

ALGUNAS CONSIDERACIONES ACERCA DE LA PRODUCCION DE ARIDOS PARA EL HORMIGON EN PRESAS

Ing. C. C. P. R. DE LA VEGA

En el vasto campo actual de la construcción, con gran diversidad de formas y elementos, cáscaras o láminas delgadas y estructuras más o menos ligeras; por un lado, y por otro, masas de gran volumen, como son las presas en cualquiera de sus tipos, no es posible hablar del hormigón en términos de tanta generalidad que lo que se diga convenga a toda clase de obras.

Levantar un edificio en el que por su propia naturaleza no se puede colocar más que una reducida o moderada cantidad de hormigón por día, es muy distinto de construir una enorme mole de cientos de miles de metros cúbicos que exige por sí misma una fuerte producción diaria. En el primer caso, la labor se desarrollará en un régimen como de artesanía, sin agobios en suministros ni en ejecución. Por el contrario, en el segundo caso, el trabajo adquirirá un ritmo de verdadera industria con el acuciamiento de la productividad en todos los aspectos, siendo uno de los principales el de abastecimiento de materiales.

Conviene señalar otra diferencia entre uno y otro tipo de obras, y es el de la clase de hormigón más adecuado a cada uno de ellos. En los elementos delgados y en las estructuras, donde interesa alcanzar temprano la resistencia prevista, debe emplearse arena con una proporción mínima de finos, y un hormigón lo más seco que consienta su puesta en obra. Aunque aquí no es esencial la impermeabilidad, para evitar las coqueas ha de fijarse el tamaño máximo de los áridos y su dosificación según un criterio, por ejemplo el de Faury, que tenga en cuenta el efecto de pared de los encofrados y el de las armaduras, si existen.

En cambio, cuando se trata de macizar grandes recintos, como son las tongadas de los bloques de una presa, en la que la impermeabilidad adquiere importancia primaria, por encima de la resistencia, no debe privarse a la arena de sus granos finos. Entonces es aconsejable dosificar los áridos de acuerdo con una ley granulométrica que haga distinción de los elementos finos de la arena, para considerarlos aparte del resto de los inertes, entre cuyas leyes la más generalizada es la de Bolomey. La única razón para limitar ahora el tamaño máximo del árido, es la de no romper o averiar las hormigoneras y demás maquinaria o medios empleados en el trabajo, porque ensayos hechos en varios laboratorios, indican que el aumentar el tamaño máximo del árido no perjudica a la resistencia, sino que, por el contrario, la beneficia. A su puesta en obra, el hormigón puede tener la consistencia que se estime conveniente desde el punto

de vista de trabajabilidad, ya que ahora no se precisa llegar pronto a la resistencia final. **23**

Una vez hechas estas observaciones acerca de las peculiaridades de la construcción de presas, advertimos que cuanto vamos a decir está inspirado en la práctica de esta actividad.

Hace años, era opinión muy extendida la de que con una buena hormigonera se haría siempre un buen hormigón, pero hoy a tal afirmación no se le puede dar más alcance que el comparativo. Es decir, que el sentido en que hay que interpretarla es en el de que, en igualdad de circunstancias, la hormigonera mejor concebida y mejor construida, amasará mejor lo que entre en ella, pero como nunca podrá enmendar errores o defectos anteriores, puede darse el caso de que una buena hormigonera proporcione un producto deficiente.

La técnica moderna del hormigón demuestra que el proceso para la construcción de su calidad, y de la constancia de sus características, no se reduce a las fases de dosificación y amasado, sino que comienza bastante antes y abarca todas las etapas de la obtención y preparación de áridos.

Este proceso se inicia con la extracción del material inerte, bien se arranque de cantera, o bien se saque de graveras. En uno y otro caso se ha de atender a la mayor uniformidad en la formación de los bancos o depósitos explotados, puesto que ello influirá en la homogeneidad del hormigón, y también en el costo de los áridos, que aumentará al haber rechazo por tamaños o por material no utilizable.

Dejando aparte los estudios y ensayos previos a la elección del lugar de suministro, que quedan fuera de nuestro propósito, nos ocuparemos de las instalaciones para el tratamiento de los áridos, así como de las operaciones que hay que realizar, pero solamente en cuanto puedan afectar a la calidad o a la productividad, que son las facetas más interesantes en la construcción de presas.

La extracción de los áridos naturales podrá hacerse con dragalinas o con dragas. Por razón de la permanencia y fijeza que entraña la instalación de las primeras, éstas tendrán aplicación en graveras de un gran volumen localizado, o en las que las crecidas del río rellenan periódica y sucesivamente el hueco dejado por los áridos ya retirados. La movilidad de las dragas, que pueden ser de orugas, o sobre ruedas, y también flotantes sobre barcas, las faculta para trabajar en toda clase de graveras.

Si se extraen los áridos del mismo cauce del río, es

frecuente que, al remover el revoltón con la cuchara de la dragalina o draga que lo recoge, la corriente de agua produzca un efecto de lavado excesivo y perjudicial por arrastrar todos los elementos finos. Este inconveniente, que será causa de una arena defectuosa, se remedia buscando un arenero que proporcione material apto para corregir la granulometría de la arena retirada con el revoltón.

Cuando se exploten terrazas o graveras de orillas, en las que suele ocurrir un principio de cementación de los limos arcillosos y margosos, quedan éstos pegados alrededor de los cantos de cualquier tamaño en forma de película más o menos tenue y consistente, que es preciso eliminar. De no hacerlo así, esta película impedirá la adherencia de la pasta de cemento al árido, y la resistencia del hormigón experimentará una fuerte reducción.

En este caso, el procedimiento que estimamos más indicado para limpiar los áridos es el de verter el revoltón en un lavador cilíndrico giratorio. Dentro de éste, debido a la serie de choques mutuos de unos cantos con otros, se desprende la capa de impurezas que los recubre y que experimenta un efecto de molienda semejante al que tiene lugar en un molino de bolas, terminando por ser arrastrado su detrito por el agua que sale del lavador.

La cubicación de las graveras que ofrezcan posibilidades para abastecer la obra es un dato de gran interés. Decidirá si hay suficientes áridos naturales, o si habrá que recurrir a que parte de ellos sean artificiales obtenidos por machaqueo, y en este último caso sí será más conveniente abandonar la solución mixta, para que todos provengan de cantera.

Cuando no exista uniformidad en la composición del revoltón de una gravera, el conocimiento del volumen y granulometría de cada una de sus partes permitirá redactar el programa de trabajo, adaptándose a las conveniencias del momento, según se trabaje en cimientos o cuerpo de presa, revestimiento de túneles y galerías, estructuras armadas o muros de espesor reducido en obras accesorias. Para esto, basta hacer la previsión de si se extraerán los áridos de una sola parte de la gravera, o si habrá que hacerlo simultáneamente en alguna otra, para que la composición del conjunto facilite la obtención de la granulometría adecuada a la parte de la obra en que se esté trabajando.

Redactado ya el programa de trabajo, sabidas las producciones necesarias en cada una de sus etapas, y elegido el tipo de dragalina o draga que se va a utilizar, se deduce inmediatamente el número que se requiere de estas máquinas.

Si se utiliza piedra de cantera, que naturalmente ha de ser machacada, nunca debe considerarse aisladamente la fase de machaqueo, sino que debe estudiarse teniendo en cuenta el conjunto de todas las operaciones concomitantes anteriores y posteriores; sistema de voladuras para arranque de la piedra, medios de cargar ésta en cantera, procedimientos de transporte, sistema de machaqueo, tipo de machacadora que se emplea.

Incidentalmente, diremos que el modo de dar las voladuras dependerá de la formación y naturaleza de los macizos rocosos que abarca la cantera, del tamaño que se desee que tenga la piedra arrancada, de la proporción y disposición de las inclusiones de impurezas, y de que existan o no limitaciones a la libertad de acción, debido a la proximidad de edificios, instalaciones, o vías de comunicación de primera categoría.

Contamos, desde luego, con que la carga de la piedra en rama de cantera se hace por medios mecánicos, ya sea con palas excavadoras, o bien con palas cargadoras dispuestas sobre orugas o sobre ruedas con neumáticos. Para transportar la piedra al machaqueo primario, desechamos los trenes de vagones de vuelque automático, porque la circulación por vías fijas restringe la autonomía de movimientos y la elasticidad en las maniobras, de tal modo que influye decisiva y desfavorablemente en la posibilidad y facilidad de cargue cuando han de darse grandes voladuras. La piedra que cae en enorme cantidad tapa las vías, casi siempre con rotura de las mismas, y si para evitar esta rotura se cubren todas las que pudieran ser dañadas, con un colchón protector de tierra o piedra, previamente a la voladura, o si se opta por desmontarlas para montarlas nuevamente después de cada explosión de arranque, todo ello se traduce en encarecimiento, y sobre todo en una gran pérdida de tiempo, con la consiguiente mengua en la producción.

Pero se haga lo que se haga, el resultado será siempre el mismo. Tropezaremos con la gran dificultad de escasez de vías, y con que el sitio más apropiado para las maniobras de acercar trenes vacíos al cargue y retirar los vagones llenos, estará cubierto por el gran montón de piedra arrancada por las voladuras.

Esta es la razón por la que se aconsejan, con carácter casi de exclusiva, los vehículos automóviles tipo dumper para retirar la piedra del frente de cantera. La economía y eficacia en el funcionamiento del equipo de palas de cargue y vehículos de transporte, requiere que se relacione adecuadamente la capacidad de aquéllas con la cabida de éstos.

Puede ocurrir que por disponer ya de una determinada machacadora, venga impuesta la dimensión máxima de la piedra que se cargue en cantera, y que esto obligue, a su vez, a un tamaño de la cuchara de la pala; y puede suceder también que se tenga libertad en la elección, o que no sea el tamaño de la piedra, sino la producción, la que fuerce a fijar el volumen de la cuchara. Pero sea como sea, la capacidad del vehículo ha de ser siempre proporcionada a la de la cuchara que le carga.

Para poder asegurar un ritmo determinado en la extracción de piedra, y sobre todo para mantener la consiguiente regularidad del cargue, es punto fundamental que el frente de cantera sea lo suficientemente amplio en lo que se refiere a longitud.

Si el frente es corto, las faenas propias de extracción, que enumeradas en su orden natural son: perforación, pega, saneo y taqueo, pueden llegar a interferir con el cargue, de tal modo que, aun teniendo piedra en el suelo, es como si no hubiese ninguna, porque no se puede car-

gar. Que esto es una realidad, puede verse con sólo atender a dos aspectos del trabajo en cantera: la seguridad en el trabajo y la posibilidad de cargue.

Y conste que de estos dos aspectos citamos, en primer lugar, el de la seguridad en el trabajo, no sólo porque el saneo, faena indispensable para ella, debe preceder al taqueo necesario para el cargue, sino también porque las razones de humanidad así lo aconsejan.

Si anteponeamos, por tanto, la seguridad a cualquier otra consideración, es evidente que mientras no se sanee la zona del frente en que se acaba de pegar, no se debe taquear la piedra que hay debajo, y como mientras no se taquee no se puede cargar, ha de haber otra parte de la cantera donde se esté cargando.

Además, en canteras en que se llegue a tener una altura considerable de frente, cosa que ocurre en no pocos casos, debe evitarse cualquier clase de trabajo en las partes altas de la zona en que se esté efectuando el cargue de piedra, incluso el de perforación, pues los trozos de roca que pudieran hacer rodar los martillazos, o los sondistas, representan un peligro evidente.

Y ya se comprende fácilmente que si el frente de cantera tiene escasa longitud, se presentará el barullo e interferencia de operaciones que no deben simultanearse, pues con esto sólo se lograría la baja en la producción y el correr el riesgo de accidentes que siempre serán injustificables.

La norma que la práctica nos ha demostrado ser más conveniente es la de fijar una longitud mínima tal, que el frente pueda dividirse en tres zonas para llevar los trabajos del modo siguiente. En una de estas zonas se acaba de dar una voladura y se empieza a sanear el frente inmediatamente, y a continuación se taquea la piedra caída para dejarla en condiciones de cargue. En otra zona se está cargando la piedra arrancada y ya taqueada, y en la tercera, se perfora para pegar, sanear y taquear, cuando se pase a cargar a la primera.

De este modo, establecido un ciclo para el turno de faenas en las tres zonas, y proporcionando el volumen arrancado en cada una al ritmo deseado, tendremos la seguridad de que siempre se dispondrá de piedra arrancada en dos de ellas, y en una ya taqueada, en tanto que se perforan barrenos en la zona restante. Es decir, que la reserva mínima de piedra en condiciones de cargarse, será la correspondiente a una voladura.

Como el volumen de roca afectado por una voladura de tipo medio, puede estimarse en unos 8 000 a 10 000 metros cúbicos, apreciados en perfil, esa reserva mínima equivale a unos 10 000 a 12 000 m.³ de hormigón puestos en obra.

Todavía cabe aumentar esta reserva mínima hasta llegar al volumen arrancado en dos voladuras. Esto se consigue haciendo conjuntamente las dos cosas siguientes: fijar también un orden cíclico en la perforación de barrenos, a fin de hacer los taladros de cada zona de cantera inmediatamente después de dar una voladura, y evitar, además, la pérdida de tiempo en las faenas de saneo y taqueo, posible esto último según pasamos a ilustrar seguidamente.

Con el natural deseo de incrementar el rendimiento en el arranque de roca, se han probado distintos procedimientos, entre los cuales prevalece el llamado de la perforación inclinada, del que vamos a dar una breve explicación, al mismo tiempo que exponemos la teoría en que se funda.

Es sabido que la detonación de un explosivo produce una masa gaseosa a gran presión dentro del taladro del barreno, creándose con ello ondas de un violento esfuerzo de compresión dentro de la roca circundante; que se van propagando en todas direcciones. En las proximidades del barreno, la compresión es lo suficientemente intensa para originar el quebrantamiento de la piedra, pero disminuye rápidamente a medida que se propaga y aumenta la distancia.

La propagación de la compresión continúa hasta que se refleja en una superficie libre, regresando entonces convertida en vibraciones de esfuerzos de tracción. Puesto que la resistencia de la roca a tracción es mucho menor que a compresión, los esfuerzos reflejados tienen intensidad suficiente para romper la roca por tracción actuando hacia atrás, o sea, desde la superficie libre hasta el agujero del barreno.

Basta mirar la figura 1.^a para darse cuenta de cómo un barreno inclinado proporciona, en el frente de cantera, una mayor superficie libre que un barreno vertical, y cómo esa superficie libre aumenta al mismo tiempo que la inclinación del taladro.

Fijémonos en dos zonas del barreno una vez cargado: la inferior, que coincide con el piso de cantera, y la superior, donde está el relleno de material inerte que constituye el taco. Si consideramos, en la primera, la parte de roca comprendida dentro del ángulo recto AIB, se ve que solamente se aprovecha la mitad del efecto producido por el explosivo existente en el punto I. Análogamente ocurre en todos los demás puntos próximos al fondo del barreno, que es donde se dispone la carga concentrada del explosivo de mayor potencia, encargada de asegurar el arranque de la parte baja del frente, llamado repié en el léxico corriente de cantera. La figura muestra claramente también cómo, a medida que se incrementa la inclinación del barreno, se aprovecha cada vez más la acción de la carga de fondo, con lo que se alcanza su plena eficacia para el arranque completo del repié. Conseguir esto tiene una gran importancia, porque se evita el sobrecosto de nueva perforación y más gasto de explosivos, así como la pérdida de tiempo correspondiente, para quitar el repié.

Por encima del punto S de la zona superior, en el que termina la carga repartida y empieza el relleno del taco, se encuentra la zona de donde salen los bloques de mayores dimensiones, que son los que hay que taquear una vez caídos, para reducirlos a tamaños que permitan su carga y que puedan entrar en la machacadora. Según se aprecia en la figura 1.^a, esta zona disminuye según aumenta la inclinación del barreno, y con ello tenemos un ahorro más de dinero y de tiempo al eludir, o cuando menos reducir a su mínimo, la perforación y consumo de explosivos en taqueo.

Además de estas ventajas se tiene también la de mejor fragmentación de la piedra arrancada, consecuencia del mayor grado de aprovechamiento de la fuerza del explosivo. Esto permite separar más los barrenos del frente, o entre sí, disminuyendo así la relación metros de taladro por tonelada de roca extraída, con la secuela de ahorro de explosivo en arranque.

Otro efecto de este modo de perforar es el de no

renar con una oblicuidad entre 20 y 25° respecto a la vertical. Actualmente, nosotros estamos perforando a 22°, en una cantera situada en una ladera que tiene una pendiente de un 35 por 100.

También puede ser de utilidad en la explotación de canteras el procedimiento del precorte (*presplitting*), que es la realización en la práctica de una de las técnicas más modernas en excavación.

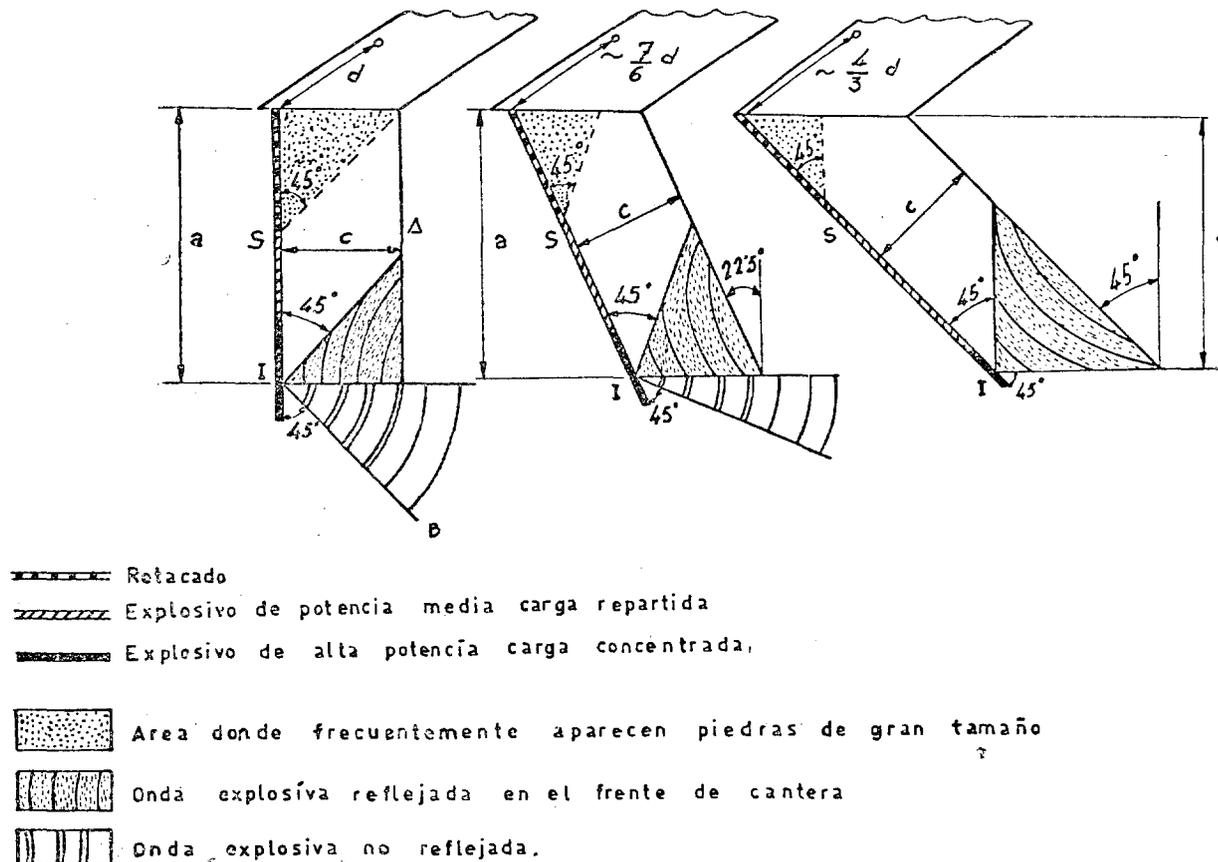


Figura 1.ª

producir grietas ni resquebrajamiento por detrás de la superficie definida por los barrenos, y dejar, por tanto, el nuevo frente en condiciones de seguridad sin que sea preciso sanearlo.

En resumen, teniendo en cuenta todas las operaciones de extracción y trituración, el sistema de perforación inclinada proporciona, en algunas ocasiones, economías que llegan hasta el 10 por 100 en el costo de los áridos. Y elude las operaciones de saneo y taqueo, abreviando así cada uno de los tiempos del ciclo de trabajo en cantera.

En la práctica se considera la inclinación de 30° como óptima, porque es la que aún más las ventajas de la perforación inclinada con la facilidad de perforación. Sin embargo, en laderas con alguna inclinación, se suele ba-

tiene especial aplicación cuando las canteras se encuentran próximas a la obra, cerca de la cimentación de la presa, y se desea evitar las grietas que podrían producirse por las sacudidas de las explosiones en una roca que tenga tendencia a fisurarse.

Operación indispensable para la debida limpieza de los áridos, y que debe hacerse con antelación al arranque de la piedra, es la de quitar la capa superficial de tierra vegetal y de roca descompuesta o alterada no aprovechable.

Una ayuda de gran eficacia para esta limpieza es el aparato llamado monitor, que es una lanza-chorro de agua a gran presión. Este aparato es, asimismo, de gran utilidad para la limpieza y refinado de la superficie de cimentación de la presa, pues no solamente lava la roca, sino

que también desprende y remueve piedras que hubiesen tenido que arrancarse con barra de mano. La fotografía de la figura 2.^a presenta un monitor en pleno trabajo.

Pero aun teniendo la cantera limpia, no por eso queda preparada para la explotación intensa a que ha de estar sometida. Falta todavía llegar a una altura de frente, que permita esta intensidad en el ritmo de trabajo.

Esto hace ver la necesidad de adelantar la labor de arranque de la piedra respecto a la fecha de su empleo para la confección de hormigón, porque únicamente así se conseguirá una altura de frente, y una amplitud de plataforma de maniobras, que garanticen el poder desarrollar la obra con arreglo al programa fijado.

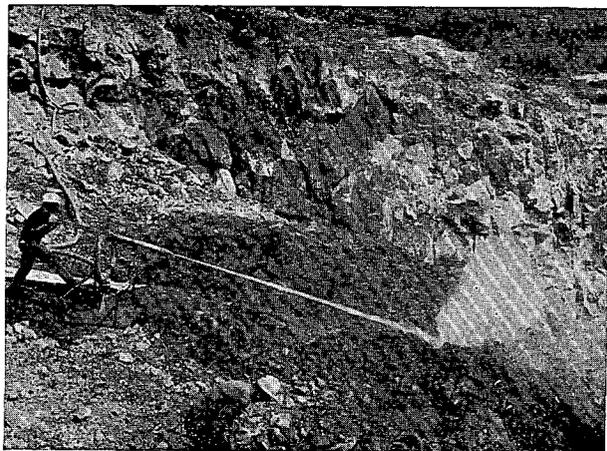


Fig. 2.^a—Monitor trabajando en limpieza de cimentación de presa. En la fotografía de la derecha puede apreciarse una piedra de gran tamaño removida y arrancada por el chorro de agua.

(Monitor working in the dam foundation cleanliness. In the right picture it can be appreciated a big stone removed and taken off by the water jet).

De lo que acabamos de decir se deduce que, independientemente del sistema que se emplee para el arranque de la piedra, y de cómo se organice el conjunto de las distintas faenas de suministro de áridos, en una obra en que se desee una producción de hormigón muy elevada y que haya de abastecerse con cantera, en la explotación de ésta se presentarán siempre dos etapas.

1.^a Desde su iniciación hasta que el frente adquiere la altura necesaria para dar voladuras de importancia. En esta primera etapa va incluido el período de preparación.

2.^a Desde que el frente tenga esa altura, hasta el final de la obra.

En tanto dure la primera etapa no se podrán arrancar grandes volúmenes, pues aunque se perfore en una gran parte de la longitud del frente, la superficie que así se consiga en él todavía será escasa.

Pero si abrimos la cantera con la debida anticipación en relación con el comienzo del hormigonado, toda la piedra extraída en este período de adelanto, que quedará

almacenada en cantera, constituirá un depósito inicial que permita cubrir el déficit en las producciones de los primeros tiempos.

Y ya que hemos tocado el punto de depósitos en cantera, aprovechamos para exponer nuestro criterio personal de que es aquí, precisamente en cantera y no en los silos de obra, donde debe estar la verdadera reserva de áridos, pero en forma de piedra en rama, o sea, sin machacar todavía. Ello es posible si el trabajo se organiza de un modo análogo al que hemos indicado anteriormente, dividiendo el frente en tres tramos y haciendo una explotación individual y cíclica de ellos, pues entonces se podrá redactar un programa-calendario de voladuras, y

se sabrá con la suficiente antelación el volumen de piedra arrancada que habrá en el suelo de cantera dispuesta para el cargue. Así, con una instalación de machaqueo razonablemente concebida y dispuesta y equipada de los debidos repuestos a pie de obra, tendremos la máxima garantía posible de cubrir las necesidades del hormigón, aun con silos de áridos clasificados cuya capacidad no supere la equivalente a la producción de dos días de hormigonado.

En contraposición con esto, cuando por ofrecer dificultades la cantera, o por no explotarse adecuadamente, no se llega a crear un remanente de piedra en grueso, no es raro ver grandes silos casi vacíos, que no se llenan más que cuando se suspende el hormigonado por avería en los medios auxiliares para la puesta en obra del hormigón.

Por otra parte, el exceso de costo no recuperable en hacer unos grandes silos de áridos clasificados de carácter temporal, cuya capacidad sólo se aprovecha en contadas y no deseables ocasiones como acabamos de

decir, supòne a vècès un ìmpòrte mayòr què el aumèntar el repuesto a pie de obra para la maquinaria de machaqueo, repuesto que siempre tiene un valor en inventario.

Arrancada ya la piedra, se presentan tres cuestiones que hay que solucionar. Dònde se hace el machaqueo primario, si en cantera o en obra; rìgimen de machaqueo y trituraciòn; tipo y nùmero de màquinas que se han de emplear.

El emplazamiento del machaqueo primario depende esencialmente de la situaciòn relativa de la cantera y la obra, y de las posibilidades de comunicaciòn entre ambas. Si existen carreteras o caminos aprovechables para transportar en camiones la piedra en grueso, o si caso de no existir pueden construirse dentro del orden econòmico que conviene, deberà hacerse el machaqueo primario en obra, por las ventajas que indudablemente tiene el agrupamiento de toda la maquinaria de una misma instalaciòn. Pero si las circunstancias peculiares del caso hiciesen antieconòmico el transporte de la piedra gruesa en vehìculos, habrà que desdoblar la instalaciòn de machaqueo efectuando el primario en cantera y el resto en obra. La piedra ya machacada permite el empleo de otros medios de transporte, que podràn ser la cinta transportadora o el telefèrico, segùn las circunstancias de cada caso.

Por lo que toca al rìgimen de machaqueo, puede ser en una o en varias pasadas, en circuito cerrado o en circuito abierto.

Tal y como expresa su nombre, el machaqueo en una sola pasada consiste en pasar la piedra una sola vez por una sola machacadora, sistema que no se presta para suministrar àridos de cantera, porque serà muy improbable conseguir así una granulometrìa aceptable; pero sí serà adecuado en las graveras en las que se haga necesario machacar los bolos y cantos de tamaño excesivo, para aprovechar los productos mezclàndolos al revoltòn de àridos naturales.

El machaqueo en varias pasadas se hace vertiendo todos, o parte de los productos primarios, en otras màquinas colocadas en serie, de modo que la reducciòn de tamaños de la piedra aumenta cada vez más, y tiene lugar en dos, o en más veces sucesivas. En la pràctica se procederà de acuerdo con la mayor o menor necesidad de àridos finos y gruesos.

Se machaca en circuito cerrado cuando el rechazo, constituido por los trozos superiores al tamaño máximo admisible que sale de una màquina, se va echando en esa misma màquina para remacharlo a medida que se produce. A nuestro modo de ver, este procedimiento sólo tiene aplicaciòn como complemento del machaqueo en una sola etapa, ya que entonces todas las reducciones de tamaño han de hacerse forzosamente en la ùnica machacadora de que se dispone.

En el trabajo en circuito abierto ningùn producto vuelve a pasar por una màquina en la que ya sufrió una trituraciòn.

Salvo algùn caso en que concurren circunstancias extraordinarias, el machaqueo de àridos de cantera se hace

siempre en varias pasadas, y si las distintas màquinas son las idòneas para el trabajo y para la producciòn que se exige, todas ellas podràn trabajar en circuito abierto, que es lo preferible.

Cuando haya que proyectar una instalaciòn de machaqueo para obtenciòn de àridos, aconsejamos que se haga un estudio completo y detenido, con todo interés, tanto del conjunto como de sus detalles, analizando las necesidades en cada uno de los escalones de trituraciòn, el modo más sencillo de satisfacerlas y el tipo de màquinas más adecuadas para conseguirlo.

Aunque la elecciòn del tipo de màquinas y la determinaciòn de su nùmero las hemos agrupado como una cuestiòn aparte del rìgimen de machaqueo, está tan íntimamente ligadas con éste que no cabe tratar de unas y otro por separado. Uno de los datos esenciales para el estudio que ha de hacerse, es conocer la clase y características de la roca que hay que machacar, a cuyo efecto se deben recoger muestras para efectuar los ensayos que se juzguen pertinentes.

Para exponer la forma de estudiar el proceso de machaqueo, vamos a aplicar el procedimiento que siempre hemos seguido nosotros al supuesto de una gran presa en regiòn de alta montaña, en la que por ser obligado suspender toda actividad durante casi cinco meses, y por no poder hormigonar más que en turno de día la mayor parte del resto del año, es preciso mantener una producciòn horaria de 400 m.³ de hormigòn durante todo el tiempo ùtil para el trabajo.

Esto requiere que se machaquen $400 \times 2,1 = 840$ toneladas por hora de granito, que es la roca existente en la regiòn.

Se impone la condiçiòn de que la capacidad en punta de la instalaciòn exceda en un 30 por 100 a la producciòn media resultante del programa de trabajo. Esto fija la producciòn tope de la instalaciòn de machaqueo en $840 \times 1,3 = 1\ 092$ Tm. hora.

El tamaño máximo del àrido serà 120 mm., y se clasificarà segùn esta gradaciòn de dimensiones:

Grava gruesa	60-120 mm.
Grava fina	30- 60 mm.
Gravilla gruesa	15- 30 mm.
Gravilla fina	5- 15 mm.
Arena, menor de 5 mm.	

El cuadro de porcentajes para dosificaciòn de estos distintos tamaños en el hormigòn, que suponemos fijados por el Pliego de Condiciones de la obra como consecuencia de ensayos previos, se consigna más adelante.

Dada la gran producciòn de àridos que se necesita, se presenta como soluciòn conveniente la de dividir la instalaciòn en dos iguales y gemelas. Esta disposiciòn tiene las dos ventajas siguientes:

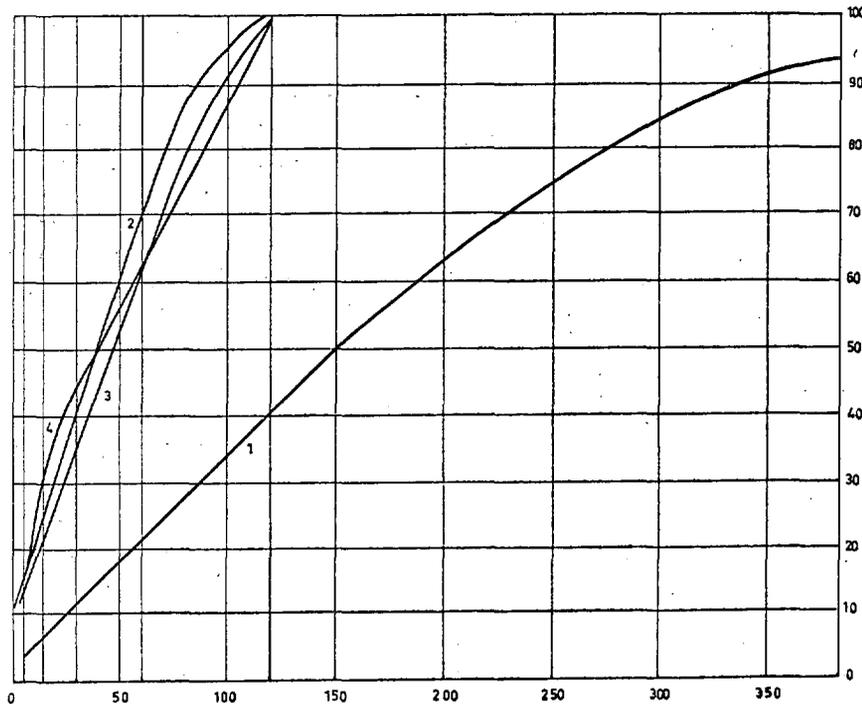
a) Las màquinas seràn menores, de tamaños más corrientes aun dentro de sus posibilidades de producciòn y, por tanto, de más fácil adecuaciòn a usos posteriores.

b) Si se montan las màquinas de modo que los productos de cada una de ellas pueda pasar, bien a la que

le sigue inmediatamente, o bien a la gemela de ésta, tendremos la instalación total compuesta por dos iguales y con todas sus máquinas intercomunicadas, que es la situación más favorable en caso de averías coincidentes de algunas máquinas. Así, si suponemos que mientras se cambia un rodamiento de la machacadora primaria de la mitad derecha de la instalación, se avería la machacadora secundaria de la mitad gemela, o sea, la de la izquierda,

entendido que, ya sean resultado de la práctica o facilitados por alguna casa acreditada, estos datos deben comprobarse después en la realidad del trabajo, a fin de hacer los ajustes y afinaciones imprescindibles para la puesta a punto del conjunto de la instalación.

Si se adopta una machacadora primaria de mandíbulas del tamaño 1,20 x 1,50 para boca de entrada, con la abertura de salida de 22 cm. en la posición más sepa-



- 1- PRODUCTOS PRIMARIOS DE LA MACHACADORA DE MANDIBULAS DE 1.20 x 1.50.
- 2- PRODUCTOS SECUNDARIOS DE LA MACHACADORA GIRATORIA 24 x 60.
- 3- CONJUNTO DE LOS PRODUCTOS PRIMARIOS Y SECUNDARIOS ANTERIORES.
- 4- MEZCLA DE LOS ARIOS SEGUN DOSIFICACION DEL HORMIGON.

Fig. 3.ª — Curvas granulométricas de los productos de machaqueo.
(Granulometric lines of the crushing products).

se puede seguir machacando en primario con la machacadora de la izquierda y llevar sus productos a la secundaria de la derecha, lo que permite trabajar al 50 por 100 de la capacidad punta, en lugar de tener un paro completo.

Bastará entonces estudiar una instalación con capacidad mitad de la estimada como necesaria, o sea, para una producción horaria de 550 Tn., y duplicarla para formar el conjunto con dos gemelas iguales a la que se estudia.

En lo concerniente a las granulometrías del todo uno que sale de cada máquina, utilizaremos datos relativos a granito, pero advirtiendo que ha de tenerse por bien

rada de mandíbulas, se alcanzará la producción necesaria de 550 T./h.

Los productos resultantes tendrán la granulometría representada por la curva 1 de la figura 3.ª, según la cual el 60 por 100 de la producción tendrá dimensión superior a los 120 mm., y, por tanto, habrá de remacharse en secundario al ritmo de:

$$0,6 \times 550 = 330 \text{ T./h.}$$

Este remachaqueo puede hacerse con una machacadora giratoria tipo 24 x 60, cuyo ancho en boca de entrada es de 600 mm. Admite en alimentación tamaños

hasta 550 mm., dimensión a la que, desde luego, no han de llegar las porciones que salgan de la machacadora de mandíbulas.

Con una abertura de salida de 75 mm. en la giratoria secundaria, se llega a remachacar las 330 T./h. que antes hemos dicho. Sale un tamaño máximo de 115 mm., y la granulometría del conjunto está reflejada en la curva 2 de la misma figura 3.^a

Una vez reunidos los productos primarios, iguales o inferiores a 120 mm., con los remachacados, resulta la curva granulométrica 3. Consignando en sendos cuadros los porcentajes que se deducen de las curvas anteriores para las dimensiones que nos interesan, se obtienen las cifras siguientes:

Productos de machacadora primaria de mandíbulas de 1,20 x 1,50.

Mayor de 120 mm.	60 %
Grava gruesa, 60-120 mm.	19 %
Grava fina, 30-60 mm.	10 %
Gravilla gruesa, 15-30 mm.	4 %
Gravilla fina, 5-15 mm.	3 %
Arena, menor de 5 mm.	4 %
	100 %

Productos de remachaqueo en machacadora giratoria 24 x 60.

Grava gruesa 60-120 mm.	30 %
Grava fina 30-60 mm.	30 %
Gravilla gruesa 15-30 mm.	14 %
Gravilla fina 5-15 mm.	10 %
Arena, menor de 5 mm.	16 %
	100 %

Mezcla de los productos primarios y de los de remachaqueo.

Grava gruesa 60-120 mm.	37 %
Grava fina 30-60 mm.	28 %
Gravilla gruesa 15-30 mm.	12 %
Gravilla fina 5-15 mm.	9 %
Arena, menor de 5 mm.	14 %
	100 %

Las correcciones que han de hacerse en la granulometría de este conjunto de áridos durante la segunda etapa de machaqueo secundario y la de molienda, se obtienen inmediatamente con sólo comparar la mezcla anterior con la que constituye la dosificación del hormigón representada por la curva 4, de la que se deducen los porcentajes siguientes.

Dosificación de áridos por m.³ de hormigón:

Grava gruesa 60-120 mm.	36,2 %
Grava fina 30-60 mm.	19,8 %
Gravilla gruesa 15-30 mm.	13,6 %
Gravilla fina 5-15 mm.	12,3 %
Arena gruesa 1,19-5 mm.	7,0 %
Arena fina 0-1,19 mm.	11,1 %
	100,0 %

De la confrontación de los dos últimos cuadros resulta el siguiente:

	Necesidad según dosificación	Producción de las machacadoras	Diferencias
Grava gruesa 60-120 mm.	36,2 %	37,0 %	+ 0,8 %
Grava fina 30-60 mm.	19,8 %	28,0 %	+ 8,2 %
Gravilla gruesa 15-30 mm.	13,6 %	12,0 %	- 1,6 %
Gravilla fina 5-15 mm.	12,3 %	9,0 %	- 3,3 %
Arena, menor de 5 mm.	18,1 %	14,0 %	- 4,1 %
	100,0 %	100,0 %	0,0 %

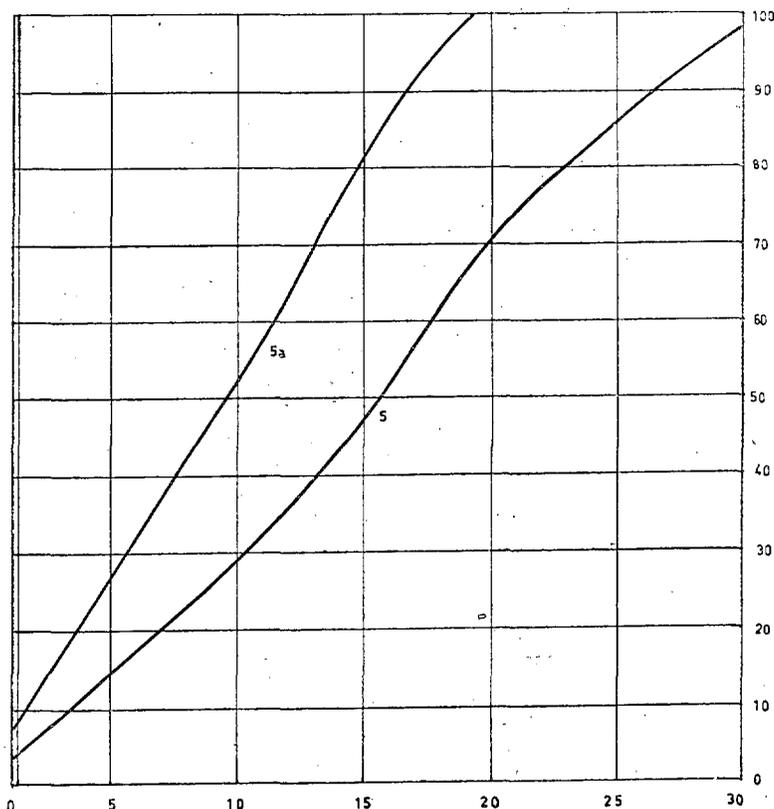
Llegamos a la consecuencia de que, después del machaqueo primario y primera etapa del secundario, habrá un exceso del 9 por 100 en las dimensiones 30 a 120 mm., que se remachacará en la segunda fase del secundario para reducirlo a tamaños inferiores a 30 mm. El porcentaje que resulta para el exceso de áridos mayores de 30 milímetros es realmente moderado, lo que nos dice que en este momento del proceso total de machaqueo la situación puede considerarse satisfactoria. Esto mismo se

aprecia al observar las curvas 3 y 4, cuya diferencia de ordenadas se mantiene dentro de límites prudenciales.

Con gravilladoras giratorias de cono normal, tamaño de 4', y con abertura de 19 mm. en la salida, se consiguen los productos cuya escala de tamaños representa la curva número 5 de la figura 4.^a

Concretando en cifras los resultados para aquellas dimensiones que nos interesan, tenemos:

	PORCENTAJES REFERIDOS A		DIFERENCIA	
	La alimentación	Total primario	Anterior	Actual
Gravilla gruesa 15-30 mm.	53 %	4,77 %	— 1,6 %	+ 3,17 %
Gravilla fina 5-15 mm.	33 %	2,97 %	— 3,3 %	— 0,33 %
Arena gruesa 1,19-5 mm.	11 %	0,99 %	— 4,1 %	— 2,84 %
Arena fina, menor de 1,19 mm.	3 %	0,27 %		
	100 %	9,00 %		0,00 %



5.— PRODUCTOS DE LAS GRAVILLADORAS GIRATORIAS DE 4 CONO NORMAL, CON ABERTURA DE 19 MM.

5a.— PRODUCTOS DE LAS GRAVILLADORAS GIRATORIAS DE 4 CONO NORMAL, CON ABERTURA DE 12 MM.

Fig. 4.ª — Curvas granulométricas de los productos secundarios
(Granulometric lines of the secondary products).

Sobra todavía un 3,17 por 100 de gravilla gruesa, que hemos de remachacar nuevamente para suplir la falta de tamaños inferiores de 15 mm. Esta operación podría hacerse en circuito cerrado, para lo que no habrá dificultad, ya que la alimentación total de la gravilladora giratoria será $550 \frac{(9,00 + 3,17)}{100} = 67 \text{ T./h.}$, bastante inferior a la

posible de 100 T./h., o bien podría efectuarse en molinos de 3' de cabeza corta y con abertura de 6 mm. en la salida. En este último caso, se alcanzaría una producción que oscilaría alrededor de las 30 T./h., con la que se tiene un margen del 71 por 100 sobre la necesidad, que es:

$$550 \frac{3,17}{100} = 17,5 \text{ T./h.}$$

Pero hay una tercera solución, que es la que adoptamos, pues aunque rebaja la producción de la gravilladora giratoria de 100 T./h. a 60 T./h., no hay inconveniente ninguno toda vez que aún nos queda un margen de $60 \frac{550 \times 9,00}{100} = 10,5$ T./h., que es el 21 por 100

de la necesidad punta de remachaqueo en esta segunda etapa del secundario.

La nueva solución consiste en remachacar con abertura de 12 mm., en lugar de 19 mm., en la gravilladora de 4', a la que entonces corresponde la curva granulométrica 5_a y el cuadro numérico que va a continuación

	PORCENTAJES REFERIDOS A		DIFERENCIA	
	La alimentación	Total primario	Anterior	Actual
Gravilla de 15-20 mm.	18 %	1,62 %	- 1,6 %	+ 0,02 %
Gravilla fina 5-15 mm.	55 %	4,95 %	- 3,3 %	+ 1,65 %
Arena gruesa 1,19-5 mm.	20 %	1,80 %	- 4,1 %	- 1,67 %
Arena fina 0-1,19 mm.	7 %	0,63 %		
	100 %	9,00 %		0,00 %

El simple cotejo de estas diferencias actuales con las del cuadro inmediato anterior, nos manifiesta la ventaja de la solución aceptada para la segunda etapa del machaqueo secundario. Y tenemos otro aspecto favorable más, que es el de que los productos no sobrepasan el tamaño de 20 mm., y así todo el sobrante mayor de 5 milímetros puede ir directamente a un molino de barras, si ello fuese necesario.

Ha terminado el proceso de machaqueo y con él damos fin a su estudio, porque todo lo que pudiera decirse por adelantado de las granulometrías en la fase de molienda, tendería más al efectismo que a la efectividad. Lo único que hay que hacer es buscar el ajuste entre el tipo de molino y el material de alimentación, en nuestro caso, granito con tamaño máximo de 20 mm., mediante cuantos ensayos sean necesarios para lograr la arena deseada. Tenemos la seguridad de que esta meta se alcanzaría fácilmente en nuestro supuesto, porque el molino de barras es el de tipo más moderno y adecuado, que resume todas las mejoras dictadas por la experiencia, y también porque el granito es una roca apta para ser molida en él.

Creemos que no es procedente hacer aquí una clasificación y descripción de cada uno de los grupos y tipos de máquinas de machaqueo, porque estimamos que son conocidas de sobra y porque con ello alargaríamos este artículo, que ya es más extenso de lo que nos habíamos propuesto. Nos limitaremos, pues, a señalar algunas de las particularidades más interesantes en la práctica de la producción de áridos.

Las machacadoras de rotor de eje horizontal, equipado con martillos fijos o articulados dispuestos en su periferia, se llaman también machacadoras de impacto o percusión por su modo de trabajar, ya que el fraccionamiento de la piedra se debe casi exclusivamente al efecto de los golpes de los martillos y de los choques con la coraza de la cámara de trituración. Precisamente a esta acción sobre la piedra deben estas machacadoras la ven-

taja de suministrar los áridos con tendencia a la forma cúbica, que es la más deseable para su empleo en el hormigón; en cambio, tiene el inconveniente del enorme desgaste de martillos y placas de coraza cuando se machacan rocas abrasivas, pero si se consigue una clase de acero con que obviar esta inadaptabilidad, predecimos para este tipo de máquinas la misma preferencia, en general, que va teniendo ya actualmente para machacar caliza.

Con ocasión de haber hablado de la forma de los productos machacados, diremos que en algunos pliegos de condiciones españoles se han incluido ya prescripciones referentes al coeficiente volumétrico, que para un canto aislado viene dado por la relación de su volumen V , al de la esfera cuyo diámetro M es la máxima dimensión del canto. En cuanto al coeficiente volumétrico medio global de varios cantos, cuyos volúmenes son V_1, V_2, \dots, V_n , y sus máximas dimensiones M_1, M_2, \dots, M_n , se define por la expresión:

$$C = \frac{V_1 + V_2 + \dots + V_n}{\frac{\pi}{6} (M_1^3 + M_2^3 + \dots + M_n^3)} = \frac{\sum V}{\frac{\pi}{6} \sum M^3}$$

Los límites que se suelen fijar para valor de este coeficiente volumétrico medio, son:

$$\begin{aligned} \text{Gravilla} &\geq 0,15 \\ \text{Garbancillo} &\geq 0,11 \end{aligned}$$

En las machacadoras de mandíbulas la piedra se tritura bajo esfuerzos de compresión, acompañados o no por otros de cortadura. Los primeros, originados por el movimiento de vaivén de la mandíbula móvil respecto a la fija, son los predominantes, y los de cortadura se producen por el deslizamiento relativo y alternado de la mandíbula móvil con relación a la fija, dependiendo la intensidad con que intervengan de la amplitud de este

deslizamiento relativo, la que a su vez es resultado del dispositivo empleado para actuar sobre la mandíbula móvil. Limitándonos a la máquina empleada casi con exclusividad en la trituración primaria de áridos, este dispositivo es el que se representa esquemáticamente en la figura 5.^a, característico de la machacadora Dalton, llamada también de simple biela.

La mandíbula móvil está colgada de un eje excéntrico, y se apoya por su parte inferior en una biela con la sujeción de un tirante accionado por un muelle. Fá-

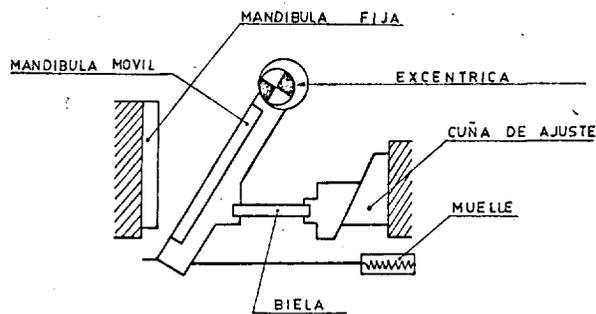


Figura 5.^a

cilmente se aprecia que la mayor carrera en el movimiento alternativo de la mandíbula móvil tendrá lugar en la boca de entrada de la machacadora, y que será apreciablemente más reducida en la boca de salida.

Dentro de la cámara de trituración, la piedra sufrirá el esfuerzo cortante, al que antes hicimos referencia, por deslizamiento de la mandíbula móvil respecto a la piedra, y de ésta respecto a la mandíbula fija. El desgaste que esto supone, hace que no se emplee esta machacadora para rocas abrasivas.

El tercer gran grupo de machacadoras lo constituyen las giratorias con cono de eje vertical. Consiste, en esencia, en un núcleo cónico cuyo eje tiene en uno de sus extremos un apoyo excéntrico, el cual le comunica al girar un movimiento de rodadura y otro pendular respecto a la coraza fija que le envuelve. Así, el espacio anular entre núcleo y coraza, o sea, la cámara de trituración, se ensancha en una mitad y se estrecha en la diametralmente opuesta, de una manera alternativa y constante.

En el tipo normal de machacadoras giratorias, el eje del núcleo cónico está sustentado inferiormente por el apoyo excéntrico, y su extremo superior está encajado en un travesaño diametral de la boca de entrada.

Comparadas con las de mandíbulas equivalentes, las machacadoras giratorias tienen la ventaja de una mayor producción, debido a la continuidad de su manera de trabajar. Además, en pleno funcionamiento tienen una marcha tranquila y uniforme, con lo que se evitan los volantes y las grandes fundaciones. El desgaste del núcleo y de la coraza por rozamiento con la piedra es menor que el de las mandíbulas, porque el núcleo puede girar libremente sobre su propio eje, y con ello reducir

los desplazamientos relativos. En cambio, se tropieza con la gran contrariedad de que exigen una alimentación más troceada, proporcionada a la mayor estrechez de su boca de entrada en forma de anillo. A esta última circunstancia se debe el que la machacadora de mandíbulas sea la que más se haya utilizado para la trituración primaria.

Para obviar esta contrariedad en las machacadoras giratorias, desde hace unos años se han efectuado pruebas con el fin de ir aumentando el ancho de la boca de entrada, y así se ha llegado a dar paso a trozos de piedra de 1 m.³. Como referencias recientes pueden citarse, entre otras, las minas suecas de Kiruna y la instalación noruega de MalMBERGET, en las que se machacan bloques con dimensiones de 1 500 mm. Algunas casas equipan sus machacadoras con el dispositivo hidráulico llamado hydroset, que ofrece la gran ventaja de poder regular la separación entre el núcleo y la coraza fija envolvente de un modo casi instantáneo y en plena marcha; o dicho de otro modo, facilita el hacer cualquier variación en la granulometría de la arena con toda comodidad y sin pérdida de tiempo. Es de esperar que estas realidades han de influir para que se vaya extendiendo el uso de la machacadora giratoria como trituradora primaria.

Terminamos esta revista de los tipos de machacadoras haciendo mención de dos de los más modernos, solamente a título informativo, porque ni los hemos visto

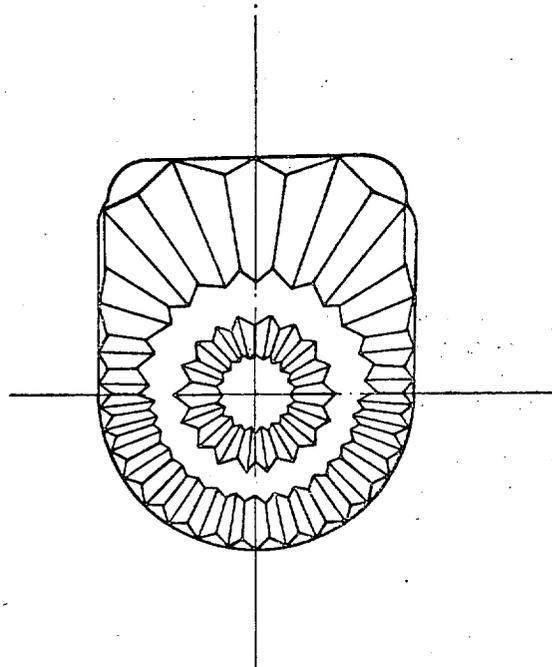


Figura 6.^a

trabajar ni tenemos aún noticias de su comportamiento y eficacia en el trabajo.

Uno de estos modelos se conoce con el nombre de machacadora giratoria de mandíbulas, y también de boca

ensanchada. Se trata de una machacadora giratoria de cono, que tiene un gran ensanchamiento en una mitad de su cámara de trituración, tal y como se indica en la figura 6.^a. Tanto el núcleo cónico móvil como la coraza fija de la cámara, están dentados en la misma forma que las mandíbulas. Este tipo de machacadora pretende realizar dos funciones; en primer lugar, la de trituración primaria, alimentándose con grandes bloques por la mitad ensanchada de la cámara de trituración, y en segundo lugar, la de machaqueo secundario echando la piedra en su mitad más estrecha. Es decir, que es una máquina concebida para trabajar en circuito cerrado.

El otro modelo reciente a que nos referimos, es el llamado machacadora Rotex, representado esquemáticamente en la figura 7.^a. Se compone de un núcleo cilíndrico

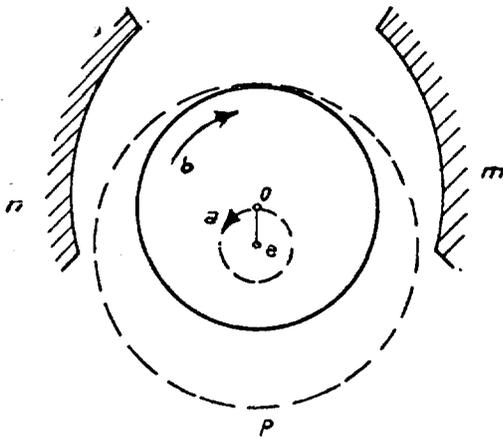


Figura 7.^a

drico móvil y de dos placas de coraza laterales. El núcleo es arrastrado por el movimiento de giro de un eje *e* con excéntrica, y puede girar también libremente alrededor de su propio eje *O*, de modo que la envolvente de su movimiento resultante es una superficie cilíndrica cuya sección es la circunferencia *p*. En definitiva, mientras la excéntrica hace girar al eje del núcleo en el sentido *a*, el propio núcleo se mueve como un rodillo loco que rueda sobre la superficie cilíndrica *p*, girando en el sentido *b*. Las placas laterales *m* y *n*, que juegan el papel de mandíbulas fijas, pueden variarse de posición para aproximarlas o retirarlas del núcleo.

La casa alemana que construye la machacadora Rotex, la atribuye las siguientes ventajas: rendimiento mecánico elevado, posibilidad de variar la granulometría y forma de los productos machacados, consumo mínimo por desgaste, lo que proporciona una economía en el costo de funcionamiento.

Todo cuanto hemos dicho de las machacadoras primarias vale para las secundarias o gravilladoras, con la diferencia de ser menor el tamaño de éstas, el del material para su alimentación y el del árido resultante.

Las máquinas que componen el último escalón de la trituración de rocas para la producción de áridos, son los molinos areneros, que tienen por misión la molienda de grava o de gravilla para convertirla en arena. Los que hoy se usan pertenecen a uno de estos tres grupos: de martillos, de rodillos y de barras.

Los primeros no se emplean con rocas abrasivas por el gran desgaste que ocasionan. Son eficaces en la molienda de calizas, con las que, en general, producen arenas de calidad. Puede modificarse la granulometría y la proporción de finos variando las luces libres de las parrillas de salida.

Los molinos de rodillos tienen dos de éstos, y raramente tres, colocados horizontalmente. Su superficie es lisa o dentada, según se desee arena más o menos fina. Cuando se componen de un par de rodillos gemelos, éstos giran en distinto sentido, de modo que obligan al material a introducirse entre ellos y caer a través de la ranura que los separa. Suelen utilizarse con piedras blandas y de dureza media, de las que proporcionan arenas con posible ausencia de finos entre 0 y 0,5 milímetros.

El efecto de laminación a que se somete el material en los molinos de rodillos es causa de que, en determinadas circunstancias (composición mineralógica y grado de humedad de la alimentación), se produzcan unas pequeñas plaquetas de arena fina, tan fuertemente aglomeradas, que pasan íntegras al hormigón, porque ni aun en la hormigonera se deshacen. Hemos tenido ocasión de apreciar esto en la producción de arena artificial obtenida de un granito con abundantes macrocristales de feldespato. Nuestro parecer es que esta clase de molinos no es la más adecuada para conseguir arena destinada a amasar hormigones.

Los molinos de barras son aptos para desempeñar dos tareas: producir arena moliendo gravilla y refinar arena gruesa para convertirla en fina. Trabajan indistintamente en seco o por vía húmeda, y son los más capacitados para resistir el desgaste por abrasividad. Variando el ritmo de la alimentación o la cantidad de barras, y también ambas cosas a la vez, se regula la granulometría de la arena y su proporción de finos.

Como observación de carácter general, que se refiere a todas las máquinas de machaqueo y molienda, cualquiera que sea su tamaño y tipo, hay que decir que, para mantener su rendimiento y las características de los áridos, es condición indispensable alimentarlas con regularidad, y con tal objeto cada una debe estar provista de un aparato alimentador. Existe una gran variedad de estos aparatos, por lo que no habrá dificultad para tener el apropiado a un caso concreto.

Otra observación que atañe más particularmente a las machacadoras primarias, es la tocante al tamaño y composición de la alimentación. La dimensión de los bloques mayores no debe exceder de los 2/3 de la abertura de la boca de entrada, pues de lo contrario, las piedras demasiado gruesas empezarán a dar pequeños saltos y vueltas sobre sí mismas, quedándose en la parte superior de la cámara de trituración, con el consiguiente atasco de la entrada, lo que da lugar a que el resto de la ins-

talación quede trabajando en vacío. En estas condiciones, debe preferirse consumir algo más de explosivo en taqueo, porque los atascos llegan a veces a reducir la producción global de la instalación al 50 por 100 de la capacidad de la machacadora.

Respecto a la composición de la alimentación, hay que señalar la conveniencia de separar del todo uno de cantera los menudos que no precisen reducción de tamaño. Sobrecargan el trabajo de la machacadora, tapan la boca de salida, disminuyen la sección libre de la cámara de trituración, reducen la producción y aumentan el consumo de energía. La separación de estos menudos, que abarcan hasta el tamaño de grava gruesa inclusive, debe hacerse inmediatamente antes de la entrada a la machacadora para ser incorporados a los productos de ésta después de su salida.

Hay alimentadores que sirven, al mismo tiempo, de separadores de menudos, y entre ellos los más usados son los de parrillas vibrantes de barras (bar-grizzly), los de parrillas de discos giratorios, los de parrillas de rodillos y los de parrillas vibrantes escalonadas.

Una vez conseguidos los áridos en las dimensiones y proporciones deseadas, hay que optar por lavarlos o no. La decisión debe tomarse atendiendo a ensayos hechos precisamente con este objeto, pues al guiarse sólo por un reconocimiento visual, existe el riesgo de introducir un sobrecosto con resultado no ya nulo, sino perjudicial, porque con un lavado inoportuno, o excesivo, puede dañarse la calidad de la arena y privarla de elementos que sean necesarios.

Por regla general, los áridos naturales se lavan en el mismo lugar de su extracción, donde siempre se tendrá más facilidad y se dispondrá de agua para hacerlo. Se utiliza un lavador cilíndrico giratorio de eje horizontal, por uno de cuyos extremos se introduce el revoltón que sale por el otro después de atravesar una corriente de agua. Como ya dijimos al hablar de la extracción de áridos de graveras, el movimiento de rotación del lavador hace que los cantos se golpeen entre sí y con la pared interior del cilindro, y que con el efecto de estos choques repetidos se desprendan las impurezas que pudieran tener adheridas. Los áridos artificiales se lavan en obra, o sea, en la zona de presa, que es donde se monta la instalación de machaqueo. El lugar elegido casi siempre para la operación del lavado es el de las zarandas de clasificación, sobre las cuales se establece un riego de agua a presión.

Sin embargo, cuando haya que realizar con intensidad un machaqueo secundario y una molienda de gravilla, lo que podrá ocurrir, bien por la forma de romper la piedra en primario o por exigencias granulométricas, nuestra opinión es que no se deben lavar los áridos en las zarandas de clasificación por dos motivos. Primeramente, lavaríamos en vano los excedentes de todos los tamaños, puesto que después de sufrir la reducción de dimensiones, volverían a ser lavados al retornar a las zarandas para ser cribados nuevamente. Además, los excedentes lavados llegarían completamente mojados al remachaqueo o molienda, y esto ocasiona dificultades

que obstaculizan enormemente, y a veces paralizan, la labor de las gravilladoras y molinos giratorios, porque los finos húmedos forman una pasta dentro de las cámaras de trituración, que atasca las máquinas y tupe la salida con gran frecuencia.

Este mal lo hemos padecido no sólo en gravilladoras de cono giratorias, sino también en las de mandíbulas. Nuestra experiencia nos lleva a disponer el lavado de los áridos al final del machaqueo, cuando ya están clasificados, separados y recogidos individualmente por tamaños, todos los obtenidos en las distintas fases del proceso de trituración.

Refiriéndonos al mismo ejemplo, o supuesto que nos ha servido para indicar el modo de estudiar el régimen de machaqueo, el lavado lo organizaríamos tal y como vamos a decir.

Cada tamaño de árido se lavaría en una bandeja independiente, que, en definitiva, es un marco de zaranda con una malla igual a su dimensión límite inferior. Así, la bandeja para lavar la grava gruesa 60-120 mm., tendría malla de 60 x 60 mm., en la que quedaría retenido todo el árido mayor de 60 mm. Todos los trozos menores de esta medida, que accidentalmente la hubiesen acompañado después de la clasificación, pasarían a través de la malla, para lo que proporcionará facilidad el agua de lavado a presión que sale de tubos perforados provistos de deflectores que la extienden.

Las cuatro bandejas para lavado de los dos tamaños de grava y de los dos de gravilla, estarían montadas sobre una misma estructura, verterían a sus respectivas cintas que van a los silos y estarían colocadas unas encima de otras, de modo que los trozos que atravesasen las mallas de cada una de ellas, caerían a aquélla donde se lava el árido de dimensión inmediata inferior.

El agua empleada en el lavado de los tamaños 5-120 milímetros, que no arrastra más que arena, se recogería para enviarla a los clasificadores hidráulicos que lavan toda la obtenida, y que al mismo tiempo que la separan en fina y gruesa, eliminan los finos en las dimensiones que pudieran resultar perjudiciales, o sea, en las inferiores a 0,15 milímetros.

Con este sistema de lavado conseguimos, juntamente con la facilidad de triturar material seco, un gran afinamiento de la clasificación efectuada primeramente. Tendremos aseguradas, pues, la máxima uniformidad en todos los áridos y el cumplimiento, con ventaja, de las tolerancias que suelen especificar los Pliegos de Condiciones.

Nos queda hacer referencia a un detalle al que concedemos gran importancia, cual es el de las precauciones que han de adoptarse contra la fragmentación y disgregación en el ensilado de los áridos. Tanto una como otra se producen al caer libremente los cantos desde gran altura, y por consiguiente, ambas se evitan al mismo tiempo con cualquier dispositivo que impida la caída libre, ya que así se frenará la velocidad con que incide el árido que cae sobre el que ya está ensilado. Es decir, que el remedio está en instalar una torre de caída.

Hasta ahora hemos empleado, con resultado comple-

tamente satisfactorio, la torre vertical de sección cuadrada con escalones alternados y enfrentados en dos caras opuestas, que obligan al árido a caer en pequeños saltos de un metro de altura y a variar el sentido de la marcha de uno a otro escalón. Con esta disposición se consigue el frenado en la caída, y el árido se deposita suavemente. No se produce la fragmentación por no haber choques violentos de los cantos entre sí, y se evita la disgregación porque no ocurre la rodadura de los tamaños mayores hacia las partes bajas, dejando a los menores en el vértice del cono.

La importancia que hemos atribuido a este detalle, se debe a que coopera en gran escala para obtener un hormigón de gran homogeneidad. Con la disgregación por caída de los áridos a chorro libre, se forman en los silos bolsadas de gran discontinuidad dentro de un mismo compartimiento, efecto que se aprecia después perfectamente por la desigualdad entre las masas que salen de las hormigoneras. Y con la fragmentación aparecen dentro de cada compartimiento del silo, en proporción muy variable, áridos de menor dimensión que la que corresponde.

Como recomendación aplicable a todas las instalaciones en general, señalamos la conveniencia de aprovechar las laderas inclinadas para montar en ellas las máquinas dispuestas en cascada, de modo que la piedra pase de unas a otras por gravedad. Y decimos esto no sólo porque se suprimen transportadores y elevadores, que se sustituyen por una fuerza permanente que no precisa mantenimiento ni conservación, sino también porque se reduce el personal fijo afecto a la instalación, todo lo cual redundará en economías de gastos de funcionamiento. En la construcción de la presa de Grandas de Salime, en el río Navia, donde las laderas tienen una altura e inclinación grandes, dispusimos la instalación de machaqueo según la línea de máxima pendiente. El desnivel entre el lugar en que se volcaban los bloques de cantera y las bocas de salida de los silos de áridos clasificados, era de unos 100 m., y entre uno y otro punto la piedra recorría todo el camino accionada por su propio peso.

Como prueba de nuestra afirmación de que una instalación en cascada proporciona economías de funcionamiento, diremos que en la instalación que acabamos de citar, con sólo cuatro hombres en cada turno, se machacaron 8.000 Tn. de piedra el día en que se batió por segunda vez el record de hormigonado en Europa.

Los productos de una máquina pasaban a la del escalón siguiente deslizando por una canal, y de este mismo modo se llevaban a los silos todos los áridos clasificados, que se reunían en una canal general a medida que se iban produciendo en cada etapa del machaqueo. Para esto se presentaba una dificultad de consideración; el gran costo y tiempo perdido por reposición de tramos de canal, rotos con gran frecuencia, a causa del enorme y rápido desgaste producido por el deslizamiento de los áridos. Esta dificultad la eliminamos con facilidad y economía construyendo las canales de madera, aprovechando en ello todos los desperdicios y tabloncillos viejos que se encontraban en obra, y poniendo en el fondo unos travesaños de angular hechos con los recortes y la

chatarra. Los trozos más pequeños de la piedra quedan detenidos por los travesaños, y forman un forro protector sobre el fondo de la canal que impide todo desgaste.

Empleamos esta solución en la presa de Villalcampo y en la antes citada de Salime, sin que hubiese que reponer ningún tablón durante las obras. En la figura 8.^a se representa un croquis del fondo de la canal, cuya inclinación tiene que ser la que corresponde al deslizamiento de la piedra sobre sí misma.

Como complemento de todo lo dicho, creemos oportuno hacer un ligero comentario sobre la automatización de las instalaciones de machaqueo para construcción de presas.

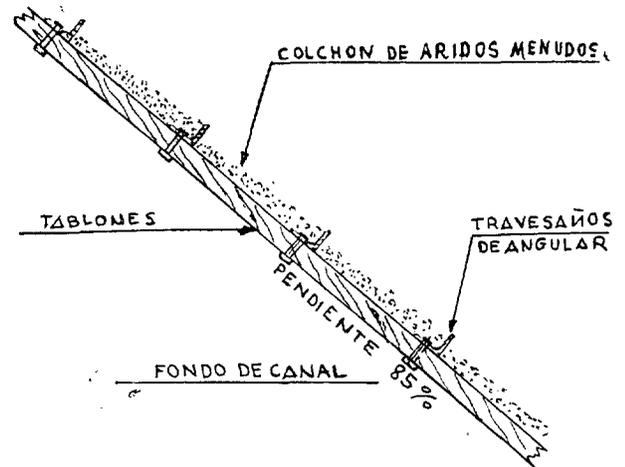


Figura 8.^a

Por muy importante que sea una presa, todas las instalaciones montadas para su construcción tienen un destino temporal, y cada vez más breve por la urgencia de signo económico tan imperativo hoy día. En consecuencia, todo aquello que no sea de carácter fundamental, debe enfocarse desde este punto de vista de temporalidad, y por ello no cabe pensar en conseguir aquí el automatismo por el mismo procedimiento, y con los mismos medios, que en instalaciones permanentes. Por el contrario, más a propósito es recurrir a arbitrios sencillos y materiales que permitan, mediante la concentración de contactores, el mando a distancia del mayor número de máquinas por un mismo individuo.

A modo de ilustración de lo que acabamos de decir, expondremos uno de los detalles que nos permitieron reducir personal en el funcionamiento de la instalación de machaqueo, para la construcción de la citada presa de Salime.

Para alimentar los seis molinos de martillos que trituraban grava convirtiéndola en arena, hicimos sendas derivaciones en las dos canales generales que llevaban la grava a su silo. Ante todo, había que asegurar que cualquiera de los molinos, o todos ellos en conjunto, podrían alimentarse inmediatamente en el momento que se

quisiese, y que el cese de la alimentación sería también inmediato en cuanto se deseara. Claro es que hay diversas maneras de conseguir esto, pero nuestro deseo era hacerlo en la forma más sencilla, sin que hubiese que introducir ningún aparato o mecanismo, y sin que fuese necesario ningún hombre más.

El croquis en planta de la instalación de los molinos de martillos aparece en la figura 9.^a, en la que se repre-

géral continuará por ella para ir al silo, pero apenas se ponga en marcha el alimentador de un solo molino, el nivel de la grava en la tolva irá bajando y, aunque sea muy lentamente, se establecerá el recorrido anterior para parte de la grava, que irá reponiendo en la tolva una cantidad igual a la consumida para transformarla en arena. La altura que tenga ésta dentro de su silo, nos dirá el número de martillos que deben ponerse en marcha.

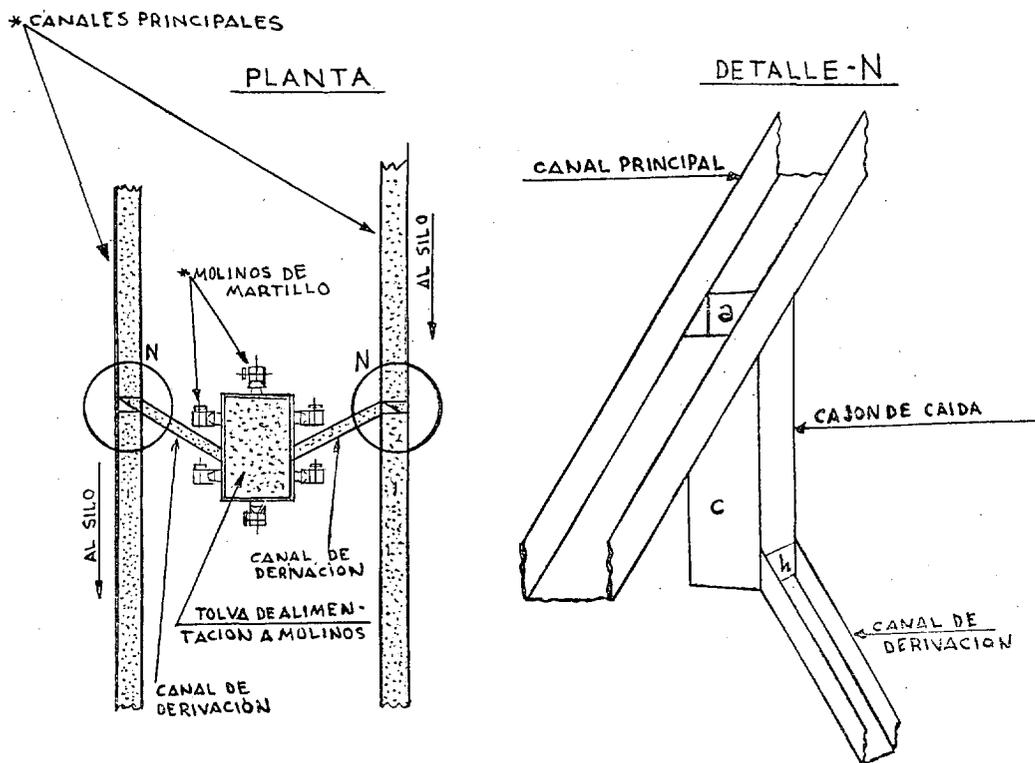


Figura 9.^a

senta también un esquema del empalme de las canales de derivación con cada una de las dos generales. En el fondo de estas últimas se quita un trozo para dejar un agujero *a*, en el que se coloca un cajón vertical *c*, una de cuyas paredes presenta un hueco libre *h* en su parte inferior, con objeto de servir de paso a la canal de derivación enchufada en el cajón.

Al deslizar la grava por la canal general, cae por el agujero *a* del fondo, vierte en el cajón *c*, y de éste pasa por el hueco *h* a la canal de derivación que termina en la tolva de alimentación común de los seis molinos. En tanto no se llene la tolva, la grava seguirá llegando a ella por el camino que hemos visto, pero cuando esté llena quedará atorada la canal de derivación, que, por tener una inclinación igual a la del talud natural de la grava, se colmará y hará que se llene también en el cajón *c*. Entonces, toda la grava que venga por la canal

Toda la grava que no pase a la canal de derivación, seguirá por la general para ir al silo.

Tenemos con esto una regulación de la producción de arena totalmente automática lograda por medios naturales, que facilita el concentrar los contactores de mando de los molinos en un cuadro. La agrupación en uno solo de los cuadros correspondientes a máquinas situadas en distintos pisos, como son molinos, gravilladoras y cribas secundarias, permitió la reducción del personal dedicado al funcionamiento de la instalación.

Como punto final, señalaremos el hecho de que la Hydro-Electric Power Commission de Ontario, Canadá, ha utilizado una instalación transportable de machaqueo en la construcción de la presa Mountain Chute, del río Madawaska. No cabe duda de que, en cuanto a gastos de montaje, la ventaja está de parte de la instalación transportable en comparación con la fija.

Sin embargo, no creemos que basta esta consideración para augurar una preferencia de uso a las instalaciones móviles; es preciso que sea adaptable al terreno, en cada caso, no sólo en la parte estrictamente ocupada por los chasis o carretones que soporta las máquinas, sino en toda la extensión que abarque en su conjunto, incluidos los depósitos de áridos clasificados.

En el caso de la instalación citada, se ocupa una gran superficie sensiblemente horizontal, con la consiguiente profusión de cintas transportadoras. La idea que se dice haber predominado en la disposición de la totalidad del

machaqueo y de los depósitos de áridos clasificados, es la de evitar en éstos toda disgregación o fragmentación, pero sin que por ello padezca la condición de transportación de los elementos componentes. Esto obliga a limitar la longitud de las cintas transportadoras, lo que, a su vez, reduce la altura de las pilas de áridos. Dicho de otro modo: no existirá prácticamente reserva de áridos clasificados, y habrá que programar su producción de modo que tenga lugar al mismo ritmo, y casi al mismo tiempo, que la del amasado y puesta en obra del hormigón.