

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

PUBLICACION TECNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

RIA DEL GUADALQUIVIR

Obras de apertura del Canal de Alfonso XIII.

Adquirido el material de ejecución para la apertura del Canal de Alfonso XIII, realizada la solemne inauguración de las obras y en posesión la Junta de parte de los terrenos que se habían de ocupar, que comprendía solamente una longitud de canal de 1.800 metros, se dió principio á la ejecución, comenzando por hacer la instalación del material.

Comprende este concepto general la ejecución de las obras destinadas á desembarazar el terreno de toda clase de servidumbres, la construcción de aquellas otras que exigía el uso del material para su reparación, para sus abastecimientos de agua y de carbón y para la custodia y conservación de los materiales de todas clases afectos á su servicio.

Comprende asimismo el establecimiento de vías de trabajo para las excavadoras y para los trenes, que debían formar cada taller, las de transporte y vaciadero y la preparación de estos últimos.

Se instalaron cuatro talleres, formado cada uno por un excavador y dos trenes de veinte vagones. La longitud del tajo de excavación en cada taller era de 400 metros, poco más ó menos, y la longitud de vía empleada en los vaciaderos alcanzó en junto unos ocho kilómetros.

Conviene recordar que las excavadoras marchan sobre una triple vía de 400 metros de anchura, formada por carriles Goliaht, de 45 kilogramos por metro lineal, llevando, además, en su interior, la vía de trenes de un metro de anchura, con carriles de 32,50 kilogramos por metro lineal.

La excavación practicada con motivo de las pruebas enseñó de manera induble que la resistencia del terreno, y sus condiciones mineralógicas y de humedad, no permitían hacer la excavación de una vez á su profundidad de 16 metros. En el pequeño frente ejecutado en las pruebas se presentaron desprendimientos de importancia que demostraban la inestabilidad del talud de $\frac{1}{4}$, que dejaba el excavador trabajando á toda profundidad.

Hubo, pues, que pensar en dividir la excavación en dos tajos, presentándose el problema de averiguar cuál había

de ser la profundidad del primero que debía crear la superficie sobre que habían de marchar los excavadores y trenes para hacer la apertura del segundo tajo.

No se podía pensar en hacer los dos tajos de igual altura, que era la solución racional para llegar con el mínimo de fuerza al máximo rendimiento de las excavadoras, porque, lo mismo en las pruebas que en los sondeos y reconocimientos practicados, se encontró agua en cantidad relativamente abundante en las tierras en que se habían de hacer las excavaciones.

Se procedió, por consiguiente, á hacer sondeos numerosos, sistemáticamente emplazados, para conocer la altura del agua subterránea en diferentes lugares, notándose que los niveles piezométricos en los distintos puntos, ni formaban un plano horizontal, ni una superficie de carácter regular; señal evidente de que el manto de agua no corría por una capa de permeabilidad homogénea y constante, y de que provenía de una red de venas constituídas por arcillas algo más permeables que las de la masa general, casi desprovista de arena, y que en sí misma era impermeable.

La humedad de estas arcillas, que crece con la profundidad, es debida á un fenómeno de imbibición por capilaridad y quizás á restos del agua de formación.

Proviene el agua, así la de las venas de más permeabilidad como la contenida en las arcillas por imbibición capilar, de una capa de arena y cantos rodados que existe debajo y en contacto con las arcillas, que debiendo proceder de puntos más altos, lleva presión suficiente para alcanzar, cuando sube libremente por un tubo, un nivel próximo á la superficie del terreno, según se ha demostrado en los sondeos y pozos practicados y en los existentes de antiguo antes de comenzar las obras.

En vista de los datos del régimen de las aguas subterráneas y de la composición mineralógica del terreno, se decidió dar al primer tajo de excavación una altura de 3,50 metros, con objeto de que el fondo, que debía servir para instalar los talleres del segundo tajo, marchando por él las excavadoras y los trenes, estuviese seco y fuera de la influencia del agua y de las humedades del terreno inferior; el segundo tajo debió alcanzar, por consiguiente, una profundidad de 12,50 metros para llegar á la cota de excavación de 16 metros, y de 11,50 para llegar á la de 14 metros. Alturas ambas que permiten excavar con un talud suficientemente tendido para que no sean de temer desprendi-

mientos en el talud que dejan los excavadores, ni, por tanto, la inestabilidad de estos aparatos.

Dentro de estos principios de organización comenzaron las obras, abriendo primero, con los cuatro excavadores, un tajo alto en la extensión suficiente para obtener bastante suelo donde pudiera trabajar una excavadora de tajo bajo.

Estos cuatro excavadores no produjeron todo su rendimiento, porque no se disponía para ninguno de la extensión superficial que se necesita para dar todo su resultado.

Fué aprovechado este primer período de obra para conocer detalladamente el manejo de los excavadores, la práctica de los vaciados, los tiempos que se debían invertir en los diferentes movimientos y operaciones, la mejor manera de formar las cuadrillas y equipos de operarios que debían realizarlos, y cuanto hay siempre que aprender de primera intención al usar un material desconocido.

Excavada la parte de tajo alto, suficiente para poder trabajar en tajo bajo, se trasladó un excavador con escala de 20 metros de longitud al suelo creado, se construyeron rampas para subida y bajada de los trenes de transporte, y continuando siempre en el tajo alto con los tres excavadores restantes, se comenzó á excavar en tajo bajo, ó sea en las arcillas húmedas y mojadas.

Más tarde, cuando por la continuación del trabajo de los tres excavadores, se creó superficie bastante para poner en trabajo un nuevo taller en el tajo bajo, se llevó á éste el otro excavador con escala de 20 metros de longitud, empezando otra excavación, que debía llegar hasta una profundidad de 12,50 metros en la masa de arcilla mojada.

No es cosa de ir paso á paso puntualizando las dificultades que se encontraban en las diversas operaciones elementales que componen el trabajo total de excavación y vaciado, determinando á la vez las fechas y ocasiones en que se fueron presentando.

Lo que verdaderamente puede interesar al lector es el resumen que se va á hacer de las dificultades encontradas, de los remedios que se han empleado para vencerlas, del rendimiento del material y de su resultado general.

En los tajos altos, mientras los excavadores trabajaban á profundidades de 3,50 á 4 metros, en que removían tierras secas ó poco húmedas, ni la excavación ni el transporte, ni el vertido de vagones, presentaban dificultad ninguna. El excavador daba el rendimiento máximo, que era de 110 metros cúbicos por hora para los excavadores provistos de cangilones de 180 litros de volumen, y de 150 metros cúbicos para los que llevaban cangilones de 240 litros de capacidad.

Pero, cuando se ha trabajado en los tajos bajos, en las arcillas más húmedas y mojadas, conforme iba aumentando la profundidad de la excavación, ha habido que luchar con numerosas dificultades no despreciables, que han afectado de diversos modos á la excavación, transporte y vaciado, influyendo gravemente en el rendimiento horario de los talleres.

Fácilmente se comprende que así haya sucedido, pues á todo el mundo se le alcanza que no es lo mismo manejar con estos aparatos tierras sueltas y secas que remover arcillas pastosas y mojadas.

Aumentando el grado de humedad de las arcillas de la superficie del terreno al fondo, desde el momento que los

cangilones penetraban en la masa como un metro ó metro y medio de altura, encontraban una arcilla que contenía la cantidad de agua suficiente para hacerla extraordinariamente adherente y pastosa.

Continuaba esta clase de material en un metro ó metro y medio más de profundidad, empezando á aparecer en esta cota charcos de agua, y aumentando la profundidad de la excavación se llenaba de agua la parte inferior de la zanja.

A partir de este momento, y al retirarse los excavadores por medio de ripados practicados en su vía para crear el terreno que debían excavar, ensanchando la trinchera que se iba ejecutando, el agua permanecía en la excavación con un nivel constante y con una profundidad como de 5,50 metros, y esto sentado, claro es que la apertura de toda la canal ó trinchera creada por retiradas sucesivas del excavador, se ejecutaba trabajando con más de las dos terceras partes de la longitud del rosario debajo del agua.

Este estado de cosas acarrea á los excavadores dos inconvenientes principales, á saber: primero, las arcillas pastosas, aún no mojadas, próximas á la superficie, se apelmazaban en el interior de los cangilones, impidiendo que la mayor parte de su contenido caiga en la tolva y en los vagones.

Al mismo tiempo, las arcillas pastosas que llegaban á verter en la tolva se quedaban en ella también apelmazadas, sin pasar á los vagones.

Se evitó que las arcillas quedaran en los cangilones sin verterse, colocando en el eje del prisma volteador superior una cuchilla, que limpiaba sucesivamente los cangilones al pasar, y la tolva se dejaba expedita, sacando con palines la arcilla en ella detenida.

Estas dificultades dejan de presentarse desde el momento en que la cantidad de agua que permanece en la excavación tiene la altura suficiente para mojar, al sumergirse cinco ó seis cangilones, los productos que conducen en su interior; entonces los trozos de arcilla se hacen resbaladizos, pierden adherencia, se desprenden á tiempo de los cangilones y pasan por la tolva hasta llegar al vagón que los ha de recibir.

El segundo inconveniente es debido á las arcillas mojadas, que, después de excavadas, han pasado dentro de los cangilones por la masa de agua; y consiste en que, una vez que se depositan en los vagones, ocasionan abundante goteo, que reblandece el terreno arcilloso en que se sienta la vía del excavador, deformándose ésta gravemente al pasar este aparato, la locomotora y los vagones, presentándose baches, desnivelando las ruedas sobre que se apoya el excavador y enterrando las traviesas que lo sostienen.

La producción de estos fenómenos dificulta la marcha del excavador, produce descarrilamientos, roturas de los resortes de suspensión, y obliga á calzar, con tacos y traviesas suplementarias, los puntos de la vía que se encuentran más empotrados en el terreno.

No hay que decir lo difícil que es hacer, con la premura que se necesita, los ripados de una vía, muy pesada, que se encuentra en estas condiciones; ni tampoco hay que esforzarse para demostrar que semejante estado de cosas conduce á pérdidas de tiempo muy apreciables, que perjudican el rendimiento y la buena marcha de los excavadores.

Efectos análogos á los descritos para las vías de los ex-

cavadores se producen en las vías de apartadero y marcha de trenes, por el chorreo constante de las arcillas mojadas, contenidas en las cajas de los vagones.

Dos medios paliativos se han empleado para evitar estos inconvenientes: ha consistido el primero en perforar los cangilones, con el fin de que lleguen al vagón los productos que contienen con la menor cantidad de agua posible; y ha sido el segundo aumentar la longitud de la vía del excavador para dar lugar á que el terreno se seque antes de que vuelva á pasar sobre la vía mojada y antes de que haya necesidad de mover la vía para riparla.

En los apartaderos y vías de marcha se echa arena también, con objeto de aumentar la dureza y permeabilidad del terreno.

En la actualidad se ensaya otro remedio, que empieza á dar buenos resultados, y que consiste en agotar la excavación para aminorar la altura de agua, disminuyendo así el número de cangilones sumergidos y aumentando á la vez el tiempo que emplean en subir desde el nivel del agua hasta el prisma volteador, durante el cual va perdiéndose el agua que contienen los productos excavados.

Conviene decir aquí que, dependiendo todos los inconvenientes que se acaban de señalar de la cantidad de humedad y de agua que contienen los productos arcillosos de las excavaciones, son aquéllos menores en verano y tiempos secos.

El vaciado de los vagones en los terraplenes de descarga, el ripado de sus vías y la formación de éstos, se ha hecho en buenas condiciones mientras se han manejado tierras sueltas y secas; pero han acarreado y acarrearán dificultades de importancia cuando se han transportado y vertido arcillas más ó menos mojadas.

En el primer caso, los productos secos salen de la caja del vagón fácilmente y con cierta lentitud, tardando el vagón en vaciarse un cierto tiempo muy apreciable; además, corriendo las tierras, al caer quedan en montón muy tendido y separadas del vagón y de su puerta; pero cuando los productos son pastosos y adherentes, la masa contenida en la caja cae de una vez cuando ésta termina su giro, bruscamente contenido por el bastidor, quedándose los productos vertidos muy próximos al vagón, afectando la forma de un montón alto y prismático, que las más de las veces aprisiona la puerta del vagón.

Los resultados de esta manera de comportarse en el vaciado los productos arcillosos son sumamente perjudiciales, porque, además de emplearse un tiempo excesivo en vaciar los trenes con perjuicio para la continuidad del trabajo del excavador (tres ó cuatro veces mayor que el que el que se emplea manejando tierras sueltas), se destroran los vagones, especialmente los bastidores que reciben el golpe de la caja, y también las puertas, que han de sacarse á viva fuerza del montón de arcilla que las aprisiona; además se aumenta de un modo notable el número de jornaleros necesarios para volcar los vagones, para limpiar sus cajas y para dejar expedita la vía.

Con otro inconveniente más grave aún se ha tropezado en los terraplenes de vaciadero formados con arcillas mojadas. Cuando se hacen con tierras secas, la altura de los terraplenes iniciales y de avance puede ser considerable, todo lo que se quiera, porque siempre resultan los recrecimientos sucesivos suficientemente duros para poder soportar inmediatamente después de creado el paso de las locomotoras y vagones; por consiguiente, una vez ripada una

vía, sobre ella pueden verterse muchos trenes, cayendo sobre el talud del terraplén la mayor parte de los productos arrojados, dejando muy poco que hacer á la herramienta de mano para retirar las tierras que hayan quedado en la vía, recreciendo con ellas la rasante y coronación del terraplén parcial en formación.

Mas cuando los productos que se emplean son arcillas mojadas, que, al verterlas, forman una masa de terreno blando, afectando la estructura de montones aislados que corresponden en número y posición á los vagones vertidos, ni permanecen los terraplenes por los grandes desprendimientos que se presentan, que llegan hasta producir el vuelco de vagones, ni se pueden extender inmediatamente los productos arcillosos y pastosos para colocar sobre ellos vías de paso de trenes y locomotoras, ni se pueden arrojar sobre los taludes en formación, ni permiten sentar y ripar vías, ni hacer su arreglo con la azada para crear masas de terreno de forma regular.

Fácil es colegir cuáles han sido los inconvenientes acarreados por este especial modo de ser de los terraplenes formados con arcillas mojadas. Aumentan los gastos de reparación de vagones, de vertido de los mismos, de ripado de vías, puesto que hay que moverlas cada vez que se vacía un tren, y además aumenta considerablemente el tiempo empleado en el vertido de todos los trenes.

Los remedios adoptados, también de carácter paliativo, han consistido en aumentar, previa la autorización superior, el número de locomotoras y de vagones al servicio de los excavadores, la longitud de las vías de cada vaciadero y el número de éstos, poniendo más de uno al servicio de cada excavador.

Procediendo de esta suerte se han perseguido dos objetos: el primero, disminuir el tiempo de parada de los excavadores por falta de trenes, y el que emplean los trenes para vaciar, y el segundo, dar lugar á que se sequen los montones formados por los vagones vertidos, para extenderlos fácilmente con la azada, creando una capa de tierra, unida y seca, que permite, en las mejores condiciones posibles, la instalación de vías y sus ripados sucesivos.

En otras ocasiones, cuando el estado de las obras lo permite, se forman los terraplenes de vaciadero por capas alternativas de arcillas mojadas y tierras secas.

Claro es que estos inconvenientes de los vaciaderos se aumentan y exageran en los tiempos lluviosos.

Para juzgar de los resultados obtenidos con el material empleado en las obras de apertura del Canal de Alfonso XIII hay que empezar por consignar las grandísimas diferencias que existen entre los terrenos en que se ha aplicado este tipo de material, en todos los casos, en el extranjero, y los terrenos en que trabaja para la apertura del canal.

Lo mismo en los canales de Suez y del Báltico, que en los puertos de Boulogne y de Amberes, que en las grandes obras de excavación de las minas á cielo abierto de Alemania, las tierras que había que remover pertenecían, en su mayoría, á formaciones de arena, encontrándose, sólo por excepción, algunas capas de tierra de labor, pero secas y sueltas; y precisamente las experiencias adquiridas en las obras enumeradas fueron las que se tuvieron en cuenta, porque no había otras de qué echar mano, al elegir el material adquirido para la ejecución de las obras y para determinar todas las circunstancias de su proyecto.

En ninguna parte se han empleado los talleres, com-

puestos por excavadores y trenes, para hacer grandes remociones de tierras pertenecientes á formaciones arcillosas, húmedas y mojadas, como las que se encuentran en el Canal de Alfonso XIII.

Podemos, pues, tener la satisfacción de que en España se está ejecutando el trabajo más difícil de movimiento importante de tierra que se ha presentado en Europa.

Sin embargo, cualquiera que sea el juicio que merezcan los resultados obtenidos con el material, y cualesquiera que sean las dificultades que se presenten al usarlo, bueno es dejar sentado que el único tipo de material capaz de ejecutar esta obra es el de excavadores de rosario y de trenes formados de vagones volquetes que se ha adoptado.

Para hablar de rendimientos y de cantidades de obra ejecutada hay que distinguir las que producen el excavador y el vaciadero, considerados aisladamente, y la que resulta para el conjunto del taller, compuesto por estos dos elementos.

Las primeras tienen interés solamente para el que aplica los aparatos, porque tiene la misión de disponer lo necesario para que las dos sean las mayores posibles; la segunda, además de interesar al constructor desde el mismo punto de vista, importa de una manera decisiva á todo el mundo en general.

Los rendimientos de los excavadores, considerados con independencia de la marcha de sus respectivos vaciadores, han sido, y son, de 110 metros cúbicos por hora, en los que llevan la escala de 20 metros de longitud, con cangilones de 180 litros y de 150, y más los que llevan la escala de 13 metros de longitud con cangilones de 240 litros.

Del mismo modo, los rendimientos de los vaciaderos, que depende, entre otros elementos, de las locomotoras y vagones, ha sido satisfactorio, considerado en sí mismo y con independencia de las interrupciones que en su trabajo sufre el excavador; en estas condiciones se emplean de quince á veinte minutos en el transporte y vaciado de un tren, compuesto de 20 vagones, llevando una carga útil de 80 metros cúbicos.

Los rendimientos medios por taller, es decir, por el conjunto y combinación del trabajo de los excavadores con los trenes y con el vaciadero, pertenecientes á períodos largos de obra, son como sigue:

Empezaron las obras el 9 de Julio de 1909, empleándose sucesivamente los excavadores á medida que se iban instalando en sus respectivos talleres.

El número de horas que trabajaron en este año los excavadores de escala larga fué 2.030, ejecutando un volumen de 208.179,44 metros cúbicos, resultando un rendimiento horario por taller de 102 metros cúbicos.

Trabajaron los excavadores de escala corta 1.550 horas, ejecutando 162.883,84 metros cúbicos, con un rendimiento medio horario de 105 metros cúbicos.

La escasez de terrenos expropiados para instalar convenientemente, y con las amplitudes convenientes, los cuatro talleres y sus vaciaderos; el arreglo de las excavaciones hechas durante las pruebas y los entorpecimientos naturales é inevitables en los primeros períodos de ejecución, explican suficientemente, por un lado, las pocas horas que trabajaron en junto los excavadores, y por otro los rendimientos horarios obtenidos, que deben considerarse muy satisfactorios.

En el año 1910 trabajaron los excavadores de escala corta 2.320 horas, ejecutando 369.638,82 metros cúbicos,

produciendo un rendimiento por taller de 114 metros cúbicos por hora.

Un excavador de escala larga trabajó, también en tajo alto, 1.082 horas, ejecutando un volumen de 119.138 metros cúbicos, que da un rendimiento horario de 110 metros cúbicos para su taller.

Además trabajaron dos excavadores de escala larga 4.603 horas en tajo bajo, ejecutando 462.469,80 metros cúbicos; rendimiento medio, 100 metros cúbicos.

Hasta fin de Septiembre de 1910 no se contó con el terreno necesario para desarrollar las obras, habiendo permanecido parados por esta causa algunos excavadores en el tajo alto.

Por lo demás, los rendimientos obtenidos, que representan una mejora sobre los de 1909, deben considerarse también como muy satisfactorios.

El precio medio del metro cúbico, durante los dieciocho meses de ejecución, ha sido como sigue:

	Pesetas.
Por gastos generales.....	0,018
Por excavación y transporte.....	0,221
Por vaciadero, asiento y ripado de vías.....	0,371
Por reparación del material.....	0,085
<i>Total</i>	<u>0,695</u>

Por Real orden de 22 de Marzo de 1910 se fijó el plazo de ejecución de las obras en cuatro años, por lo que se pensó en aprovechar el tiempo y el material trabajando durante la noche, y, por tanto, se procedió en Junio de dicho año á hacer la instalación eléctrica correspondiente. Esta instalación se va ampliando conforme se van extendiendo las obras.

Se ha gastado por este concepto, en el año 1910, la suma de 40.530 pesetas.

Por último, como incidente ocurrido en las obras, digno de ser mencionado, hay que citar la inundación de los talleres y de las excavaciones practicadas, ocurrida el 5 de Diciembre de 1910, por las aguas de la venida extraordinaria de los ríos Guadalquivir y Guadaira.

El canal permaneció inundado durante todo el mes de Diciembre y parte de Enero de 1911, mientras se hacía el cierre del portillo abierto, que empezó á ejecutarse después de volver las aguas á su nivel natural.

No sufrieron perjuicio ni los excavadores ni las excavaciones hechas; y las obras de reparación de los desperfectos causados quedaron reducidas al cierre del portillo, á la limpieza de los aparatos y vías inundadas y á los agotamientos, con bombas, de las excavaciones practicadas, que hacía hoyo y no podían, por consiguiente, tener desagüe natural.

Se gastaron en la ejecución de estas obras, y en la reconstrucción del puente provisional sobre el Guadaira, notablemente averiado por la avenida, la cantidad de pesetas 30.977,90 (1).

LUIS MOLINÉ

(1) De la última Memoria publicada.

