

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

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

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

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

PANTANO DE SAN ANTONIO ⁽¹⁾

MATERIALES PARA EL HORMIGÓN

La presa y todas las demás obras accesorias están construidas, según la tendencia americana, de hormigón en masa ó armado, sin que ni aun por excepción se haya hecho uso de la mampostería ni de la sillería. El hormigón está hecho con piedra machacada y arena artificial, pues aunque en el río se encuentran algunos bancos de grava y de arena, la cantidad que pudiera extraerse es insignificante, comparada con la necesaria.

Los materiales aprovechables para la obra que se encuentran en las proximidades de la presa son calizas y areniscas de excelente calidad. La arenisca tiene los granos de cuarzo cementado con carbonato de cal, siendo muy variable el tamaño de estos granos, que oscila entre partículas apenas visibles y arenas muy gruesas. Su densidad es de 2.546.

La arenisca molida dió muy buenos resultados en las pruebas del mortero que con ella se hizo, pero resulta muy difícil de moler, y tiene una gran tendencia á producir elementos de grano demasiado fino. Además, por la gran dureza del cuarzo resulta excesivo el desgaste de las piezas de las trituradoras. La arenisca ha resultado un material excelente para bloques, para cuyo objeto ha sido empleada en grande escala, aprovechando materiales que habrán de ser excavados para el vertedero y para cimentaciones.

La caliza se ha empleado en la obra para la totalidad de la arena y la grava. Su densidad es de 2.660, y su resistencia á la compresión de 800 á 900 kilogramos por centímetro cuadrado. La caliza se presenta en bancos cuarteados, con grandes grietas rellenas de arcilla. Es un material excelente para las machacadoras y trituradoras, y con ella se obtiene con facilidad arenas gruesas y finas, según se quiera. Presenta también sobre la arenisca la ventaja de su mayor densidad, circunstancia muy digna de tenerse en cuenta. Se ha empleado también para bloques, sobre todo en la proximidad del paramento de aguas abajo, en el que los esfuerzos constantes son máximos.

Las arenas obtenidas de la caliza presentan muy marcado el fenómeno de laminación, y aun en la piedra machacada se nota igual tendencia.

En la preparación de estos materiales para el hormigón se hizo uso de teorías americanas poco conocidas en Europa, cuya exposición á grandes rasgos creemos necesaria antes de describir la fábrica de hormigón.

La dosificación de la arena y la grava para un hormigón debe ser tal que el producto resultante tenga un mínimo de huecos, con lo que tendrá un máximo de densidad, y, por tanto, de resistencia. Esta dosificación puede hacerse de un modo científico mediante el análisis mecánico de los materiales que han de ser mezclados.

El análisis mecánico consiste en la separación de las partículas de una muestra de un material cualquiera, tal como piedra machacada, grava, arena ó cemento en los varios tamaños de que está compuesta, de tal modo que la composición del material de que se trata pueda representarse por una curva, cada una de cuyas ordenadas represente el porcentaje en peso de la muestra total que pasa por un tamiz ó cedazo que tenga orificios del diámetro representado por la distancia de esta ordenada al origen del diagrama.

El objeto del análisis mecánico de los elementos que entran en un hormigón es mostrar gráficamente los tamaños relativos de las partículas, para indicar cuál es el que está en exceso ó falta en una muestra dada para que ésta sea la mejor posible, permitiendo corregirla de modo que se acerque todo lo posible á una distribución ideal de los mismos.

Para determinar el de las partículas ó granos de que está compuesta una mezcla, cada tamaño se separa de los demás tamizando la muestra por cedazos de finura creciente. Después del tamizado se pesa cada residuo, y, empezando por el que ha pasado por el tamiz más fino, se suman los pesos, de modo que se obtienen los pesos totales del conjunto de partículas que ha pasado por cada tamiz. Los pesos así obtenidos, expresados si se quiere en porcentaje del peso total, sirve para construir un diagrama análogo al de la figura 1.ª, en el que se representa el análisis mecánico de gravas procedentes del lecho del río Noguera-Pallaresa en la curva (1).

La ley de variación del tamaño de los agujeros de cedazos y tamices puede ser cualquiera, pero conviene que

(1) Véanse los números 2.120 y 2.123 de esta REVISTA.

siga una marcha sistemática. De las varias series que pueden emplearse, una de las más racionales es la Tyler Standard Screen Scale fabricada por la W. S. Tyler C.^o Cleveland Ohio. En esta serie, cada tamiz se distingue por el número de mallas por pulgada lineal, y los anchos de cada malla son $\sqrt{2}$ de la anterior, de modo que cada malla tiene doble área que la del cedazo que la sigue de mayor á menor. Los cedazos de más de $\frac{1}{10}$ de pulgada de diámetro de agujeros son de chapa de cobre, con perforaciones circulares, y los de tamaño menor son de tela de alambre de cobre.

Los diagramas de análisis mecánico pueden hacerse tomando para abscisas los diámetros de los agujeros, como en el de la figura 1.^a, ó mejor aún, sus logaritmos, con lo que puede seguirse con mucha más precisión la variación

estudiado al mismo tiempo el efecto de la sustitución de una parte del cemento por otra de polvo inerte, de la misma finura. Los resultados que obtuvo y los métodos seguidos pueden verse en una Memoria titulada *The laws of proportioning concrete*, publicada en *Transactions of the American Society Civil Engineers*, vol. LIX, pág. 67, 1907. Los métodos y resultados han sido criticados por Feret, y puede verse la opinión de éste en los siguientes volúmenes de la misma publicación.

Nosotros nos limitaremos á hacer algunas indicaciones acerca de estas experiencias, á las cuales se atribuye en América considerable autoridad, y han sido tomadas como norma al hacer el estudio de los materiales para el hormigón de la presa de San Antonio.

Los experimentos á que nos referimos comenzaron con

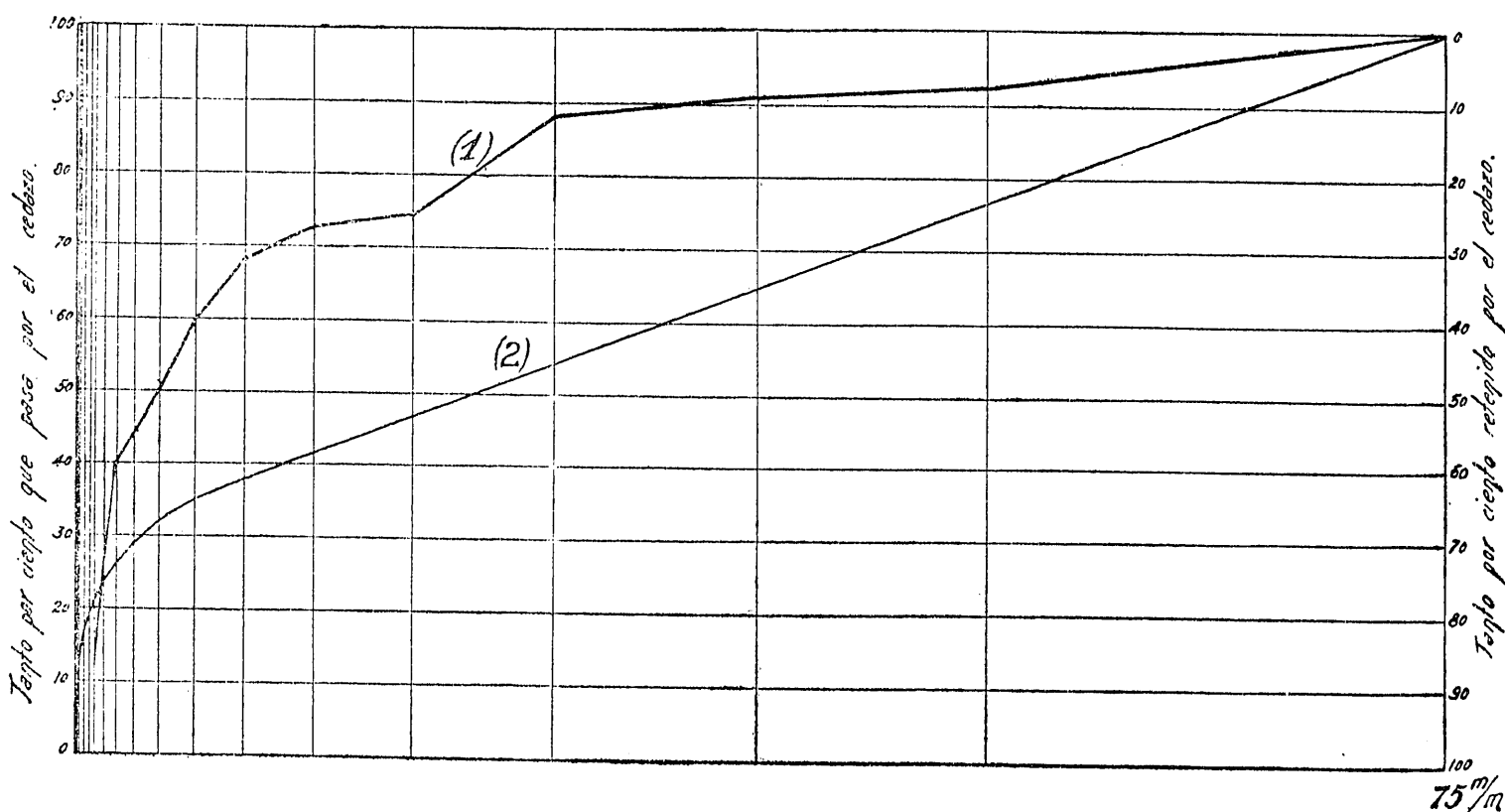


Fig. 1.^a

de los tamaños más finos, que son los más interesantes. Existen modelos ya preparados para la representación gráfica de los resultados, en escala natural ó logarítmica para la serie de cedazos de la W. S. Tyler C.^o

En el pantano de San Antonio se ha usado el modelo de la figura 2.^a para el estudio diario de la gradación de los tamaños de la arena y la grava para el hormigón de la presa; en este diagrama la escala elegida es logarítmica. En este modelo, que es muy completo, aparece el análisis de la arena y la grava á su entrada en la reguladora número 4, el análisis del producto de una de las machacadoras y de las arenas á la salida de los molinos. Con estos datos, y sabiendo las cantidades en peso que entran de arena, grava y cemento y el análisis mecánico de éste, se puede determinar el análisis mecánico del conjunto de los materiales que entran en el hormigón.

Sobre estos diagramas pueden hacerse estudios muy interesantes relativos á la densidad del hormigón que resulta con materiales que corresponden á distintas curvas de análisis mecánico.

Este estudio ha sido hecho por W. B. Fuller, que ha

una serie de pruebas de la densidad de distintas mezclas de grava, arena y cemento, para determinar qué mezcla es la que da mayor densidad para cada clase de material. Estas pruebas sobre la densidad fueron seguidas de la formación de probetas de hormigón, para determinar cómo se corresponden densidades y resistencias.

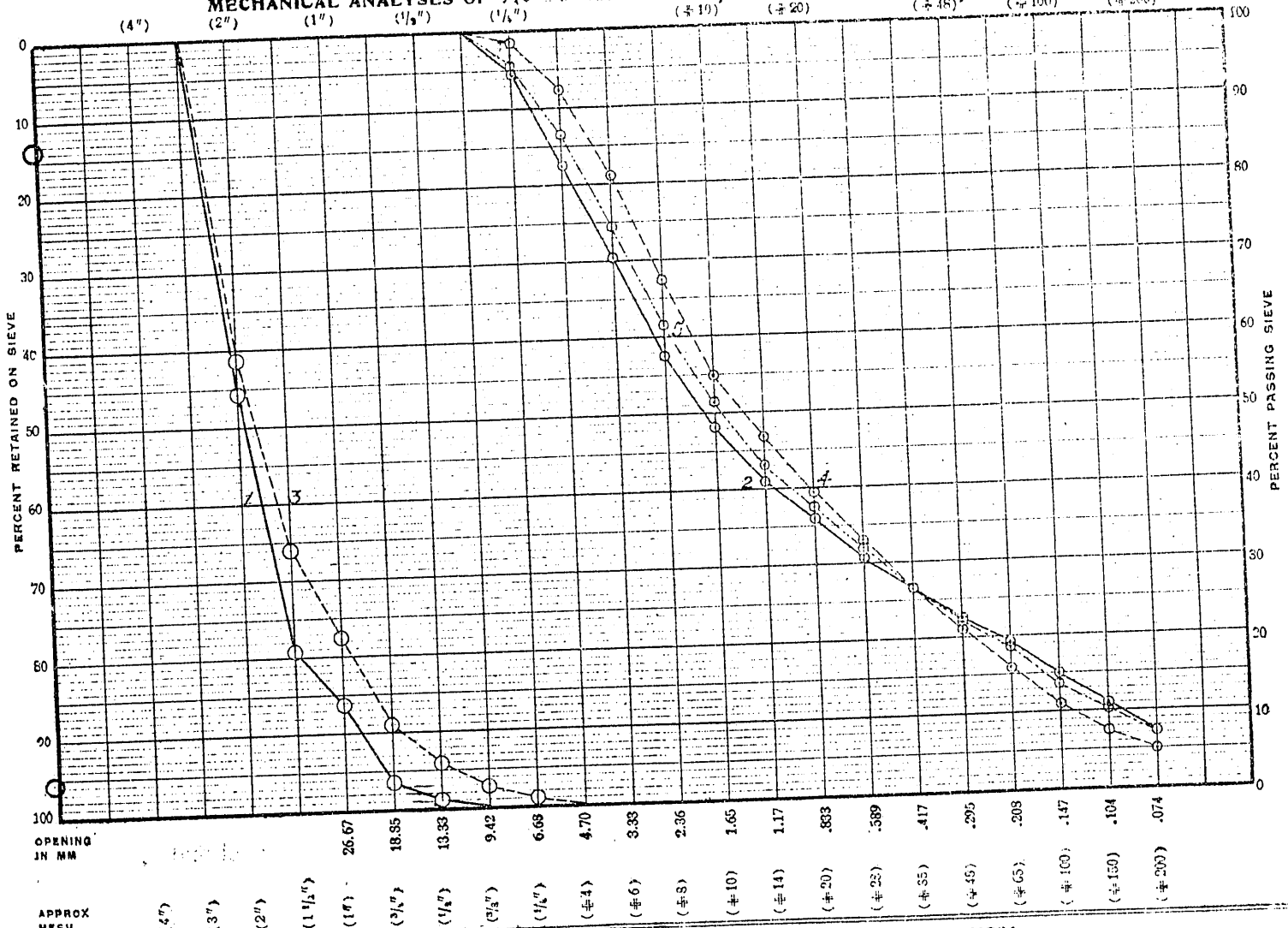
Los diagramas de análisis mecánico proporcionaban un método sencillo y excelente para el estudio del efecto, de la variación del tamaño de las partículas en la densidad y resistencia del hormigón. Se empleó en las pruebas piedra machacada á máquina y grava de río, clasificándose cada material en 21 tamaños, desde tres pulgadas que corresponde, aproximadamente, al tamaño máximo de 75 milímetros, corrientemente usado como máximo en los hormigones hechos con piedra machacada, hasta el que pasaba por el tamiz núm. 100, que corresponde en la clasificación corriente entre nosotros á un tamiz de 1.550 mallas por centímetro cuadrado. Los distintos tamaños se pesaron y mezclaron para formar un material que correspondiera á una determinada curva de análisis mecánico.

Los materiales se mezclaron con un peso de cemento

TALARN DAM
LÉRIDA PROVINCE

EBRO IRRIGATION AND POWER COMPANY, LTD. BARCELONA (Spain)
MECHANICAL ANALYSES OF *Rock and Sand from Concrete Dept*

SHEET N.º
DATE *7/5/15*
(# 200)



constante, y el conjunto, una vez agregada el agua y fuertemente batido, se ponía en un cilindro de metal en el que se medía el volumen de la mezcla. Una vez averiguado éste se comenzaba con otra curva, y de este modo se hicieron unos 400 ensayos, correspondientes á otras tantas curvas de análisis mecánicos.

A fin de eliminar variables, se tomó siempre tanto para la piedra machacada como para la grava una cantidad de cemento igual al 10 por 100 del peso total de materiales sólidos, que corresponde á una proporción de 1 : 9 en peso, ó sea, aproximadamente, 225 kilogramos por metro cúbico de hormigón puesto en obra. El agua añadida era la necesaria para dar al hormigón, en todos los casos, una consistencia análoga.

Las primeras pruebas realizadas indicaron que la curva de máxima densidad era parecida á una parábola, más tarde se comprobó que era una combinación de una elipse y una línea recta. Una de las observaciones más interesantes que se hicieron fué que la misma curva, con muy ligeras variaciones, podía servir para caracterizar la mezcla de densidad máxima de los distintos materiales, cualquiera que fuera el tamaño máximo de la piedra. Es decir, que la piedra cuyo tamaño máximo era media pulgada, tenía una curva de máxima densidad análoga á la correspondiente á la piedra que llegaba á tres pulgadas.

La curva de máxima densidad se encontró que consiste, como ya hemos dicho, en una combinación de una recta y una elipse.

La elipse tiene su eje mayor coincidiendo con la línea de porcentaje 7 por 100, y la ecuación de la elipse tomando los mismos ejes del diagrama resultó ser $(y - 7)^2 = \frac{b^2}{a^2} (2ax - x^2)$. La línea recta es tangente á la elipse, y pasa por el vértice opuesto al origen del diagrama.

En la figura 1.^a la curva (2) representa una de estas líneas.

Los valores de a y b para diferentes materiales son los siguientes:

MATERIALES	EJES DE LA ELIPSE	
	a	b
Piedra machacada y arena natural.	$0,04 + 0,16 \frac{D}{2,54}$	$28,5 + 1,3 \frac{D}{2,54}$
Grava y arena natural	$0,04 + 0,16 \frac{D}{2,54}$	$26,4 + 1,3 \frac{D}{2,54}$
Piedra machacada y arena artificial	$0,035 + 0,14 \frac{D}{2,54}$	$29,4 + 2,2 \frac{D}{2,54}$

D representa la dimensión máxima de la piedra expresada en centímetros.

Se comprende que conociendo el análisis mecánico de un material y comparando su diagrama con la curva de densidad máxima, se pueda quitar ó añadir una cierta cantidad de piedra del tamaño que sobre ó esté escaso para corregir la mezcla y aproximarla á la ideal, sirviendo de este modo el método descrito para resolver el problema de un proporcionamiento correcto de los materiales para el hormigón, estudio que pocas ó ninguna vez se hace, pero que debía hacerse siempre, no sólo por obtener alguna economía, sino por mejorar el hormigón en su densidad, en su resistencia y, sobre todo, en su impermeabilidad,

que es la propiedad más estimable que en la mayoría de los casos puede presentar un hormigón.

Muchas veces ocurre también que se tienen materiales procedentes de distintos sitios ó de distintos bancos que se usan sin estudio y al azar. Este procedimiento da medios para determinar cuál es el que debe emplearse ó en qué proporciones han de mezclarse materiales de distinta procedencia ó fabricados con máquinas de distinto sistema para obtener una mezcla que se aproxime á la mejor.

Para más desarrollo de todas estas cuestiones puede consultarse la obra *Concrete plain and reinforced*, por Taylor and Thompson, libro clásico en los Estados Unidos para el estudio del hormigón, y que en un capítulo escrito por el mismo Fuller se expone toda esta teoría.

Habiéndose determinado la curva de máxima densidad como hemos explicado, era importante conocer si la mayor resistencia coincidía con la mayor densidad, y para esto se hizo un gran número de vigas de sección cuadrada, 15 centímetros de lado y 1,80 metros de longitud que se probaron para determinar su resistencia á la flexión y á la compresión, su impermeabilidad y su módulo de elasticidad. Se hicieron algunas vigas con materiales que se ajustaban en su composición granulométrica á la curva de densidad máxima y otras con sujeción á curvas más altas y más bajas para determinar si las resistencias eran menores al apartarse de la curva de máxima densidad. Los resultados pueden verse en la Memoria que más arriba citamos, pero, en general, puede decirse que cuando la composición granulométrica difiere de la curva de densidad máxima, se observa siempre una disminución en la resistencia, excepto cuando se sustituye una parte de la piedra graduada por un peso igual de piedra del tamaño máximo. Una curva por encima de la de densidad máxima disminuye la densidad y la resistencia, lo que indica que el material empleado para el hormigón no debe tener un exceso de partículas de tamaño medio.

Fuller dedujo de sus experimentos una serie de consecuencias, de las cuales las más interesantes son las siguientes:

1.^a Las mezclas de materiales de tamaños graduados convenientemente resultan de mayor densidad y producen hormigón de mayor resistencia ó impermeabilidad que los materiales naturales. El aumento medio en la resistencia es de 14 por 100. Comparando muestras con distintas cantidades de cemento, se encuentra que los materiales convenientemente graduados dan igual resistencia que los materiales naturales con un 12 por 100 menos de cemento.

2.^a La resistencia y densidad del hormigón resulta muy poco afectada por la sustitución de una cierta cantidad de materiales del tamaño medio por otra de materiales del mayor tamaño. Un exceso de piedras del tamaño medio disminuye sensiblemente la densidad y resistencia del hormigón.

3.^a La resistencia y densidad del hormigón resulta afectada por la variación del tamaño de las partículas de arena mucho más que por la variación del tamaño de las gravas.

4.^a Un exceso de arena de tamaño medio ó fino disminuye la densidad y resistencia del hormigón, así como también resulta ésta disminuida por un defecto de arena fina cuando el hormigón es pobre en cemento.

5.^a De las conclusiones anteriores se deduce que la cantidad precisa de cemento para una resistencia dada

debe fijarse determinando con cualquier cantidad de cemento una mezcla de densidad máxima y aumentando ó disminuyendo la cantidad de cemento, sustituyéndolo por análoga cantidad de polvo fino ó viceversa hasta obtener un hormigón cuya resistencia sea la que se pide.

Hemos expuesto con alguna extensión esta teoría, no porque creamos esté demostrado que se ajusta por completo á la realidad, para lo cual sería preciso que sus resultados fueran discutidos y repetidos con toda amplitud, sino por gozar de gran autoridad en América, y sobre todo porque se tomó como punto de partida para la dosificación del hormigón de la presa de San Antonio y para el proyecto de la fábrica de arena y piedra machacada, que en otro artículo describiremos.

JOSÉ SOLANA.

RATOS DE OCIO

1.º.—Acotando Escalafones.

Hace algunos años que me puse á acotar ó señalar en los Escalafones de mano de nuestro Cuerpo nacional el movimiento de personal que leía en nuestras publicaciones, REVISTA, *Madrid Científico*, *El Fomento*, etc., etc., pensando que con ello se podría llegar algún día á deducir consecuencias relacionadas con el porvenir de la carrera, bien entendido que esta palabra «porvenir» no tiene más valor que el que quiera dársele en cada caso por los que pueden elegir la *carrera más conveniente*, en vista de la perspectiva de la de Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, que con tanta ilusión (por considerársela como la mejor de la Nación) suele emprenderse por los alumnos más aprovechados del Bachillerato, por lo general que se hayan distinguido particularmente por los Sobresalientes y premios de la sección de Ciencias.

Los padres de los alumnos, á su vez, consideran esta carrera como un nuevo premio que van á ganar sus hijos, venciendo las dificultades del ingreso en la Escuela, y como lo que tanto cuesta es justo y lógico que tenga su recompensa, van gastando miles de duros una vez encariñados con esa idea, que llega á ser una obsesión, lo que está demostrándose por el número de alumnos que solicitan anualmente exámenes de ingreso, á pesar de que el 15 de Octubre de 1915 (último Escalafón de mano publicado) había 112 Ingenieros esperando el ingreso.

En el último movimiento de personal que afectó á estos nuevos Ingenieros, el 24 de Abril último, ó sea seis meses después de la fecha anterior, sólo alcanzó el ingreso al núm. 3 de los 112 expresados, lo que parece indicar que el movimiento anual medio sería de 6, teniendo que esperar, por tanto, los 112 citados, próximamente, diecinueve años para que les alcance el derecho de una plaza de 3.000 pesetas de sueldo con el descuento procedente y las indemnizaciones de rigor, siendo lo grave del caso que los que nacieron el año 1885, por ejemplo, al llegar en 1935 á ese puesto tienen ya cincuenta años de edad y su jubilación diecisiete años después les alcanzaría sin llegar á Jefes todavía, esto es, un retiro con sueldo bajo y mínimo coeficiente de aplicación para el cómputo precedente.

Si fuese esto lo que realmente ocurre, es evidente que se impone el cierre de la Escuela, porque para proporcionar Ingenieros de edad tan madura (un promedio de cuarenta y seis años), cuando van á empezar sus funciones como subalternos de menor categoría no parece que se debiera sostener ningún Centro de preparación de carreras.

En el importantísimo estudio que sobre el particular publicó el Sr. Carderera en varios artículos de la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS del año 1899 (números 1.261, 1.262 y 1.263, días 23 y 30 de Noviembre y 7 de Diciembre), con el nombre de «Disquisiciones», exponiendo con todo detalle la parte *teórica*, sus *aplicaciones* y las *realidades*, se señalan las edades más convenientes para cada una de las categorías del Cuerpo, fijando en un máximo de veintisiete años el ingreso como Ingeniero segundo Oficial segundo de Administración, y deduciendo con esta base el rendimiento máximo útil del Cuerpo nacional, y si á ese estudio se altera corriendo en diecinueve años (de veintisiete á cuarenta y seis) la edad del Cuerpo, es evidente que nos hallamos abocados á una situación lastimosísima.

Mis acotaciones de los Escalafones, y particularmente las de los publicados desde el 24 de Junio de 1912, hacen variar algo, como no podía menos de suceder, este aspecto de la cuestión, más no tanto que se llegue á la posición teórica conveniente del Cuerpo en la parábola cúbica (de las citadas «Disquisiciones»).

En efecto, puede calcularse que en cuatro años (cuarenta y seis meses en realidad), próximamente, ó sea hasta el 24 de Abril último, la cabeza del Escalafón, esto es, la categoría de Inspectores generales, ha tenido un movimiento de 17 puestos (promedio de 13 y 23 de sus dos categorías), la de los Ingenieros-Jefes de 21 puestos, la de los Ingenieros primeros, 28, y la de Ingenieros segundos, 49 (promedio de 33 y 63), de suerte que el movimiento del Escalafón en su base ó entrada de Ingenieros es cinco veces el de la cabeza ó salida del mismo.

El número de Ingenieros que en el período de tiempo citado de cuarenta y seis meses ha entrado en el Escalafón ha sido de 63 desde Junio de 1912, ó sea un promedio anual de 16, que es dos veces y media que el que nos ha proporcionado el movimiento habido desde Octubre último (de 1915) á la fecha.

Y de este promedio (de 16 al año) es difícil se salga por lo que se lleva observado desde hace mucho tiempo.

Se trata, además, de cifras que se refieren á una idéntica composición del Escalafón, que no se ha alterado en lo más mínimo desde el año 1912, con sus *cero* Aspirantes, 124 Ingenieros segundos, 125 Ingenieros primeros, 94 Jefes y 19 Inspectores, ó sea un total de 362 Ingenieros de plantilla, y el haberse quintuplicado el movimiento de la base del Escalafón, respecto á su cabeza que es la que señala el movimiento real, obedece á que á menor categoría, la edad del Ingeniero se presta á servicios de *supernumerario* en fábricas, Empresas, talleres, lo cual representa un *aliviadero* de la situación, que se precisa vaya ampliándose (el aliviadero) en la misma proporción que el exceso de los nuevos Ingenieros que salen de la Escuela, cada año, respecto al promedio citado de los 16, que pueden ingresar anualmente en el Escalafón actual, si no se ha de empeorar gradualmente el conjunto de circunstancias mencionado precedentemente, por llegar ya á los límites de la edad madura, los Ingenieros que empiezan sus servicios de menor categoría administrativa.