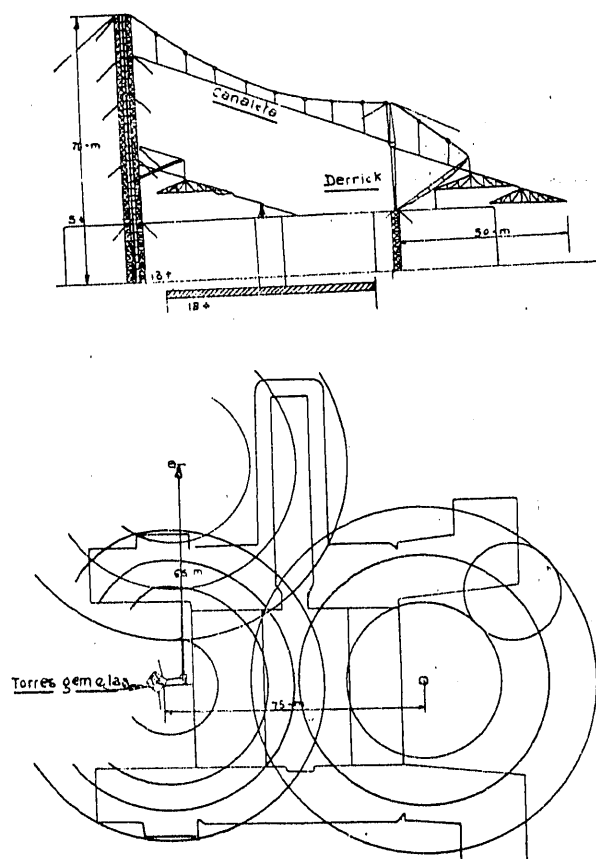


Fig. 6.^a Esquema de la instalación de vertido del hormigón en la cabeza Este.

ficultades que presentaba el mezclado mecánico de un agregado de grava, arena de río y arena de duna con un aglomerante también compuesto de cemento y de *trass*, y por las consecuencias que en la actualidad, una vez puestos en obra los 62 500 m³ de hormigón, se deducen de su empleo.

La mezcla en el tambor del *trass* y del cemento se hacía cargándolo con un propulsor de hélice alimentado por silos en la proporción aproximada en volumen de un *trass* por cuatro de cemento, y en general, cargando todos los silos alimentadores de los mezcladores por las correspondientes partes en volumen de ingredientes a mezclar. Todos los aparatos se movían de manera continua, formando, aproximadamente en cuarenta segundos, una amasada de las hormigoneras que marcha a ellas por el transportador de cinta.

Al comienzo de este año, Mr. Peiser, ingeniero de

la Sociedad adjudicataria de la cabeza esclusa, comentaba en una nota en la revista *De Ingénieur* las observaciones y resultados del hormigonado. Por de pronto, hubo que desistir del empleo del helicoides para la carga del mezclador de cemento y *trass*, porque los silos alimentadores de aquél no daban

poco uniforme el hormigón fabricado en hormigoneras continuas con alimentación mecánica del cemento, aun empleando dosificadores complicados, y mucho menos, según se ha observado personalmente, con los modernos cementos aluminosos, que se aglomeran en pelotas por la absorción del agua atmosférica.

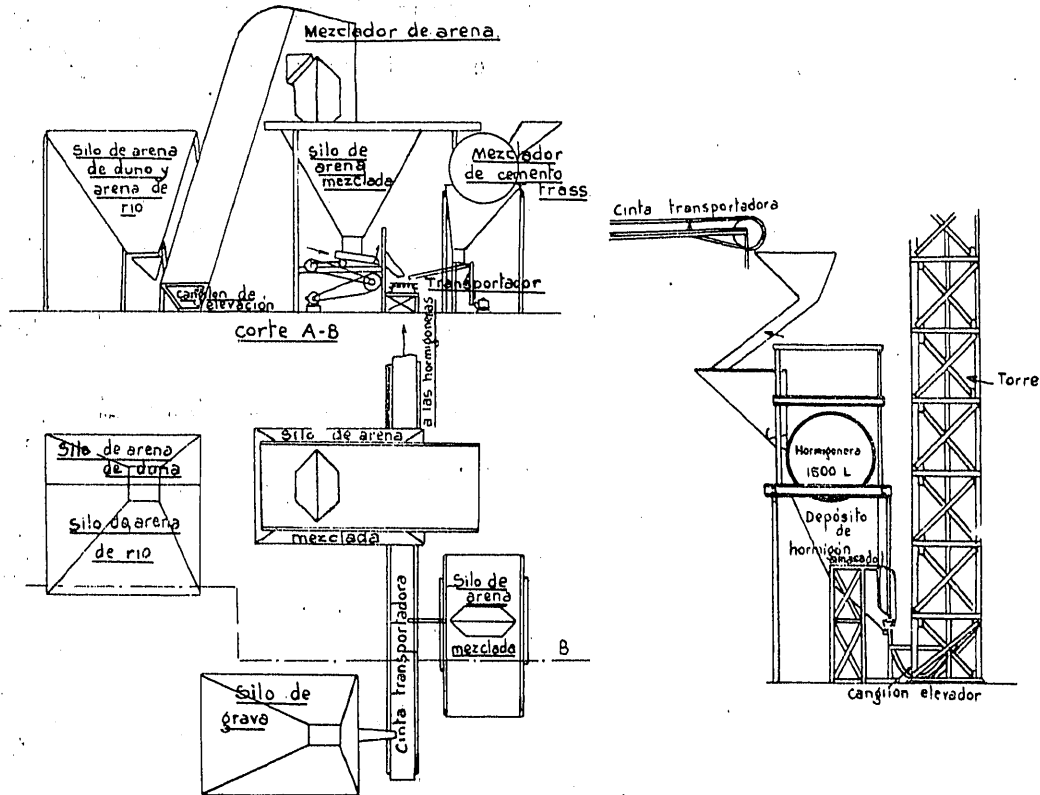


Fig. 7. Esquema de la instalación de mezclas

nunca una carga uniforme ni regulable de manera práctica, porque el apelmazamiento en la boca de las tolvas impedía durante cierto tiempo la salida del aglomerante para caer a veces de golpe, habiendo sido necesario volver al procedimiento primitivo de cargarlo directamente con sacos. Se plantea, por tanto,

Se han presentado también inconvenientes por los puntos bajos que se han producido en las canaletas

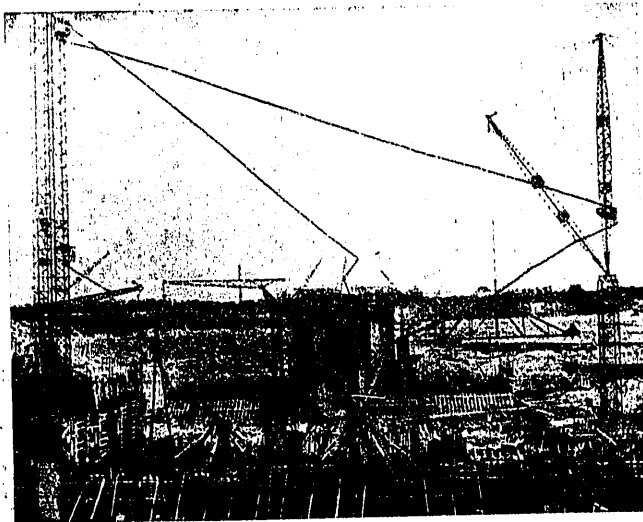


Fig. 8. Instalación para el hormigonado de la cabeza Este de la nueva esclusa de Imuiden.

un problema que por ahora no ha resuelto la técnica satisfactoriamente, ya que quizá por esa causa es muy

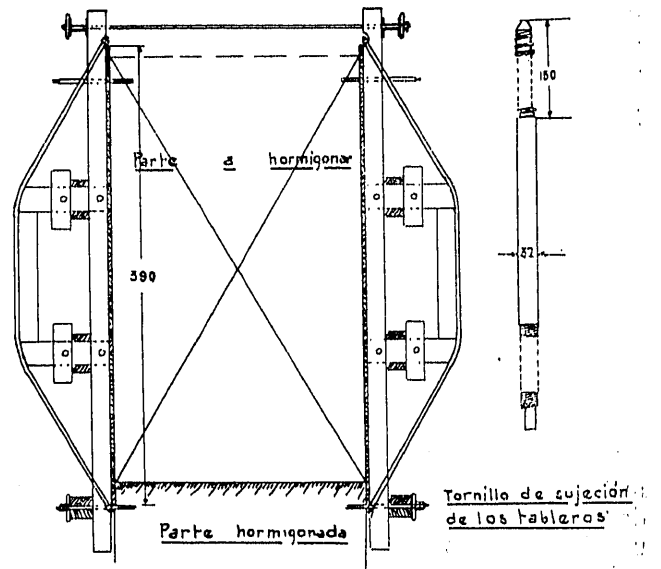


Fig. 9. Encofrado de los macizos de la cabeza Este.

por las flechas determinadas por el peso del hormigón, y que se han evitado dando una contraflecha importante a la conducción, y por lo difícil del manejo de la tolva alimentadora de la canaleta y los desbordamientos de éstas por la existencia de piedras gruesas entre la grava.

La dificultad de los movimientos de los extremos del transporte del hormigón ha sido la principal causa del rendimiento débil que se obtenía en noviembre de 1925 (28 m³ por hora), principalmente porque muchas de esas maniobras tenían que hacerse con dificultad y hasta con peligro durante la noche del viernes al sábado en la parada semanal del hormigonado. Sin embargo, al final del año 1926 se ha conseguido el rendimiento normal de 60 m³ y hasta el máximo de 71 en un lapso de diez horas, a medida que el personal ha ido ejercitándose.

Presenta también interés el encofrado adoptado para las paredes de los grandes macizos (fig. 9.^a) y las consecuencias obtenidas. Los bloques de 3,50 m de altura han solido hormigonarse en cinco horas, y como el cemento de escorias de altos hornos empleado en parte de la obra en lugar del cemento *trass* es de fraguado muy lento, los encofrados debían resistir la presión de los 3,50 m de altura de hormigón completamente fluido, como es necesario verterlo por el sistema de transporte empleado.

Se desconoce el valor de esa presión ejercida por el hormigón, y aunque generalmente suelen proyectarse los encofrados suponiéndolo un líquido perfecto de su densidad, este aspecto no ha tenido importancia hasta ahora por las pequeñas velocidades de hormigonado; pero en la actualidad resultan interesantes los experimentos hechos por Mr. Peiser en Imuiden para determinar esa presión. Construyó un paralelepípedo de 0,80 x 1,20 m de planta y 2,50 m de altura, que fué llenado de hormigón en dos horas y media, y en la parte baja de una de las paredes se practicó un orificio sustituyendo el trozo de pared suprimido por un gato hidráulico sensible que acusaba la presión en un manómetro, obteniéndose como consecuencia que la presión crece de 0 a 2 ton/m² hasta 1,50 m de carga, manteniéndose constante en ese valor, a pesar de aumentar la altura de carga.

Este último valor será desde luego variable con la fluidez de la masa; pero lo importante es la deducción, que no aumenta la presión con la carga, y aunque los experimentos de Imuiden no parecen concluyentes a este respecto, porque, dada la pequeña planta del depósito de ensayo, han de ser muy influyentes los rozamientos con las paredes laterales, sin embargo, la

materia es interesante e importante para el proyecto de encofrados, y por su poco coste pueden y deben los constructores hacer pruebas sobre este punto.

Los encofrados se proyectaron con ese criterio y con un detalle también interesante y que muestra el cuidado con que se han estudiado en esta obra los aspectos, al parecer, menos importantes.

Los tableros de encofrado, imposibles de apuntalar al suelo por la altura de los muros, se han sujetado a estos mismos por medio de tornillos de rosca de madera que llevaban arrollada una espiral de alambre, lo que permitía sacar el tornillo y volverlo a roscar en el agujero mantenido por la espiral cuando fuera preciso. En la fotografía (figura 10) se ve la máquina de tracción que funciona en las obras,

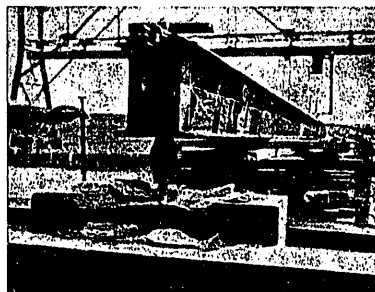


Fig. 10. Pruebas de arranque de los tornillos sujetadores del encofrado.

arrancando unos de los tornillos por una tracción de 7 toneladas en un hormigón de ocho días.

Finalmente, y prometiendo volver sobre este tema, puesto que prosigue la construcción de la esclusa, puede decirse que, como consecuencias aplicables a España, aparte de las disposiciones de detalle inherentes al servicio que la obra ha de prestar, y que deben ser tenidas en cuenta para las análogas que se construyan en nuestro país, y que pueden estudiarse en los folletos descriptivos publicados por la revista holandesa *De Ingenieur*, nos conviene imitar el afán experimental de los holandeses en el estudio detenido que hacen de los menores detalles, que, como el descrito de los encofrados, ha sido atacado como problema técnico e ingenieril, y no como nos ocurre frecuentemente a los españoles, dejado a subalternos y aun a capataces, llevando, como aquéllos, a esas cosas menores el mismo rigor y el mismo método que sirven en los grandes problemas técnicos.

José ENTRECANALES IBARRA
Ingeniero de Caminos.

Puente sobre el Adaja, en el ferrocarril de Avila a Salamanca

El ferrocarril de Avila a Salamanca, en su kilómetro 5, cruza el río Adaja con una altura de rasante de 29,60 m, accidente que ha sido preciso salvar con un viaducto de 204 de longitud.

Estudiado el proyecto de la obra necesaria por los ingenieros D. Roberto González de Agustina y D. Leonardo Torres Polanco, llegaron a la solución, justificada por las condiciones de la localidad, buenísimas canteras de granito de densidad 3,06 a pie de obra y abundancia de canteros en toda la región, de un viaducto de fábrica con la distribución de luces que puede verse en las fotografías y plano que se acompañan,

cinco arcos de 24 m de luz y tres en la margen derecha y cuatro en la izquierda de 6 m, todos ellos de medio punto.

Las dimensiones generales del viaducto son: espesor en la clave de los arcos grandes, 1 m; en los riñones, 1,80; altura de las pilas próximas al río, 12,90 y 14,56; espesor de las mismas en el arranque de los arcos, 3,80; ancho del puente, 4,60, y en las avenidas, 5,40, y luz de los aligeramientos, 3 m. Las pilas llevan, en sentido de la longitud de la obra, un talud de 0,02 y de 0,03 en sentido transversal.

Los cimientos de las pilas que limitan el cuarto