

HORMIGONADO DE LA PRESA DE CERNADILLA CON UTILIZACION DE GRAVERAS DE RIOS

Dr. Ing. C. C. P. C. DUELO

Dr. Ing. C. C. P. F. MENDAÑA

En el presente artículo se presenta un caso real de utilización de graveras para la ejecución de los hormigones de una presa de gravedad de una forma sistematizada y que puede servir de ejemplo del tratamiento de graveras para estos usos.

- Longitud de coronación: 388 m. Además hay un dique lateral de 600 m. de longitud y altura máxima 6 m.
- Fábrica de hormigón en masa, de 190 Kg. de cemento en el cuerpo de presa y 250 Kg. de cemento en la zona de paramentos, pozos y galerías.

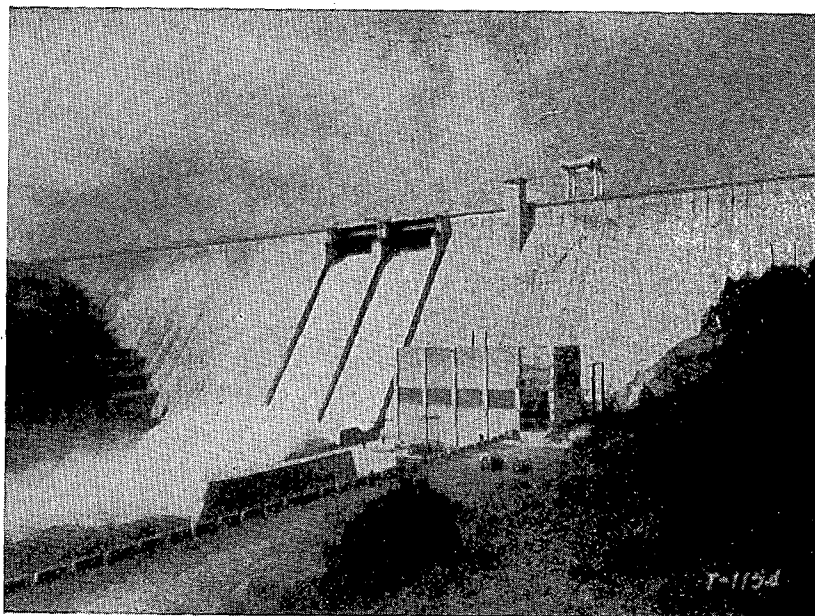


Foto 1. — Vista general de la presa.
(General view of the dam.)

1. CARACTERISTICAS DE LA PRESA

La presa de embalse de Cernadilla está situada en el río Tera al Noroeste de la provincia de Zamora, unos 20 kilómetros aguas abajo de Puebla de Sanabria. Las características principales de la obra son las siguientes:

- Perfil tipo de gravedad.
- Altura máxima sobre cimientos: 69,00 m.

- Cubicación de la fábrica de presa: 301 500,00 m.³.
- Cubicación total, incluidos dique lateral y central, y obra de desagüe: 331 000 m.³.
- Cubicación bruta de embalse: 250 × 10⁶ m.³.
- Comienzo de las obras: diciembre 1965.
- Comienzo del hormigonado: marzo 1967.
- Terminación de la obra: enero 1969.
- Concesionario del aprovechamiento: IBERDUERO, S. A.

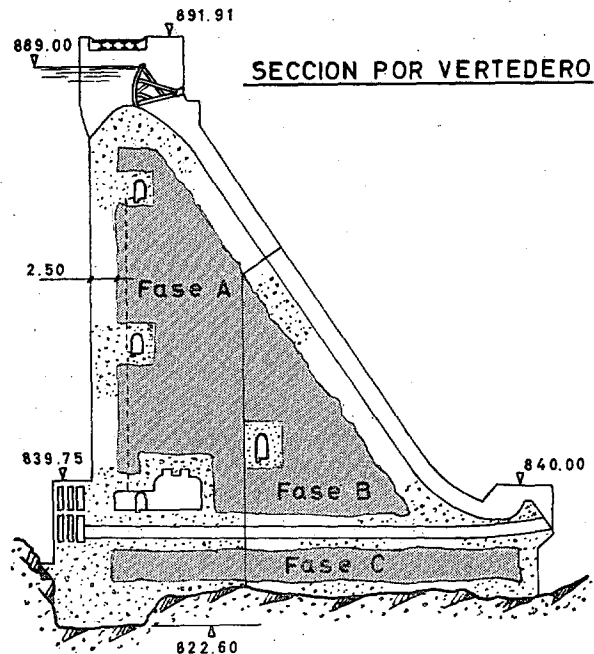
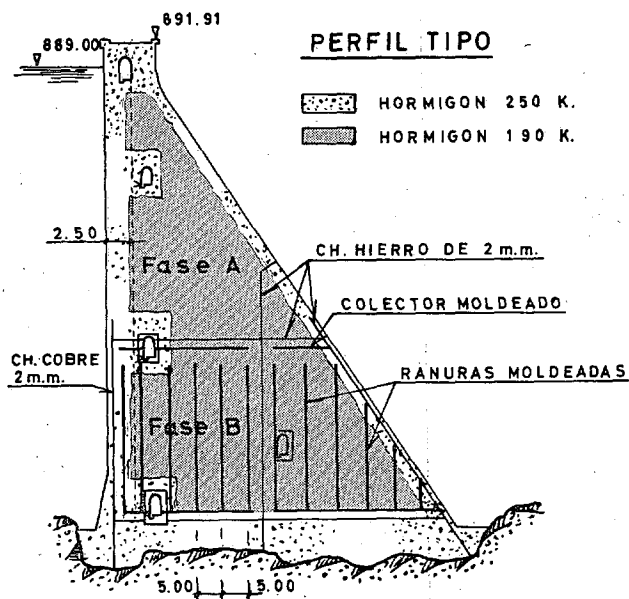


Figura 1.

2. DATOS PARA EL ESTUDIO DE LOS ÁRIDOS

El estudio del hormigonado de la presa de Cernadilla se basó, desde un principio, en la explotación de las graveras del río Tera situadas en las inmediaciones de la obra como fuente de suministro de los áridos.

Los materiales de estas graveras proceden de las formaciones graníticas del valle alto del río (aguas arriba de Puebla de Sanabria) y de los gneis, con cuarcitas intercaladas, del tramo medio (entre Puebla de Sanabria y la obra).

Dentro de los documentos preparados por Iberduero para el concurso de la obra se habían estudiado a fondo todos los temas relativos a las características de estas graveras con vistas a su utilización como fuente de suministro para la obra.

Los trabajos de reconocimiento de los yacimientos consistieron en una campaña de calicatas abiertas en doce graveras más próximas a la obra obteniendo en cada pozo la granulometría local del todo uno. La media del grupo de pozos de una gravera se tomó como granulometría media de la misma y, a su vez, la media ponderada con las cubitaciones de las doce graveras estudiadas, se admitió como *media esperable del yacimiento*.

Todos estos datos se incluyeron en un Informe que Iberduero facilitó como documento anexo a los entregados para el estudio de la obra. Dicho Informe se completaba con un extenso y detallado estudio de ensayos de laboratorio, referentes a características de los áridos, tratamientos imprescindibles de los mismos y, finalmente, series de

dosificaciones para hormigones que se aproximaran, lo más posible, a la composición media esperable del yacimiento.

Las conclusiones finales del Informe se introdujeron en diversos capítulos del Pliego de Condiciones del Proyecto, como bases de partida para que el constructor pudiese acometer el estudio de su oferta. Seguidamente resumimos, esquemáticamente, todo aquello recogido en el Proyecto, referente al estudio de los áridos de la obra:

1. Se despejaba toda duda acerca de las características intrínsecas del árido y, concretamente, del coeficiente de forma, ya que presentaba en las gravas una cierta proporción de elementos de aspecto "lajoso".

La conclusión clara era que no se consideraba necesaria selección específica alguna en el "todo uno" procedente de las graveras.

2. Por lo que se refiere al problema de los volúmenes necesarios, y del ajuste de dosificaciones a la esperable del yacimiento, Iberduero facilitaba el Informe de referencia como documento complementario pero, concretamente, el Pliego de Condiciones admitía el compromiso explícito de la Administración de que se procuraría *ajustar lo máximo posible*, dentro de los límites de calidad, las *dosificaciones tipo a la composición media del "todo uno"* extraído a lo largo de la explotación.

3. En cuanto al tema concreto de los dos tamaños de arena exigidos (0,1-1,0 mm. y 1,0-4,0 mm.) también se concluía que la granulometría interna media del yacimiento era aceptable quedando limitado el problema a la posibilidad de hacer ajustes momentáneos por molienda. Se

incluía, además, dentro del Informe anexo, un resumen de ensayos de corrección por lavado, no sólo de las arcillas y limos sino de la materia orgánica (problema que se presentaba en bastantes zonas) resumen que incluía criterios claros para poder definir las dimensiones y capacidad de la instalación futura de lavado.

4. Finalmente, el Pliego aceptaba la corrección, por medio de machaqueo de los desajustes que presentarían, en un momento dado, las graveras, respecto de la dosificación a fijar por el laboratorio de obra.

5. En conclusión puede decirse que, sin dejar de denunciar los problemas, cuya solución exigiría en la explotación, la Administración admitía explícitamente que el estudio de la oferta podía basarse en un aprovechamiento normal del yacimiento, cuya composición media era adecuada, con simples medidas momentáneas de ajustes.

3. DESARROLLO DEL ESTUDIO DE PREPARACION DE ARIDOS

Para el estudio de la oferta se hizo un estudio completo de la explotación que describiremos seguidamente. Una vez adjudicada la obra no se introdujo variación importante alguna pudiendo decirse que, tanto el proceso concreto de la preparación de áridos como, en general, la

explotación de las graveras, se llevaron a cabo en la forma inicialmente prevista.

A) *Fase previa.*—Incluyó la estimación de cubicaciones y granulometría media esperable de las graveras. Podemos decir que se utilizaron los datos facilitados por Iberduero ya que, por el plazo disponible, nos limitamos a la comprobación de una serie de ellos.

En cuanto a la capacidad esperable se estimó que la cubicación obtenida del estudio de las 12 graveras señaladas en el Proyecto era, en principio, muy superior a lo necesario. Por una parte, circunstancias particulares aconsejaron no completar la explotación de algunas de ellas y, por otra, el amplio margen inicial quedó disminuido por un aumento notable de cubicación de la obra (de 270 000 metros cúbicos de hormigón previstos se pasó, en números redondos, a 330 000 m.³) debido a que la cimentación en toda la ladera derecha se rebajó hasta encontrar roca de calidad aceptable. Por ello se incluyó una gravera más en el conjunto de las situadas aguas arriba de la obra, e incluso se llegó a preparar otra aguas abajo, cuya explotación no fue necesaria. Las cifras de estudio sufrieron, en definitiva, variaciones importantes para cada gravera, pero no así en el conjunto, cuyas cifras fueron aceptables, como puede verse en el cuadro 1.

CUADRO 1

RESUMEN DE LAS CUBICACIONES DE GRAVERAS

Gravera número	Cubicación máxima en T. M., según estudio	T. M. totales extraídas en la explotación	Desviación del estudio (T. M.)	Distancia (Km.) al tren
1 + 2 Am.	408 494	183 185 (1)	— 225 309	4,4
3 + 4 "	102 160	76 864	— 25 296	4,0
5 "	13 320	3 264 (2)	— 10 056	4,9
6 "	8 782	9 776	992	1,7
7 "	113 980	167 728	53 748	1,2
8 Av.	128 205	186 436	58 231	1,8
9 "	98 512	88 722	— 9 790	2,2
10 + 11 "	103 785	12 846 (3)	— 90 939	2,8
12 "	155 400	156 070	670	3,75
C Am.	—	77 597	77 597	4,2
Totales . . .	1 132 638	962 488	— 170 150	

A_m: Situación aguas arriba de la presa.

A_v: Situación aguas abajo de la presa.

(1) No hubo necesidad de explotarla íntegramente. Como la proporción de finos era muy alta se decidió cambiarlas por la gravera C no prevista en un principio.

(2) No se explotó totalmente.

(3) Por tener zonas con excesiva cantidad de materia orgánica, y visto que la estimación de las graveras 7 y 8 se había superado claramente, se abandonó su explotación.

Nota final: El total de 962 488 Tn. Se repartieron en 15 400 Tn., extraídas para la explotación de la instalación provisional de áridos que funcionó en la fase inicial de obra hasta septiembre de 1966 y 937 464 Tn. que se vertieron al tren definitivo en el período marzo 1967-enero 1969, quedando 9 624 Tn. en el acopio "todo uno" a finales de enero de 1969.

Por lo que se refiere a la granulometría media esperable, las cifras resultantes de las prospecciones son representativas, con cierta aproximación, para el conjunto del yacimiento (ver cuadro 2), pero nunca para una gravera concreta y menos para una zona de una gravera. Ya se comprende que la composición real de un yacimiento de este tipo es, fundamentalmente, heterogénea y, por tanto, los datos de estudios no pueden ser la base de ajuste, ni de la explotación diaria, ni del proyecto del tren de preparación, debiendo considerarse, exclusivamente, con validez relativa en cuanto a la granulometría media final del conjunto. En consecuencia, tanto los proyectos de instalaciones como las normas de explotación, han de estudiarse con criterios ampliamente suficientes para poder hacer frente a las variaciones momentáneas que, con seguridad, diferirán notablemente de la media.

En el mismo sentido, es fundamental definir las especificaciones de calidad, con posibilidad de variación y, en este sentido, Iberduero colaboró al máximo en la presa de Cernadilla. A continuación señalaremos rápidamente los puntos esenciales relativos a la dirección de la obra.

Ya en la prospección se advirtió que el tanto por ciento superior a 60 mm., no rebasaba cifras del orden del 20-22 por 100, y con este porcentaje era difícil estudiar dosificaciones adecuadas. Por ello se decidió que el límite superior se rebajase a 100 mm., y, en consecuencia, también se disminuyeron las demás, ya que así el riesgo de dispersión en la granulometría interna de las gravas, cuyos límites eran demasiado distantes, se disminuía. En cuanto a las arenas, se mantuvo la frontera de 1 mm., pero se llevó a 6 mm. el límite superior, previa comprobación de que ello no afectaría al funcionamiento del Rheax. In-

CUADRO 2

COMPARACION ENTRE GRANULOMETRIAS DEL "TODO UNO" Y DOSIFICACIONES TIPO MAS FRECUENTES

	Tamaño tipo de áridos				
	Núm 5 50-100 mm. %	Núm. 4 20-50 mm. %	Núm. 3 6-20 mm. %	Núm. 2 1,0-6 mm. %	Núm. 1 0,1-1,0 mm. %
Composición de graveras según prospección de estudio (1)	24,0	21,0	15,0	17,0	23,0
Composición real del todo uno (2)	29,85	28,92	17,54	8,83	14,86
Hormigón, 190 Kg. (3)					
Dosificación núm. 1	21,8	30,0	21,0	8,0	18,85
Dosificación núm. 2	29,9	27,0	17,3	7,8	18,0
Dosificación núm. 3	30,8	29,2	17,2	8,2	14,6
Hormigón, 250 Kg. (3)					
Dosificación núm. 1	21,8	33,3	21,3	7,2	16,5
Dosificación núm. 2	30,0	28,9	18,5	6,8	16,0
Dosificación núm. 3	30,8	31,0	19,2	6,8	12,1
Media de dosificaciones empleadas (4)	28,6	28,8	19,6	7,9	15,1

Notas: (1) La composición estimada realmente en la prospección fue: 29 por 100 de árido 40 mm.; 16 por 100 de árido 20-40 mm.; 17 por 100 de árido 5-20 mm.; 15 por 100 de árido 1-5 mm. y 23 por 100 de árido 1 mm. La figura en el cuadro es la correspondiente variando los límites y suponiendo que el 100 por 100 del árido > 50 es transformable en árido número 5 exclusivamente.

(2) Este dato se obtuvo por el consumo medido en torre de hormigón, más la existencia final en acopios clasificados y, todo ello, medido en áridos lavados.

(3) Estos son los tipos principales de hormigón que suponen el 90 por 100 de todo el hormigón fabricado. La dosificación número 1 se empleó entre el período mayo-agosto de 1967; la número 2 en el de septiembre de 1967-enero de 1968 y la número 3 desde mayo de 1968 hasta el final. En los períodos marzo de 1967 hasta abril de 1967 y febrero de 1968 a abril de 1968 se utilizaron otras diversas.

(4) Este dato se refiere al control en torre de hormigón de un total de 327 000 m.³ de hormigón más 5 200 m.³ de morteros fabricados desde marzo de 1967 a febrero de 1969 empleando las dosificaciones principales (números 1, 2 y 3) y otras de importancia secundaria. Las cifras no son, pues, "dosificación concreta" alguna, sino la media del conjunto de las empleadas en esta obra.



Foto 2. — Extracción de grava.
(Gravel extraction.)

fluye mucho el coeficiente de forma del árido. En muchos otros casos esta frontera sería, seguramente, exagerada, porque así se acercaban más los límites de definición del árido número 3.

En definitiva, la serie primitiva, definida en Proyecto por los límites:

0,1 — 1,0 — 4,0 — 30,0 — 60,0 — 120,0 mm.

Pasó a ser, antes de iniciar el hormigonado, la siguiente:

0,1 — 1,0 — 6,0 — 20,0 — 50,0 — 100,0 mm.

Se discutió el límite 50 o bien el 40, teniendo en cuenta que, aunque en proporción pequeña, convenía disponer de dosificaciones adecuadas al empleo de cañón o, simplemente, a hormigones para armar. También por ser árido



Foto 3. — Vista general del tren de áridos.
(General view of the aggregate train.)

rodado se admitió elevar, en definitiva, dicho límite a 50.

En cuanto a las dosificaciones tipo se admitió, desde el principio, que la obra debía utilizar varias que, respetando los criterios de calidad, pudiesen emplearse para ajustarse en lo posible al contenido de las graveras. No obstante, se decidió no prefijar nada y así fue el laboratorio, según la explotación progresaba, quien definió una serie de dosificaciones tipo, de las que las tres principalmente empleadas se reflejan en el cuadro núm. 2. En él se puede ver que la media de dosificaciones utilizadas se ajustó al máximo a la realidad de la granulometría del yacimiento.

B) *Esquema de explotación.*—Por tratarse de un número elevado de graveras, con varios accesos independientes, se excluyó, desde el principio, cualquier tratamiento de clasificación o lavado en las propias graveras. Las instalaciones deberían ser varias, ya que sus granulometrías eran dispares y ya se veía en ello la conveniencia de explotar al tiempo dos o más graveras diferentes. El único caso en que podría interesar tratamiento previo era el derecho de tamaños > 100 : en nuestro caso no era procedente, ya que este árido se necesitaba para compensar el déficit del tamaño máximo con el oportuno machaqueo.

En resumen se consideró como solución conveniente la extracción y transporte a obra del "todo uno" en bruto tal y como se presentaba en el yacimiento, centralizando en una sola instalación todo el proceso de tratamiento.

C) *Extracción y transporte.*—La extracción y carga se estudió con equipos de empuje hasta llegar a la capa freática y de "retro" a partir de este nivel hasta agotar cada gravera.

Al definir así los equipos se buscaba la máxima movilidad con los siguientes fines:

— Simplificar al máximo el tráfico en los accesos, teniendo siempre en explotación graveras de aguas arriba y aguas abajo de la obra.

— Tener en explotación simultánea al menos dos graveras de granulometrías complementadas.

— Dentro de una gravera tener más de un equipo de carga para poder corregir la extracción de uno con la del otro, toda vez que, previamente, se localizaron zonas de "gruesos" y zonas de "areneros" en cada una de las graveras.

— No precisar equipo especial de tractor para el desbroce inicial de la capa vegetal, ya que esta labor la hacía perfectamente la cargadora de orugas.

4. PROYECTO DEL TREN DE ARIDOS

A) *Bases del proyecto.*—Las ideas básicas en que fundamentamos el proyecto del tren, cuyas características incluiremos seguidamente, pueden resumirse como sigue:

1. La explotación de una gravera es posible con un simple *tren de clasificación*. El "todo uno" suele ser "cerrado", aunque, comparado con las dosificaciones tipo que se ensayan, presenta siempre desajustes importantes, aun respecto de aquellas más favorables.

2. En consecuencia, hay un primer *problema de los remanentes del conjunto* que se han de desechar siempre, pero lo más importante es que el desajuste local de una gravera en explotación, y, más aún, el desajuste momentáneo de una zona de aquélla, puede ser de tal magnitud que es imposible fijar el "*criterio de dimensionamiento de las cribas*" y, aceptando incluso el llegar a amplitudes exageradas, no es posible estimar, con alguna aproximación, la *importancia económica de los movimientos intermedios de materiales clasificados a acopios* y de estos acopios al tren.

3. La aparente ventaja de *economía de primer establecimiento y sencillez de explotación* del tren de clasificación sobre un tren de machaqueo-clasificación desaparece.

4. El dimensionamiento del tren mixto (clasificación y machaqueo) más económico para una gravera debe tener en cuenta:

a) Las granulometrías más desfavorables de entre las de la serie de calicatas han de ser la base de partida. Hay que tener en cuenta que la instalación ha de responder a las *exigencias momentáneas de la explotación* y la calicata es, por definición, el dato que señala las características que tendrá aquélla al llegar a la zona de que se trata.

b) Aunque se puede hacer el estudio de tantas hipótesis desfavorables, como correspondan a cada tamaño de los definidos (en nuestro caso, cinco tamaños), es suficiente normalmente tener en cuenta solamente dos: "alimentación con el todo uno de mayor sobrante en finos" y "alimentación con el todo mayor sobrante en gruesos", todo ello respecto de la dosificación tipo precisa.

c) En la segunda de estas hipótesis, el artificio de cálculo consiste en suponer, como en el caso de una cantera, que el producto cribado va a silos en la proporción igual o inferior a la que se precisa y que los sobrantes, corregidos por máquinas de machaqueo adecuadas y supuestos incorporados al caudal primario, compensan los déficits equivalentes. En la práctica no se puede reiterar el cálculo más de una o dos veces, pues ello indicaría que la elección de máquinas o de su reglaje no era correcta; el circuito de "reciclaje" estaría siempre sobrecargado, pero a costa, en definitiva, de afectar a la producción prevista.

Las machacadoras se dimensionan como consecuencia del cálculo en esta hipótesis.

d) En la hipótesis primera, como se comprenderá, de lo que se trata es de dimensionar las cribas de arena. En nuestro caso sería el escalón de la criba última, que separa el tamaño superior a 6 mm. y, además, la instalación hidráulica que separa los dos tipos de arena.

e) El dimensionamiento de machacadoras y cribas debe hacerse respetando en general, porcentajes de reserva de máquinas del orden del 15 ó 20 por 100 por lo menos, cuando se trate ya de pasar al modelo comercial concreto. Puede ajustarse más el caso de la criba de arena, pues ya se comprende que si, en un momento, las zonas en explotación sólo envíen finos, el problema no es que la instalación los admita ampliamente, sino que hay que tomar medidas complementarias de las que hablaremos seguidamente.

5. Como criterios complementarios conviene siempre tener en cuenta:

— Debe regularse la explotación con *acopios de áridos clasificados* en montón para hacer frente a desviaciones momentáneas no sólo en el caso de exceso general de finos, sino porque puede interesar no cubrirse demasiado en el dimensionamiento de machacadoras y, sobre todo, de molinos de arena.

— El producto primario debe tener un silo regulador, intercalado en la alimentación del tren, para no sufrir las consecuencias de posibles irregularidades momentáneas en la llegada de los vehículos procedentes de graveras. No obstante, la capacidad de este silo puede limitarse, como mucho, a lo necesario para dos o tres horas de funcionamiento de la instalación.

— Finalmente, también el producto primario debe tener un *acopio general* para prevenir la paralización de la extracción en caso de avenidas. El criterio de su dimensionamiento ha de fijarse, según los casos, con los datos de que se disponga sobre niveles que el río alcance en las riadas que afecten a las graveras.

B) *Dimensionamiento del tren.*—Los datos que siguen se refieren al estudio realizado inicialmente. En la explotación se variaron los límites de los tamaños, pero también se varió la dosificación tipo, por lo que, comprobado que el primer dimensionamiento tenía coeficientes de "reserva de máquinas" suficiente para cubrir las diferencias, se mantuvo la elección de aquéllas.

El dimensionamiento se realizó así:

— Producción máxima de hormigón prevista a: 20 000 m.³/mes, 800 m.³/día.

— Previsión máxima de áridos clasificados: 43 000 Tn./mes, 1 700 Tn./día, 2,15 Tn. de árido/m.³ de hormigón. Resultó una proporción algo mayor.

— Producción neta del tren (un turno de diez horas): 170 Tn./h.

— Producción real del tren (árido en bruto): 20 por 100 para pérdidas por lavado y rendimiento global de máquinas:

$$\frac{170}{0,8} = 210 \text{ Tn./h.}$$

1. *Hipótesis de exceso de gruesos.* (Ver cuadro número 3.)

Esquema de cálculo.—En el esquema siguiente se resume el resultado del cálculo. Los niveles elegidos para cribado se agruparon así: el primero, con criba doble, reunía las mallas 120 y 60, mientras que, cada uno de los otros dos, llevaron cribas sencillas. Las correcciones por machaqueo se supusieron realizadas con una secundaria de mandíbulas, una terciaria giratoria y un molino de barras.

Hay que tener presente que este cálculo se hizo con los primitivos límites de los diferentes tamaños de áridos y con la primitiva dosificación tipo y que ambas cosas se variaron posteriormente como se indica en otro lugar.

ESQUEMA DEL TREN DE MACHAQUEO Y CLASIFICACION

Elección de máquinas.—Todas las máquinas de machaqueo se adoptaron con una reserva excesiva, pero, como son las dimensiones de boca las que, en todo caso, han de respetarse, las máquinas adoptadas son las que consideramos adecuadas en las series comerciales con-

CUADRO 3

Aridos n.º	Límites (mm.)	Dosificación tipo de estudio	Granulometría de la calicata (1)	Diferencia
	120		37,5 %	+ 4 T./h.
5	60 - 120	36 % 76 T./h.	} 75 T./h.	- 1 T./h.
4	30 - 60	19 % 40 T./h.		24,8 % 52 T./h.
3	4 - 30	26 % 54 T./h.	26,7 % 56 T./h.	+ 2 T./h.
2	1 - 4	} 19 % 40 T./h.	11,0 % 23 T./h.	- 17 T./h.
1	0,1 - 1			

(1) Corregida ya en primaria.

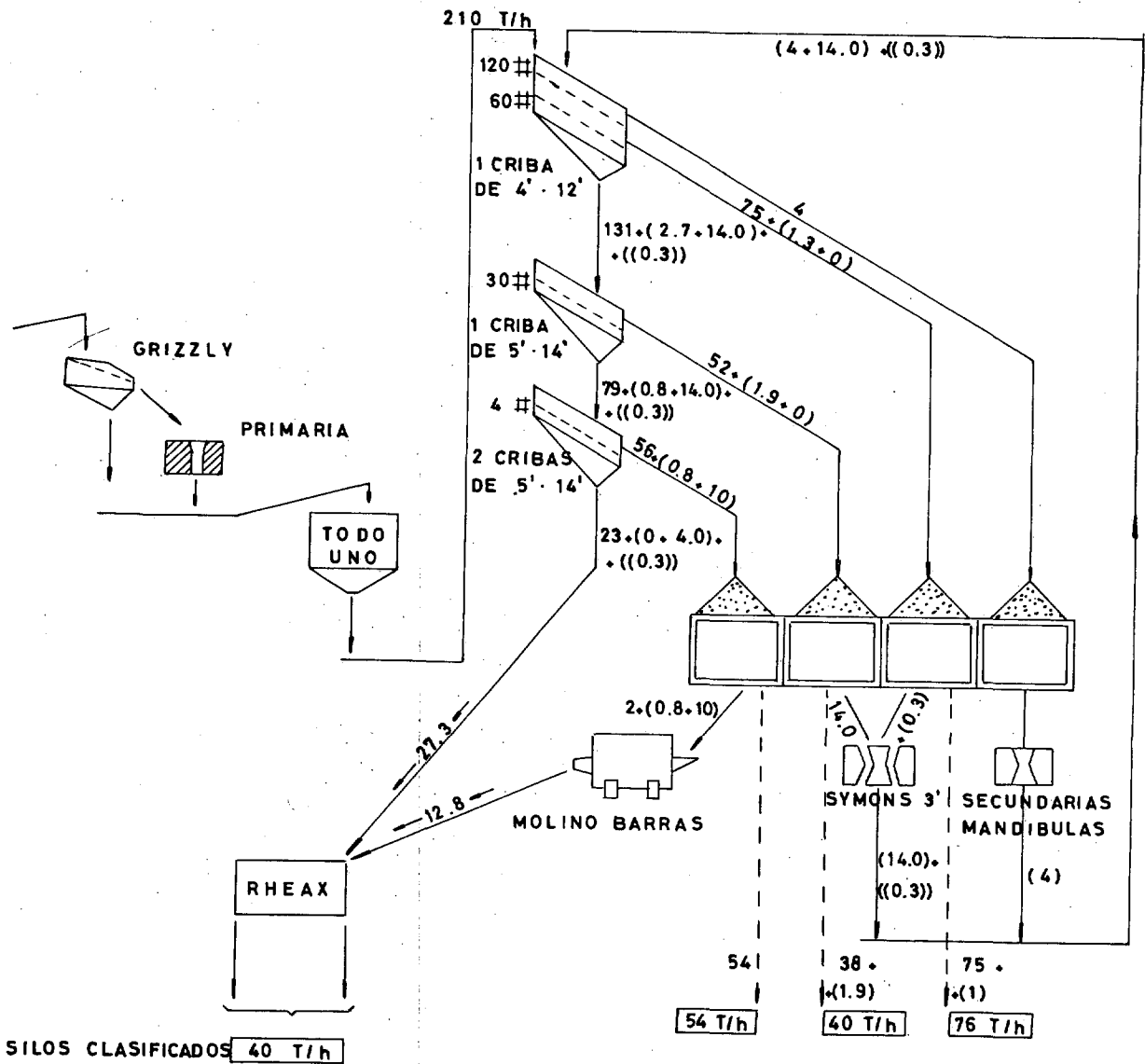


Figura 2.

cretas. En cuanto a la arena, visto que el conjunto de graveras tenía excedente sobre lo necesario (ver cuadro número 2) y que la producción por molienda es cara, llegamos a la conclusión de que el manejar acopijs clasificados intermedios, en un momento dado, era preferible a aumentar el número de molinos. La supresión total de molinos no es conveniente, pues es la única posibilidad de actuar para ajustar el módulo de finura de la arena 0,1 — 1 mm.

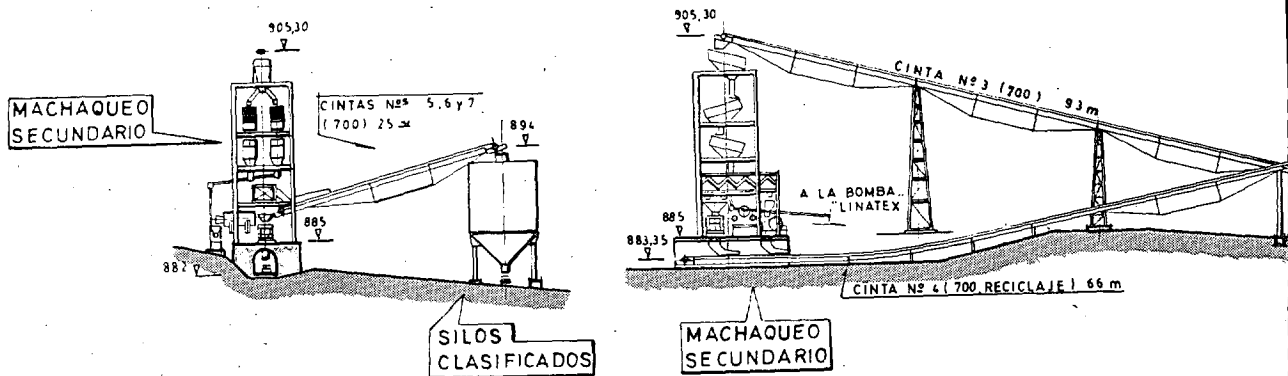
2. *Hipótesis de exceso de finos.* (Ver cuadros números 4 y 5.)

3. *Clasificación hidráulica de arenas.*—Se adoptó este sistema con una torre tipo de 50 Tn./hora de capacidad

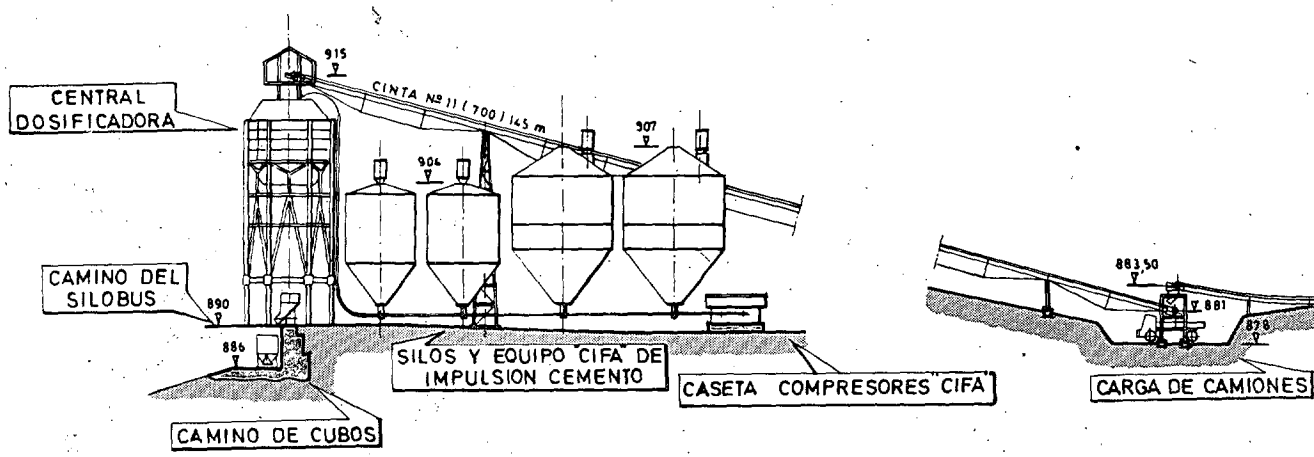
de sólidos, cifra ligeramente superior a las necesidades fijadas (40 Tn./hora). Su función era la separación del total de la arena por 1 mm., y la eliminación de los tamaños inferiores a 0,1 mm.

C) *Descripción del tren.*—En el esquema antes incluido se puede apreciar el circuito de áridos, que está suficientemente claro y que termina en el grupo de silos metálicos de áridos clasificados y cinta de alimentación de los silos propios de la torre de hormigonado.

Además de los silos metálicos existía la posibilidad del acopio de áridos clasificados en montón, cosa que daba gran elasticidad a la instalación.

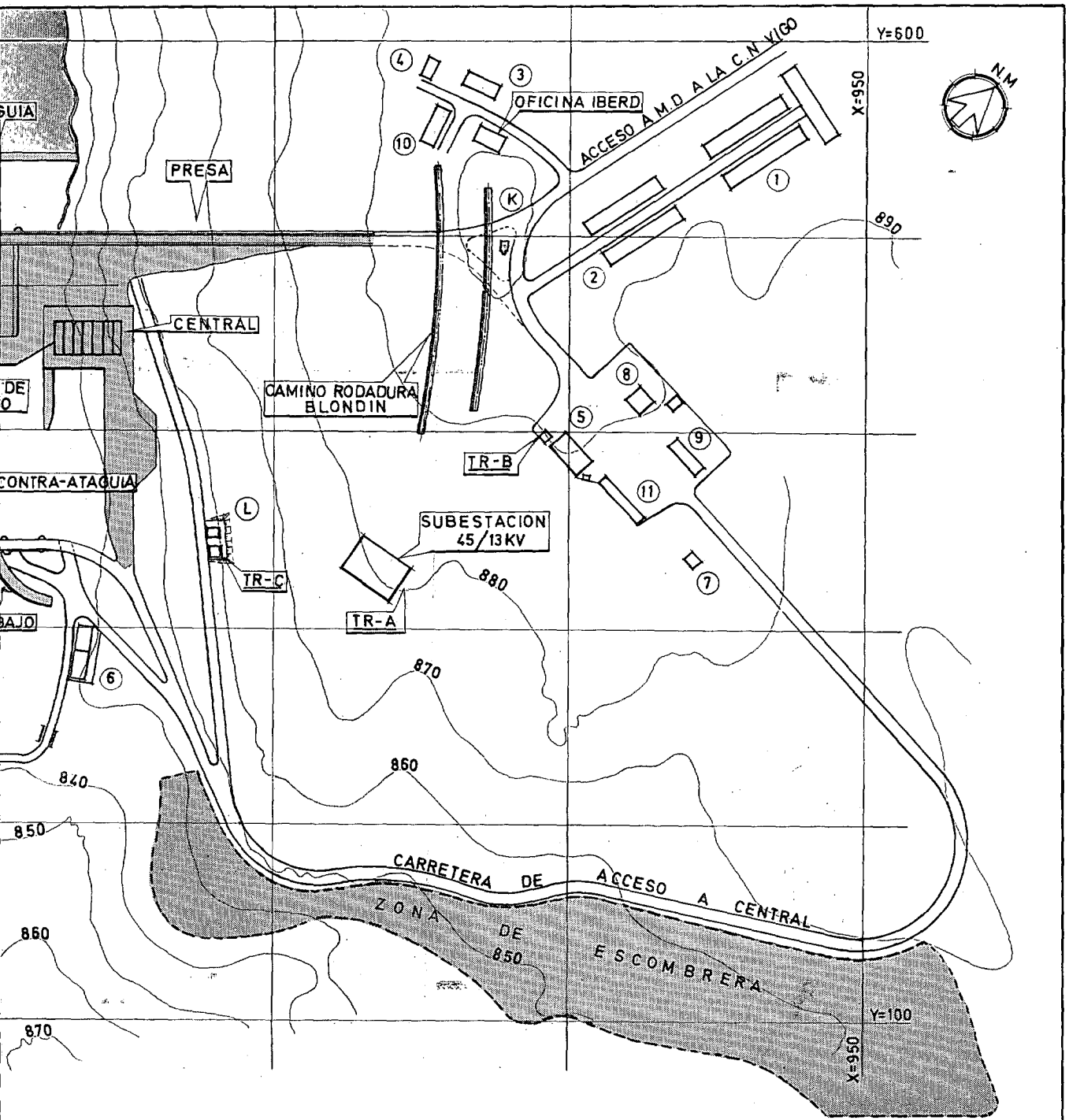


Perfil núm.
(Installation of



Perfil núm. 2 (sil
(Classified

Fig. 4. — Tren de producción de áridos.
(Production aggregates train.)



INDA

- SILOS DE CEMENTO
- CALENTAMIENTO DE AGUA
- REFRIGERACION DE AGUA
- GALPON PARA INYECCIONES
- DEPOSITO INTERMEDIO Y BOMBAS DE ELEVACION
- DEPOSITO SUPERIOR Y BOMBAS DE IMPULSION
- DEPOSITOS MARGEN IZQUIERDA

- (L) COMPRESORES MARGEN IZQUIERDA
- (M) COMPRESORES MARGEN DERECHA
- (N) TOMAS DE AGUA
- TR CASETA TRAFOS INTEMPERIE
- TR CASETA TRAFOS INTERIOR

obra e instalaciones.
(installation.)

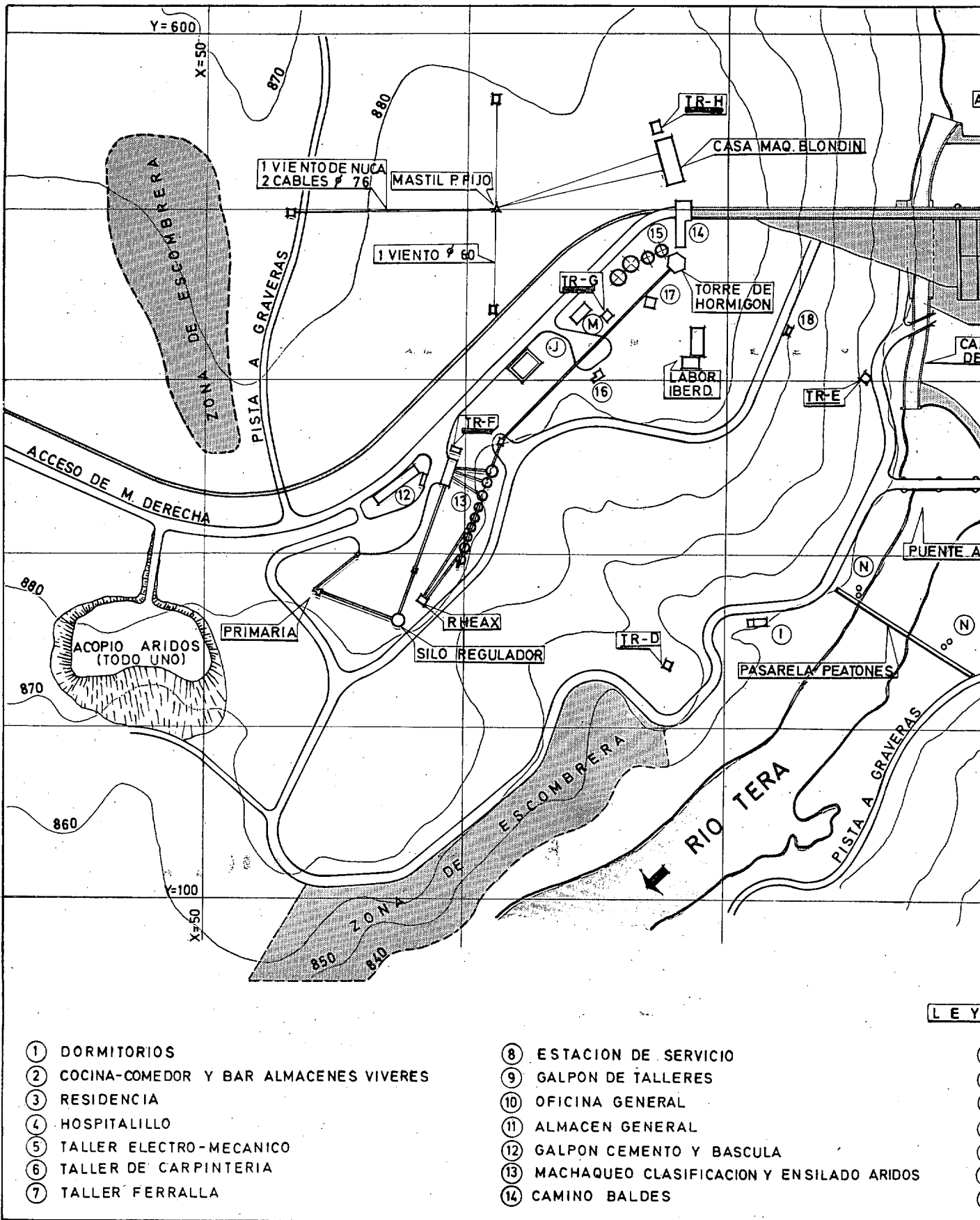
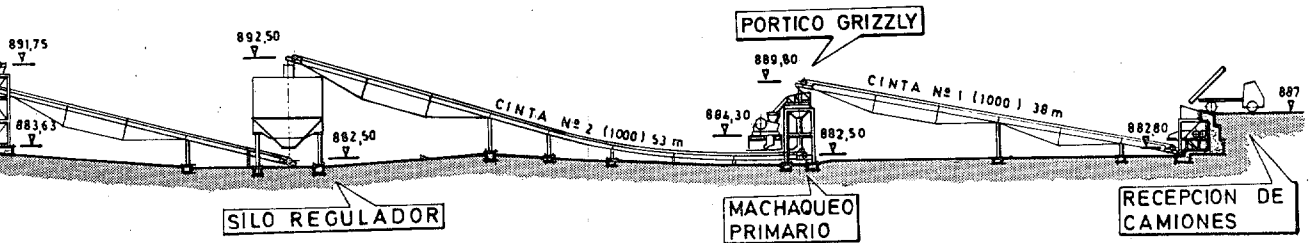
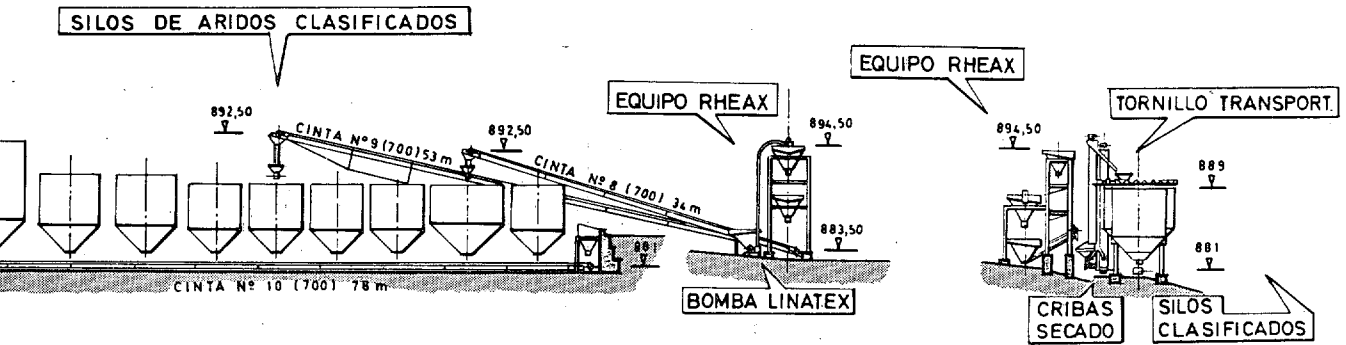


Fig. 3. — Planta general d
(General layout of



ren de áridos).
 aggregates train.)



de áridos clasificados).
 aggregates silos.)

CUADRO 4

Aridos n.º	Límites (mm.)	Dosificación tipo de estudio	Granulometría de la calicata (1)	Diferencia
5	60	36 % ... 76 T./h.	8 % ... 17 T./h.	- 59 T./h.
4	30 - 60	19 % ... 40 T./h.	18 % ... 38 T./h.	- 2 T./h.
3	4 - 30	26 % ... 54 T./h.	42 % ... 87 T./h.	+ 33 T./h.
2	1 - 4			
1	0,1 - 1	19 % ... 40 T./h.	32 % ... 68 T./h.	+ 28 T./h.
		100 % ... 210 T./h.	100 % ... 210 T./h.	

Ya se comprende que los déficits de áridos 5 y 4 han de tomarse de los montones de acopios clasificados. El excedente de árido número 3 pasaría a molinos arenosos si hubiese suficiente número de éstos y, como no es el caso, irá de momento a acopios. Igual sucede con el excedente de arenas. En resumen, se trata de comprobar que las cribas admiten los caudales totales con margen suficiente para que el cribado siga siendo correcto, ya que las máquinas de machaqueo no trabajan.

CUADRO 5

		Caudal compuesto máximo	Malla precisa	Reserva de maquinaria
Nivel 1 de cribado	≠ 120	210 + 59 + 2 = 271 T./h.	14,5 pies ²	100 %
	≠ 60	210 + 59 + 2 = 271 T./h.	30 pies ²	30 %
Nivel 2 de cribado	≠ 30	193 + 2 = 195 T./h.	36 pies ²	75 %
Nivel 3 de cribado	≠ 4	155 = 155 T./h.	115 pies ²	11 %

Con esto queda asegurada la elección de máquinas, hecha en el cálculo de la primera hipótesis puesto que ni siquiera es preciso ajustar la explotación a la posibilidad de absorber caudales tan altos como indicamos en el cuadro precedente hecho sobre la base de no disminuir el ritmo de extracción y añadir los déficits que se encuentren. Como se comprenderá, puede rebajarse aquél ritmo para no producir más que la arena precisa y aumentar un poco las cifras de productos que pasan de acopios al tren.

CUADRO 6

Arido n.º	Necesidades s./dosificaciones de estudio	Necesidades s./media de dosificaciones empleadas	Capacidad real de los silos
5	36 % ... 360 m. ³	28,6 % ... 290 m. ³	1 × 500 m. ³
4	19 % ... 190 m. ³	28,8 % ... 290 m. ³	1 × 250 m. ³
3	26 % ... 260 m. ³	19,6 % ... 200 m. ³	1 × 250 m. ³
2	9 % ... 90 m. ³	7,9 % ... 80 m. ³	3 × 125 m. ³
1	10 % ... 100 m. ³	15,1 % ... 140 m. ³	3 × 125 m. ³
	1-000 m. ³	1 000 m. ³	

(1) De la total serie de calicatas se desecharon 4 pozos que eran simples zonas de arena. Realmente esta granulometría corresponde a la envolvente de dos o tres que son las más recargadas en finos.

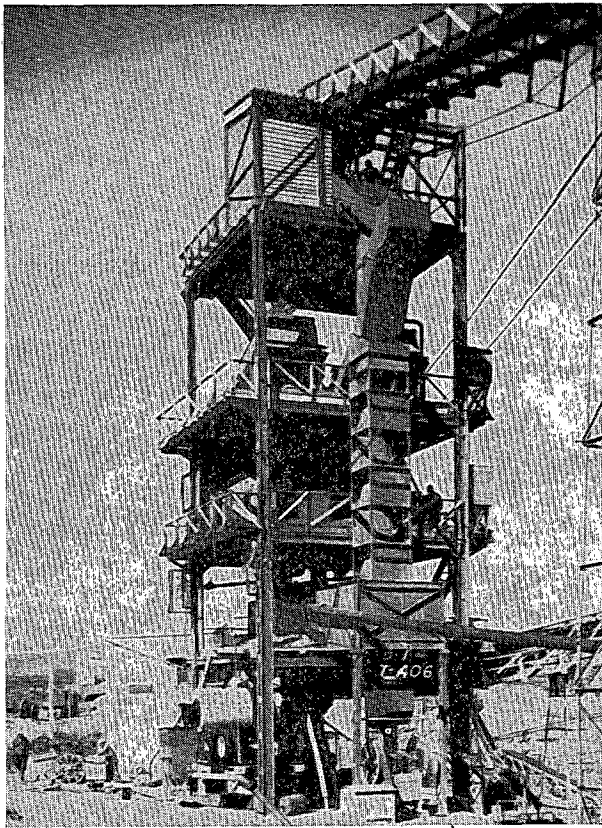


Foto 4. — Torre de clasificación y machaqueo.
(Classification and crushing tower.)

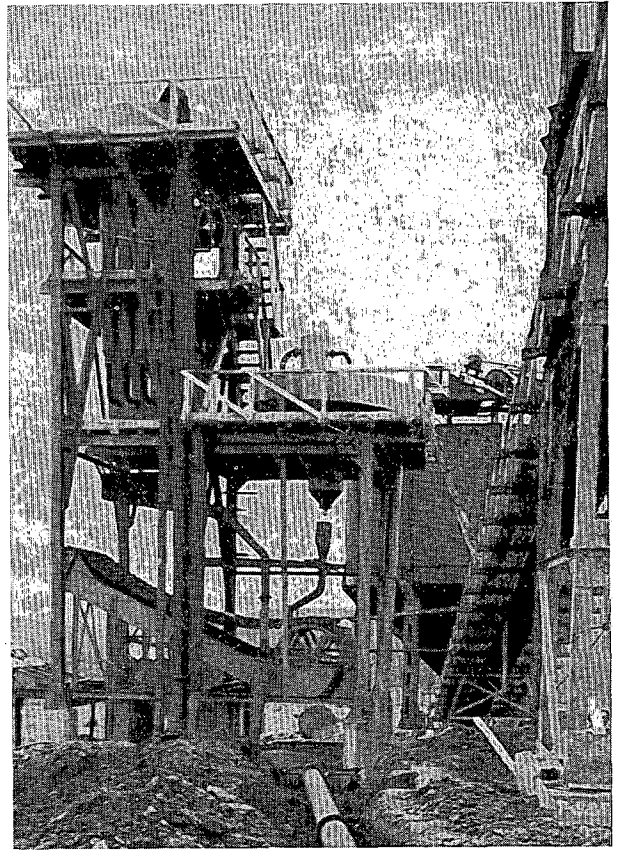


Foto 5.—Equipo Rheax de clasificación hidráulica de arenas.
(Hydraulic sand classification unit.)

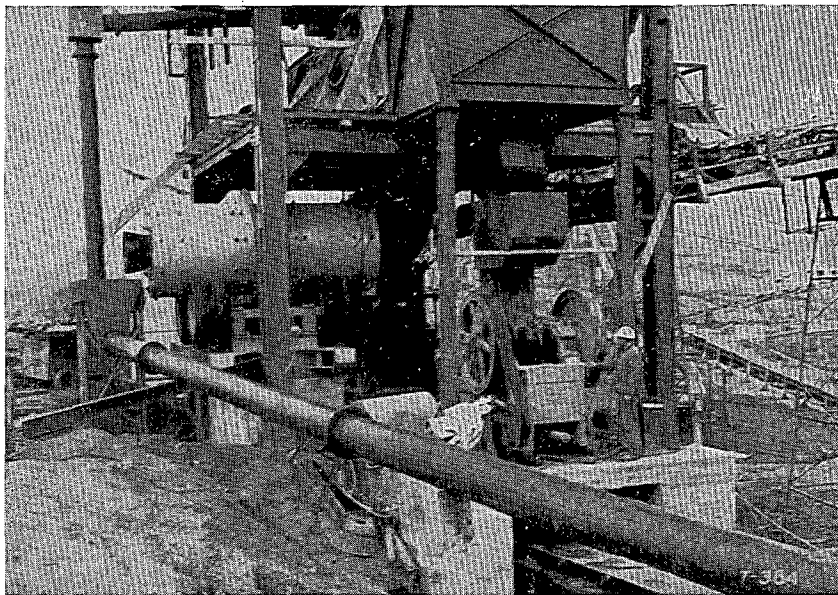


Foto 6. — Detalle de la planta de máquinas de machaqueo.
(Detail of the crushing plant.)

Comentaremos, seguidamente, algunos aspectos concretos que pueden tener interés.

Silo regulador.—Se adoptó un silo metálico de 400 m.³ de capacidad, esto es, unas 700 Tn. de "todo uno", lo que supone algo más de tres horas de funcionamiento del tren.

Silos clasificados.—Fueron silos metálicos, algunos ya existentes al hacer el estudio, por lo que el encaje de las capacidades a las necesidades teóricas no fue perfecto. Se decidió triplicar la capacidad de arenas para llevar a cabo el proceso de secado (un silo en utilización, otro drenando y otro en período de llenado), logrando así, en la arena fina, una humedad residual entre el 10 y el 13 por 100 del peso, que se controlaba en la torre para corregir la dosificación.

En el cuadro número 6 resumimos las previsiones de capacidad de silos para un día de hormigonado, sin funcionamiento del tren, en el período de máxima producción (800 m.³ de hormigón que precisan 1 700 toneladas de árido, esto es, unos 1 000 m.³ de volumen aparente) y las capacidades reales empleadas. (Ver cuadro núm. 6.)

Siendo el déficit de árido 5, el riesgo mayor de la explotación se decidió aumentar la capacidad de este silo sobre lo necesario.

Incorporación de acopios clasificados en montón.—En un principio se pensó en un dispositivo para llenar directamente los silos metálicos, pero luego se decidió hacer la alimentación con vertido a la cinta de reciclaje y volver a lavar y clasificar el árido, pues se comprobó que, al permanecer períodos largos en los acopios, convenía este nuevo tratamiento.

5. RESUMEN DE LA EXPLOTACION

Ya hemos comentado, al hablar de las bases del Proyecto del tren, los aspectos generales de cómo se ordenó el conjunto de la explotación de las graveras. Por ello, nos limitaremos aquí a señalar algunos aspectos particulares, toda vez que en la práctica, se siguieron las normas previstas.

Es fundamental el aspecto del problema de la materia orgánica. El control de la misma se estableció en la explotación del tren por el ensayo colorimétrico del B. R. americano. La corrección por lavado tiene un límite en la práctica, ya que si el tanto por ciento es fuerte, ha de haber, necesariamente, un lavado más enérgico de lo que supone un solo recuperador de cangilones, que es lo que incorporaba, en nuestro caso, el clasificador hidráulico, y con esta solución es segura la pérdida de finos aprovechables, que obligaría a reforzar la producción de arena en molinos.

Por ello, en la práctica, preferimos abandonar aquellas zonas de graveras que precisaron un doble lavado siendo ésta una de las razones para ampliar el número de las explotaciones previstas.

Otra peculiaridad, frecuente en graveras de río, es que los áridos profundos, del orden de más de un metro bajo el nivel normal del río, son escasos en finos y, por ello, siempre se procuró simultanear la explotación "final" de cada gravera con la de "zonas de arenas" previamente localizadas.

El transporte de áridos en el tren se hizo siempre por cinta. Esta razón y la de uniformar el tanto por ciento de agua de las arenas aconsejó que el vertido del clasificador hidráulico se hiciese a dos cribas electromagnéticas de secado que dieron un resultado bueno permitiendo, con toda facilidad, el transporte por cinta con pendientes del orden del 20 por 100 y más. Precisamente el árido número 3 presentó problemas análogos, sobre todo de irregular contenido de humedad, ya que al tener elementos finos y disponer de un solo silo, el contenido de agua estaba muy afectado por los porcentajes que, en cada momento, traía el "todo uno". Por ello, también se añadió una criba de secado en este tamaño.

Para terminar, queremos referirnos al resultado del conjunto de la explotación, que se ajustó, prácticamente, a lo previsto, gracias a haber respetado fundamentalmente el principio de ajustarse a las condiciones del yacimiento, así como también, a la concepción de un tren mixto de clasificación-machaqueo, para tener la posibilidad de tratar en un momento dado los excedentes de tamaños, para corregir los otros, sin necesidad de manejar cantidades importantes de acopios intermedios.

En el cuadro 7 se resume, por tamaños, el total tonelaje movido en esta obra. Con él se ha completado el cuadro 2 que es bien elocuente en lo que respecta a las mínimas diferencias entre la composición media de las graveras y la media de dosificaciones empleadas.

En el cuadro 8 se resume, por meses, el movimiento de áridos en las graveras y en los acopios. Huelga todo comentario si señalamos, simplemente, que para 1 000 000 de toneladas prácticamente, que es lo que se hubo de extraer, solamente pasaron por acopios intermedios 52 000 toneladas (un 6 por 100). Al término de la obra, el total de acopios residuales era de 9.500 Tn. en el acopio de "todo uno" y 17.000 Tn. en el conjunto de clasificados (en total un 3 por 100) de los cuales prácticamente el 80 por 100 se utilizó todavía en el plan de trabajos complementarios que estaban pendientes de realizar a finales de enero de 1969, que es la fecha en que consideramos cerrada toda la estadística del citado cuadro 7.

6. CONTROLES DE HORMIGON EN LABORATORIO

Para terminar este trabajo queremos incluir unos datos que permitan tener una idea de la calidad de la obra realizada.

1. **Ordenación del control de resistencias.**—El control de las resistencias de cada tipo de hormigón lo estableció el laboratorio de Iberduero a partir de muestras tomadas a la salida de la torre de hormigón y, concretamente, en el silobus que alimentaba el cazo del blondín.

CUADRO 7

RESUMEN DEL MOVIMIENTO TOTAL DE ARIDOS CLASIFICADOS Y LAVADOS ORDENADOS POR TAMAÑO

Arido n.º	Ton. consumidas en torre hormigonado	Ton. existentes en acopios	Ton. totales (pasadas por el tren)
1	111 608 (15,1 %)	M ... 570 S ... 170	112 368 (14,9 %)
2	58 463 (7,9 %)	M ... 8 310 S ... 321	67 094 (8,8 %)
3	132 873 (19,6 %)	M ... 495 S ... 108	133 476 (17,5 %)
4	212 302 (28,8 %)	M ... 4 139 S ... 433	216 874 (28,9 %)
5	221 338 (28,6 %)	M ... 4 250 S ... 215	225 803 (29,9 %)
Todo uno	—	S ... 486	486
Totales	736 584 (100 %)	M ... 17 764 S ... 1 753	756 101 (100 %)

M: Acopio en montón.

S: Existencia en silo metálico.

Para cada referencia se hicieron, como mínimo, seis probetas, tres que se rompían a los siete días y tres para romper a los veintiocho días. La rotura a siete días se utilizó como primera cifra orientativa, además de servir de índice en los casos de desajustes graduales de los mecanismos dosificadores de la torre, toda vez que pronto se estableció la correlación correspondiente con la cifra esperable para la rotura a veintiocho días, que es con la que se definió, en definitiva, la "resistencia media".

También se rompieron probetas a noventa días y a un año de edad en número suficiente para obtener, con garantía, la curva "resistencia-tiempo".

Partiendo del valor definido por la media de las 3 probetas rotas a los veintiocho días (cuyo número mensual debe ser del orden de 30, para obtener un conjunto suficientemente numeroso para aplicarle los métodos estadísticos) y de su "amplitud" o diferencia entre la más alta y la más baja de las tres se calculó:

a) La "resistencia media" mensual y el "coeficiente de variación de resistencias" que es el tanto por ciento de desviación típica sobre la media.

b) El "coeficiente de variación de ensayos" que es el tanto por ciento de "desviación patrón" sobre la resistencia media calculada así:

Partiendo de la amplitud media de una serie:

$$A_m = \frac{A_i}{n}$$

se llama "desviación patrón":

$$E_1 = \frac{A_m}{d} = \frac{A_m}{1,693}$$

(1) y "coeficiente de variación de ensayos":

$$CV = \frac{E_1}{R_m}$$

RESUMEN DE LOS MOVIMIENTOS DE ARIDOS DURANTE LA EXPLOTACION DEL TREN EN MILES DE TONELADAS

11

	Datos de la explotación de graveras			Datos del acopio todo uno		Datos de acopios clasificados			Datos del tren	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
	Vertido directo a tren	Vertido acopio todo uno	Total extraído en el mes	Salidas a tren	Existencia a fin de mes	Del tren a acopios	De acopios a tren	Existencia a fin de mes	Producción bruta del mes	Producción neta del mes
1966										
Enero										
Febrero										
Marzo										
Abril										
Mayo										
Junio		67,00								
Julio										
Agosto										
Septiembre (1)	—	99,97	99,97	—	99,97	—	—	—	—	—
Octubre	—	19,20	19,20	—	119,17	—	—	—	—	—
Noviembre	—	—	—	—	119,17	—	—	—	—	—
Diciembre	—	—	—	—	119,17	—	—	—	—	—
1967										
Enero	—	—	—	—	119,17	—	—	—	—	—
Febrero	—	—	—	—	119,17	—	—	—	—	—
Marzo	11,39	—	11,39	—	119,17	2,40	—	2,40	11,39	8,99
Abril	23,20	—	23,20	—	119,17	3,07	—	5,47	23,20	20,13
Mayo	35,01	—	35,01	—	119,17	3,79	—	9,26	35,01	31,22
Junio	35,84	—	35,84	—	119,17	3,57	—	12,83	35,84	32,27
Julio	42,13	—	42,13	—	119,17	2,01	0,89	13,95	43,02	41,01
Agosto	52,21	—	52,21	—	119,17	1,84	7,80	7,99	60,01	58,17
Septiembre	49,10	16,50	65,60	—	135,67	1,54	0,68	8,85	49,78	48,24
Octubre	55,00	30,61	85,61	0,22	166,06	2,65	1,44	10,06	56,66	54,01
Noviembre	47,90	15,68	63,58	6,41	175,33	4,80	1,05	13,81	55,36	50,56
Diciembre	20,74	5,29	26,03	13,94	166,68	3,39	1,45	15,75	36,13	32,74
1968										
Enero	18,83	7,45	26,28	16,47	157,66	1,76	0,43	17,08	35,73	33,97
Febrero	21,47	3,89	25,36	34,50	127,05	1,77	0,50	18,35	56,47	54,70
Marzo	27,04	7,36	34,40	24,41	110,00	0,24	2,88	15,71	54,33	54,09
Abril	44,47	6,00	50,47	22,05	93,95	4,53	0,37	19,87	66,89	62,36
Mayo	52,86	7,87	60,73	15,86	85,96	4,59	1,24	23,22	69,96	65,37
Junio	44,87	9,11	53,98	11,20	83,87	2,29	0,42	25,09	56,49	54,20
Julio	47,60	8,09	55,69	6,90	85,06	3,84	1,95	26,98	56,45	52,61
Agosto	31,77	5,87	37,64	13,36	77,57	1,46	0,34	28,10	45,47	44,01
Septiembre	1,98	16,51	18,49	33,18	60,90	0,85	1,55	27,40	36,71	35,86
Octubre	—	7,17	7,17	34,70	33,37	0,53	2,31	25,62	37,01	36,48
Noviembre	4,25	2,09	6,34	23,08	12,38	0,74	1,65	24,71	28,98	28,24
Diciembre	10,81	—	10,81	1,56	10,82	0,62	3,08	22,25	15,45	14,83
1969										
Enero	—	—	—	1,18	9,64 (2)	—	4,48	17,77 (2)	5,66	5,66
Total	678,47	268,66	947,13	259,02	—	52,28	34,51	—	972,00	919,72

Notas: (1) A 1 de septiembre de 1966 había en acopio 67 000 Tn. que se extrajeron en una campaña previa de cinco meses realizada p/regular la alimentación de la instalación provisional que se empleó en la fase de construcción de las instalaciones de obra.

(2) La cifra final de las columnas (5) y (6) tiene una parte que no puede recuperarse correspondiente a la zona.

Nota general: Todas las cifras se refieren a tonelajes brutos salvo las referentes a acopios clasificados que son productos ya sometidos a lavado. Podrían corregirse estas cifras por sus equivalentes brutas, pero su importancia relativamente pequeña permite prescindir de dicha corrección. Así, pues, hemos admitido lo siguiente:

$$(3) = (1) + (2)$$

$$(5) = (2) - (4)$$

$$(8) = (6) - (7)$$

$$(9) = (1) + (4) + (7)$$

$$(10) = (9) - (6)$$

(1) d es un coeficiente que depende del número de probetas gemelas en las series parciales: según ASTM, para 3 probetas, $d = 1,693$.

c) La "resistencia característica" mensual, según la define la instrucción vigente, obtenida restando del duplo de la media de la mitad de las resistencias más bajas la resistencia media de la totalidad.

2. *Resultados obtenidos.*—Los ensayos en obra se hicieron con probetas cúbicas de $30 \times 30 \times 30$ cm. Para obtener las "resistencias características", según las define la instrucción hoy vigente, hay que manejar datos de probetas cilíndricas de 15×30 cm. y roturas a noventa días.

Experimentalmente se establecieron, con ensayos numerosos los coeficientes correctores de forma y tamaño, además de la curva "resistencia-tiempo", todo lo cual permitió llegar a las fórmulas siguientes:

Hormigón de 190 Kg. de cemento:

$$R_{cil\ 15 \times 30} = 0,869 R_{cúb.\ 30 \times 30 \times 30}$$

$$R_{90} = 1,1609 R_{28}$$

$$K_{190} = 1,0088$$

Hormigón de 250 Kg. de cemento:

$$R_{cil\ 15 \times 30} = 0,831 R_{cúb.\ 30 \times 30 \times 30}$$

$$R_{90} = 1,1266 R_{28}$$

$$K_{250} = 0,9362 (1)$$

(1) K : Coeficiente a aplicar a todos los cálculos con probetas cúbicas de veintiocho días.

Las cifras obtenidas, en definitiva, se resumen en los cuadros que siguen, de los que podemos obtener las siguientes conclusiones:

a) Las resistencias obtenidas superaron siempre ampliamente los límites exigidos por el Pliego.

b) Además, los "coeficientes de variación" de resistencias son muy bajos, salvo el primer mes, en el que hubo un número de ensayos insuficiente siendo, por tanto, poco representativo el resultado. Téngase en cuenta que los coeficientes de seguridad exigidos para solicitudes normales son 4 o bien 3,2 según dicho CV supere o no el 15 por 100 y hemos estado siempre en el segundo caso.

c) En cuanto al "coeficiente de variación de ensayos" baste decir que la norma del "ACI" es:

CV	Calidad de ensayos
4 %	Muy buena
4-5 %	Buena
5-6 %	Admisible
6 %	Mediocre

y, por tanto, los datos anteriores son perfectamente representativos toda vez que estamos siempre en las dos primeras calificaciones y, en gran número de casos, en la primera.

3. *Otras observaciones.*—Hemos de señalar que las circunstancias climatológicas de Cernadilla fueron muy adversas. Baste decir que se alcanzaron temperaturas bajo cero en períodos de tres a cinco meses, según los años, mientras que en verano eran frecuentes temperaturas superiores a los 40° a la sombra. La obra, con las debidas precauciones, se desarrolló sin paradas en el invierno mientras que, en verano, la dosificación de agua había de aumentar, afectando, lógicamente, a las resistencias, no obstante, lo cual, los resultados pueden catalogarse como de primera calidad.

Influyó siempre favorablemente la calidad del cemento empleado. La correlación establecida entre resistencias de éste y de las probetas se mantuvo firmemente pudiendo fijarse las fórmulas:

$$R_h = 103 + 0,425 R_c (D = 190 \text{ Kg.})$$

$$R_h = 100 + 0,57 R_c (D = 250 \text{ Kg.})$$

cuya bondad se comprobó con el test de Student y la estadística del laboratorio señalándose sólo ligeras diferencias con los resultados prácticos de clara dependencia estacional (cambiando incluso de signo de verano a invierno). (Ver cuadros números 9, 10 y 11.)

Finalmente, el control de la relación agua-cemento se llevó de forma rigurosa, pudiendo trabajar en cifras francamente bajas, gracias al empleo del aireante.

7. CONCLUSIONES

No hemos dudado en presentar el caso de la obra de Cernadilla como un ejemplo de planteamiento de la construcción de una obra perfectamente estudiado en el proyecto.

Una vez más se ha demostrado que sólo evitando imprevisiones y afrontando los problemas de la obra con todas las consecuencias y con un sentido de total responsabilidad ante el complejo proceso de esfuerzos que comienza con los estudios previos, pero que tienen su hora de la verdad al llegar al momento de construir la obra, es como puede llevarse a cabo un proyecto, sin alterar las bases que sirvieron para su planteamiento.

Como resumen de las disposiciones que se tomaron se pueden indicar las siguientes:

1. Estudio previo de las graveras y de los hormigones.
2. Adopción de límites de los tamaños adecuados para la granulometría de los áridos.
3. Utilización simultánea de varias graveras y aun de dos zonas de una misma gravera con más o menos proporción de elementos finos.

4. Utilización de varias curvas granulométricas para los áridos, según las posibilidades de las granulometrías reales de las graveras y de la instalación.

5. Montaje de una instalación suficientemente amplia de clasificación y con un mínimo de posibilidades de machaqueo y molienda.

6. Utilización de silos de áridos clasificados en mon-

tón, además de los metálicos cerrados que dan una gran elasticidad a las posibilidades de las distintas dosificaciones autorizadas. **11**

Todo esto ha dado como consecuencia los mínimos movimientos de materiales registrados, así como las pequeñas cantidades sobrantes habidas, todo ello, dentro de las excelentes calidades de hormigones obtenidos.

CUADRO 9

RESISTENCIAS MENSUALES DE LOS DOS TIPOS PRINCIPALES DE HORMIGON

Mes	Hormigón de 190 Kg.		Hormigón de 250 Kg.	
	Resistencia característica	C. V. %	Resistencia característica	C. V. %
1967				
Marzo	—	—	270	12,0
Abril	194	23,0	251	11,8
Mayo	283	7,6	301	10,0
Junio	231	11,8	281	11,3
Julio	229	9,4	274	7,4
Agosto	238	12,2	275	10,4
Septiembre	215	10,4	254	9,4
Octubre	230	9,5	269	7,3
Noviembre	273	9,2	303	7,7
Diciembre	277	6,9	316	6,0
1968				
Enero	273	7,9	318	6,9
Febrero	281	8,2	327	6,4
Marzo	269	8,5	324	6,6
Abril	262	9,1	307	7,5
Mayo	263	7,7	295	8,3
Junio	242	7,3	288	5,7
Julio	211	11,5	236	11,4
Agosto	232	7,1	256	8,8
Septiembre	263	7,8	297	6,4
Octubre	231	12,2	276	8,9
Noviembre	284	6,1	314	6,2
Diciembre	—	—	291	8,7
1969				
Enero	—	—	330	6,9

CUADRO 10

RESUMEN DE ENSAYOS DE PROBETAS

Hormigón núm. B de 190 Kg./m.³ C. P. y 100 mm. tamaño máximo de árido.

Probeta cúbica de 30 × 30 × 30 cm.

M E S	Número de muestras	Sumas de R _i	Sumas de R _i ²	Sumas de amplitud	Resistencia media	Amplitud media	Resistencia C. V. %	Ensayo C. V. %
Probetas de 7 días de edad								
1967								
Abril	5	839	143 811	53	168	10,6	16,4	3,7
Mayo	8	1 738	386 456	114	217	14,2	17,1	3,8
Junio	9	1 996	448 684	152	222	16,8	11,3	4,4
Julio	25	5 099	1 055 663	313	204	12,5	12,3	3,6
Agosto	36	8 231	1 926 837	620	229	17,2	14,5	4,4
Septiembre	29	5 512	1 063 652	401	190	13,8	12,6	4,3
Octubre	33	6 730	1 395 736	517	204	15,7	13,2	4,5
Noviembre	31	7 154	1 671 542	636	231	20,5	11,4	5,2
Diciembre	25	5 958	1 433 418	444	238	17,7	9,9	4,4
1968								
Enero	23	5 255	1 213 311	434	228	18,8	10,5	4,8
Febrero	30	6 749	1 545 579	481	225	16,0	13,6	4,2
Marzo	29	6 534	1 488 766	393	225	13,5	10,8	3,5
Abril	32	7 156	1 620 302	421	224	13,1	11,4	3,5
Mayo	28	6 346	1 451 876	417	227	14,9	9,9	3,9
Junio	23	5 003	1 101 053	266	218	11,6	11,1	3,1
Julio	28	5 437	1 074 881	328	194	11,7	13,8	3,6
Agosto	23	4 460	870 366	356	194	15,5	8,2	4,7
Septiembre	19	4 177	926 289	267	220	14,1	9,6	3,8
Octubre	14	2 830	580 534	158	202	11,3	12,6	3,3
Noviembre	8	1 799	408 765	118	225	14,7	10,9	3,9
Probetas de 28 días de edad								
1967								
Abril	6	1 753	534 625	68	292	11,3	23,0	2,3
Mayo	16	5 041	1 596 277	299	315	18,6	7,6	2,9
Junio	23	6 356	1 775 486	528	276	22,9	11,8	4,8
Julio	25	6 799	1 865 181	440	272	17,6	9,4	3,8
Agosto	36	10 657	3 199 911	889	296	24,7	12,2	4,9
Septiembre	29	7 376	1 894 950	585	254	20,2	10,4	4,7
Octubre	33	8 888	2 414 584	640	269	19,4	9,5	4,3
Noviembre	31	9 552	2 967 168	772	308	24,9	9,2	3,8
Diciembre	25	7 747	2 411 587	558	310	22,3	6,9	4,2
1968								
Enero	23	7 151	2 236 729	621	311	27,0	7,9	5,1
Febrero	30	9 552	3 041 816	749	317	25,0	8,2	4,6
Marzo	29	8 894	2 746 384	676	307	23,3	8,5	4,5
Abril	32	9 726	2 979 576	643	304	20,1	9,1	3,9
Mayo	28	8 378	2 520 956	527	299	18,8	7,7	3,7
Junio	23	6 422	1 802 268	438	279	19,0	7,3	4,0
Julio	28	7 219	1 884 817	422	258	15,1	11,5	3,5
Agosto	23	5 949	1 546 163	321	259	14,0	7,1	3,2
Septiembre	19	5 705	1 722 859	465	300	24,5	7,8	4,8
Octubre	14	3 937	1 122 517	294	281	21,0	12,2	4,4
Noviembre	8	2 462	760 170	124	308	15,5	6,1	3,0

RESUMEN DE ENSAYOS DE PROBETAS

Hormigón núm. A de 250 Kg./m.³ C. P. y 100 mm. tamaño máximo de árido.

Probeta cúbica de 30 x 30 x 30. cm.

MES	Número de muestras	Sumas de R_i	Sumas de R_i^2	Sumas de amplitud	Resistencia media	Amplitud media	Resistencia C. V. %	Ensayo C. V. %
Probetas de 7 días de edad								
1967								
Marzo	7	1 606	370 522	138	229	19,7	10,4	5,1
Abril	13	3 102	758 676	204	239	15,7	15,3	3,9
Mayo	9	2 559	736 961	185	284	20,5	13,0	4,2
Junio	7	1 953	525 035	121	276	17,2	6,3	3,6
Julio	26	6 800	1 795 578	450	262	17,3	7,8	3,8
Agosto	27	7 718	2 238 780	612	286	22,6	11,9	4,7
Septiembre	30	7 422	1 864 260	531	247	17,7	12,6	4,2
Octubre	28	7 346	1 945 852	479	262	17,1	10,0	3,8
Noviembre	31	9 304	2 810 548	676	300	21,3	8,2	4,3
Diciembre	23	7 117	2 223 855	476	309	20,7	10,1	3,9
1968								
Enero	26	7 403	2 119 763	474	285	18,2	7,6	3,7
Febrero	30	9 064	2 761 150	631	302	21,0	9,2	4,1
Marzo	32	9 877	3 068 323	630	309	19,7	8,2	3,8
Abril	31	9 420	2 884 850	615	304	19,8	9,0	3,8
Mayo	36	10 325	2 998 285	576	287	16,0	11,3	3,3
Junio	27	7 450	2 064 532	440	276	16,3	6,7	3,5
Julio	33	8 055	2 003 700	495	244	15,0	14,0	3,6
Agosto	40	10 038	2 549 164	746	251	18,7	11,1	4,4
Septiembre	36	10 021	2 809 689	652	278	18,1	8,6	3,8
Octubre	43	11 415	3 060 053	711	265	16,5	10,0	3,7
Noviembre	56	16 418	4 854 666	1 013	293	18,1	10,7	3,6
Diciembre	26	7 395	2 132 041	526	284	20,2	11,9	4,2
1969								
Enero	30	8 982	2 713 426	542	299	18,1	9,6	3,6
Probetas de 28 días de edad								
1967								
Marzo	7	2 227	710 691	167	318	23,8	12,0	4,4
Abril	19	6 144	2 008 400	430	323	22,6	11,8	4,1
Mayo	29	10 511	3 837 275	637	362	21,9	10,0	3,5
Junio	21	7 039	2 369 801	418	335	19,9	11,3	3,4
Julio	26	8 480	2 777 684	641	326	24,7	7,4	4,5
Agosto	27	9 582	3 438 258	654	355	24,2	10,4	4,0
Septiembre	30	9 564	3 075 212	779	319	26,0	9,4	4,8
Octubre	28	9 142	3 000 142	769	327	27,5	7,3	5,0
Noviembre	31	11 420	4 231 344	968	368	31,2	7,7	5,0
Diciembre	23	8 651	3 265 277	643	376	27,9	6,0	4,4
1968								
Enero	26	9 461	3 458 747	648	364	24,9	6,9	4,0
Febrero	30	11 597	4 500 965	715	387	23,8	6,4	3,6
Marzo	32	12 395	4 821 511	720	387	22,5	6,6	3,4
Abril	31	11 546	4 323 892	836	372	27,0	7,5	4,3
Mayo	36	12 883	4 641 079	1 038	358	28,8	8,3	4,7
Junio	27	9 120	3 089 998	625	338	23,1	5,7	4,0
Julio	33	10 218	3 203 516	712	310	21,6	11,4	4,1
Agosto	40	12 746	4 092 472	747	319	18,7	8,8	3,5
Septiembre	36	12 681	4 484 565	991	352	27,5	6,4	4,6
Octubre	43	14 864	5 177 430	997	346	23,2	8,9	4,0
Noviembre	56	20 918	7 842 988	1 310	374	23,4	6,2	3,7
Diciembre	26	9 550	3 533 368	655	367	25,2	8,7	4,0
1969								
Enero	30	11 805	4 666 447	822	394	27,4	6,9	4,1