

tiguo con una galería cubierta de sección abovedada, enterrada en la capa de gravas y acarreos. Reforzaremos así sólidamente esa margen, y obtendremos, con muy poco coste, una pantalla de impermeabilidad que profundizará los tres metros de altura del túnel y los que se den de altura al rastrillo, según lo que aconseje el informe de Sondeos. Además se utiliza el trasdós del túnel como vertedero, en una longitud de 40 metros al pasar por la parte más baja del cauce antiguo.

El canal

El trozo proyectado en la actualidad tiene 30 kilómetros de longitud, con una capacidad en el origen para 14,26 m³/s y pendiente de 0,00013, aumentada posteriormente al reducirse la sección. Discurre, en general, por el contacto de la terraza diluvial con el terreno más inclinado de formaciones anteriores. Los taludes son en casi todos los tramos de 1 X 1, muy comunes en canales sin revestir, cuando el terreno es consistente. Se dejan a ambos lados banquetas de 1 m de anchura, y en la parte izquierda se construye, al tiempo que el canal y con los terrenos de excavación, un camino de servicio de 4 m de anchura (fig. 5).

El canal ha de prolongarse posteriormente para el riego de la zona ya más despoblada comprendida entre la ribera de la Alcazaba y la frontera portuguesa, y la construcción del canal presenta, en relación

con esa prolongación, una particularidad notable.

Primeramente se hará sin revestimiento, de manera que sirva para el riego de la zona I, de 15 000 hectáreas, pero con secciones tales que, una vez revestidas con un revestimiento liso que aumente la capacidad de conducción, sirvan para el transporte de los caudales necesarios para las dos zonas.

Obras importantes

No hay, en estos 30 primeros kilómetros, más obra de importancia que la del cruce del río Lácara, dividido en múltiples brazos que se extienden por una depresión inundable muy dilatada. La solución de acueducto elevado o la de canal en terraplén y acueductos sobre los brazos del Lácara hubiese sido costosísima y, la última, no muy segura. Hemos proyectado, como en el arranque del canal de la izquierda, una galería cubierta que nos ofrece una seguridad absoluta, con un coste más económico que las otras soluciones (fig. 6).

El acueducto se continúa por un túnel que atraviesa una loma situada inmediatamente después de la Vega del Lácara.

Las restantes obras, salvo la de cruce del arroyo Salado, de alguna mayor importancia, son sólo pasos de vaguadas, con frecuencia realizados superiormente al canal por acueductos de hormigón de sección rectangular, y pasos de caminos o carreteras.

Mannel DIAZ MARTA
Ingeniero de Caminos

Curvas térmicas de fraguado

El fraguado de un cemento constituye una reacción química exotérmica muy compleja, y la energía desprendida en forma de calor es causa de otros fenómenos fisicomecánicos, cuyos efectos, así como su importancia y trascendencia, son muy diferentes, con la índole y circunstancias de la obra; si se trata de morteros o de estructuras de hormigón, de gran superficie específica, el calor producido es absorbido por el resto de los materiales o bien produce un aumento de temperatura, que se equilibra rápidamente, con la del medio ambiente; pero si se trata de macizos de hormigón de gran espesor, la elevación de temperatura en su interior produce alteraciones en las condiciones de la obra, que la pueden colocar en circunstancias muy diferentes de aquellas que sirvieron de base a su proyecto.

Dicha elevación de temperatura puede ocasionar la evaporación del agua que aún no haya intervenido en la reacción y, por tanto, que el fraguado completo no se verifique, transformando además en poroso un macizo que debía ser compacto, y por otro lado, este vapor de agua en estado disperso, circulando por entre los poros del macizo, al llegar a condensarse en otros puntos, en que la influencia del ambiente limite las temperaturas, determina un aumento en la relación agua-cemento y, por consiguiente, una disminución de la resistencia; otro efecto consiste en producir dilataciones, que más tarde, cuando llega el enfriamiento, se transforman en contracciones, que su-

madadas con las que naturalmente se derivan de la desecación, son causa de agrietamientos minúsculos, pero continuos, con perjuicio también de la compacidad e impermeabilidad de la obra.

Desde que las aplicaciones del cemento han ampliado su radio de acción, y principalmente desde el empleo de los hormigones para la construcción de grandes macizos, los fenómenos anteriormente reseñados han adquirido una gran importancia, por lo que su causa fundamental, o sea la elevación de temperatura del fraguado, viene siendo de algún tiempo a esta parte objeto de estudios y determinaciones y ha constituido tema obligado entre las cuestiones tratadas y discutidas en los últimos Congresos internacionales relacionadas con la materia.

Por todas estas razones, la Escuela de Caminos se ha preocupado de organizar en sus laboratorios trabajos sistemáticos sobre esta cuestión, cuyos *primeros resultados* exponemos a continuación, y que, como demostraremos después, pueden además servir de base para determinaciones concretas, que sería conveniente formasen parte de los índices de calidad o de clasificación de un cemento.

* * *

Las primeras experiencias fueron hechas en el curso 1932-33, introduciendo en el interior de un frasco de vidrio pasta de cemento recién amasado, me-

tiendo después el frasco en una caja con serrín, para evitar la pérdida por radiación; se hacían lecturas periódicas en un termómetro alojado en el interior de la pasta, pero que, atravesando el tapón de corcho del frasco y la capa aislante del serrín, sobresalía al exterior permitiendo efectuar las observaciones; posteriormente se substituyó el frasco ordinario con un termos, a la vez que se perfeccionó el contacto de la pasta con la parte inferior del termómetro por intermedio de mercurio. Por estos procedimientos se obtuvieron curvas como las representadas en la figura 1 para un portland y un Zumaya, y, como vemos, en las dos se acusan los procesos de fraguado característicos de una y otra clase de cemento.

Con objeto, en primer lugar, de evitar los inconvenientes que representan las lecturas directas durante veinticuatro horas, que requerían la permanencia de personal en el laboratorio durante este tiempo, y además de poder multiplicar el número de experiencias, único procedimiento de obtener resultados prácticos admisibles y a la vez poder organizar las cosas en forma de constituir cuestiones concretas para desarrollar los alumnos, se adquirieron por la Escuela dos aparatos registradores, que son los que aparecen en las fotografías adjuntas; estos aparatos consisten en un termómetro, en el que el mercurio llena por completo un recipiente cilíndrico de cobre, que puede con facilidad alojarse en el seno de la pasta, y que por su gran conductibilidad son transmitidas al mercurio las alteraciones térmicas de la pasta y las variaciones de volumen de aquél se propagan por presión directa a lo largo de un conducto flexible, hasta actuar sobre la aguja de un registrador automático, de

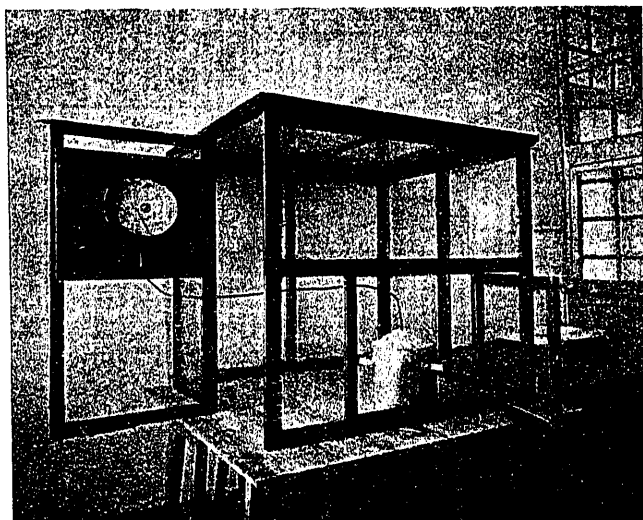


Fig. 2

cuadrante (fig. 2) o de tambor (fig. 3), cuyos movimientos, merced a un aparato de relojería, hacen vaya quedando señalada la curva de las oscilaciones de la aguja en función del tiempo.

En la figura 4 están representadas las curvas de este género, obtenidas con el aparato de tambor, siendo las 1, 2, 3 y 8 de diferentes marcas de cementos de portland, la 7 de un supercemento, la 4 del cemento fundido, la 20 de un Zumaya y la 20' de un

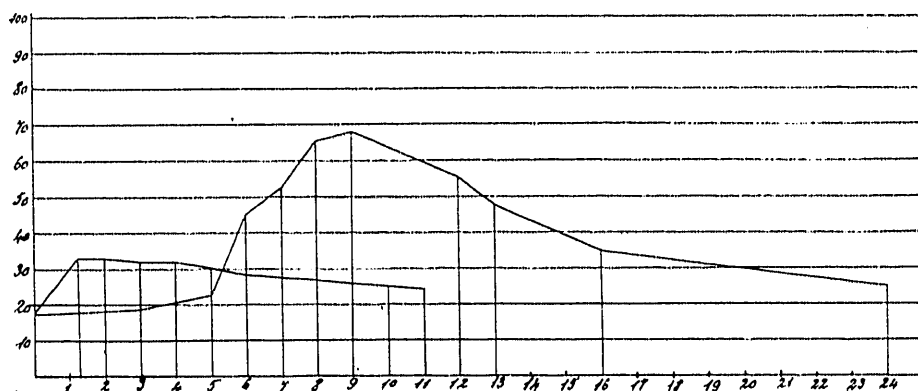


Fig. 1.

yeso; las de la figura 5 corresponden al aparato de cuadrante, en las que las 13, 17 y 18 proceden de cementos de portland, la 15 del cemento fundido y la 19 de un Zumaya. Como se ve, la correlación entre

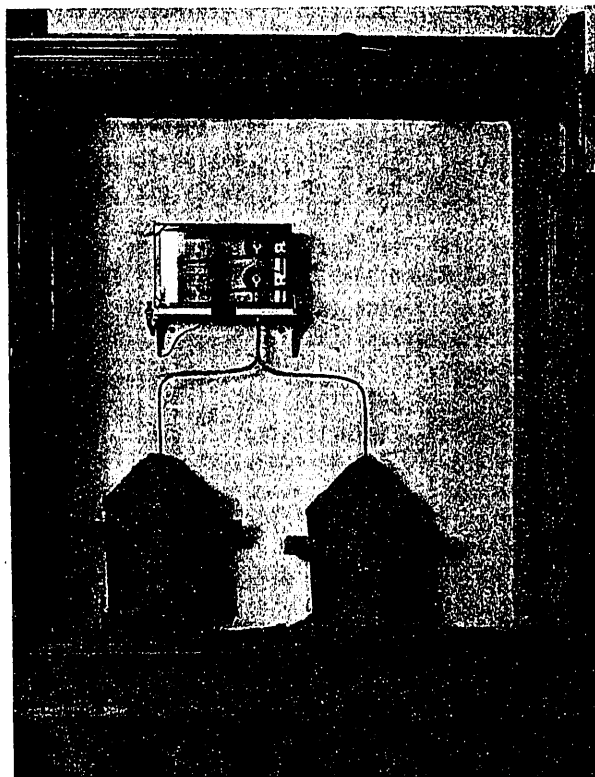


Fig. 3

uno y otro aparato no puede ser más precisa, y a excepción de los Zumayas y yeso, en todas existe un primer tramo de curva, en que la temperatura se mantiene constante o ligeramente creciente, y que, según hemos comprobado, corresponde precisamente a la fase de penetración completa de la aguja de Vicat; es decir, representa el intervalo de tiempo, que mide la rapidez del fraguado, y que en un cemento rápido y en el yeso es nulo; observamos en las figuras que este intervalo es mayor en las del aparato de tambor

que en las de cuadrante, y en general muy diferente de unos cementos a otros, todo lo cual tiene una explicación muy sencilla: en el aparato de cuadrante, la puesta en marcha es algo más laboriosa, por cuya razón la curva empieza a registrarse cuando ya la pasta llevaba algún tiempo confectionada, y las grandes diferencias que para los portlands se señalan en una y otra figura son debidas a las diferentes edades que

ceo que, envolviendo los gránulos de cemento, los va aislando del contacto con el agua, teniendo lugar la hidratación de los mismos, ya de un modo lento, a expensas sólo del agua del gel, constituyendo esto un frenado en la reacción, que acusan perfectamente los gráficos con la disminución continua de peraltes, con tendencia a la tangente horizontal, mientras que en los fundidos es una línea recta continua, casi vertical, hasta el punto alto.

El tercer tramo de curva es el más inexacto y en el que son más necesarias las correcciones, que después indicaremos. En efecto, una vez alcanzada rápidamente la temperatura alta no terminan todavía las reacciones, sino que éstas continúan con proceso lento, constituyendo lo que se llama el período de endurecimiento, de la misma manera que al anterior se denomina de fraguado. La elevación de temperatura sigue, por tanto, aunque lentamente; pero la gran diferencia de temperatura establecida con el medio ambiente hace que las pérdidas por

tenían los cementos empleados, y precisamente el poner de manifiesto esta circunstancia constituye ya una ventaja del presente género de ensayos.

Pasada esta primera fase todas las curvas (nos referimos, por lo pronto, sólo a los portlands) acusan un peralte rápido, hasta un máximo, que alcanzan al cabo de tres o cuatro horas; la coincidencia de forma de este tramo de curva es bien manifiesta, no obstante las distintas procedencias del material; sólo las curvas 3, 8, 13 y 17 son de cementos de la misma fábrica, y las diferencias entre sí son comparables a las que presentan con los de marca diferente. Las temperaturas máximas registradas varían entre 65° y más de 70° ; pero, como veremos después, las efectivamente alcanzadas son bastante mayores. Destácanse las curvas correspondientes, en uno y otro aparato, a los cementos fundidos, en los que la máxima temperatura es bastante mayor, pasando de los 100° , llegando a ella con mucha más rapidez.

El tramo de curva considerado es el que comprende la fase más enérgica del fraguado; exterioriza la rápida cristalización de los hidroaluminatos y de la Ca(OH)_2 , así como la más lenta de los hidrosilicatos; la diferente composición de los cementos fundidos, en los que los aluminatos desempeñan el papel principal, hace que la reacción sea todavía más violenta, según también acusan las curvas, cuya diferencia de peralte y altura máxima comparada con las del portland es de consideración; pero, además, existe otra causa fundamental para esta diferencia, y es que en los portlands se forma, al mismo tiempo que los primeros cristales, un gel hidrosilí-

radiación originen descensos de mucha mayor importancia que los débiles aumentos antes citados, por lo que los gráficos señalan curvas decrecientes, con mayores diferencias de unas experiencias a otras, por la importancia que en este caso tiene la temperatura del ambiente, forzosamente variable en los locales del laboratorio durante las 24 horas.

No obstante, en nuestros trabajos hemos tratado de reducir a un mínimo aquella influencia instalando los aparatos dentro de vitrinas cerradas, y, en efecto,

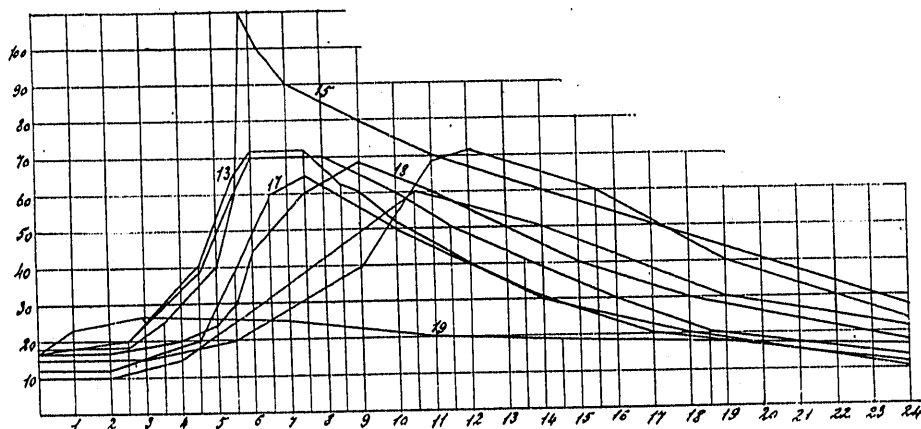


Fig. 5

los resultados obtenidos no acusan grandes desigualdades, y también aquí se señala la influencia reguladora del gel producido en los portlands, principalmente en la zona de contacto con el tramo anterior de la curva, en la cual los cementos fundidos forman casi un punto anguloso.

Los Zumayas se distinguen, como vemos en los gráficos, además de por su rapidez de fraguado, por la mucha menor elevación de temperatura, que, por

otra parte, es diferente, no obstante ser ambas de la misma procedencia, en las curvas 19 y 20, no precisamente por ser distintos aparatos, sino por la mayor permanencia en el almacén del laboratorio el segundo.

Asimismo hemos observado que también en los portlands la temperatura alcanzada disminuye para un mismo cemento con el tiempo transcurrido desde su fabricación, pero en un grado mucho menor que en los Zumayas.

En los fundidos se ha hecho la observación de que en todos los diagramas obtenidos se acusa para la temperatura 100° una minúscula irregularidad de la curva obtenida directamente en los aparatos, y que consiste en un aumento brusco del grosor de la línea, y que inmediatamente después desaparece. Investigando el origen de ello hemos podido comprobar que es debido a que la aguja marca en realidad un pequeño zig-zag en sentido vertical, tan pequeño, que no sólo resulta imposible tras-

canza el cemento durante el fraguado, por la importancia que ésta tiene en la retracción y para poder calcular, como indicaremos más adelante, le energía desarrollada.

Para ello es necesario hacer el estudio de la pér-

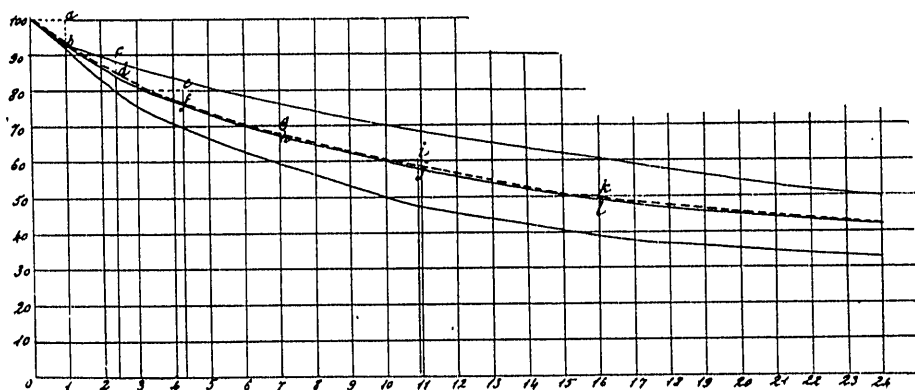


Fig. 6

dida por radiación del termos. Nosotros lo hicimos, llenándolo de agua, a la temperatura de 100° C y colocándolo en condiciones idénticas a cuando estaba lleno de cemento; anotando las temperaturas cada

media hora dibujamos unas curvas distintas de unos termos a otros, pero que oscilaban entre las dos extremas indicadas en la figura 6. Tomando la media de ellas se obtiene la curva marcada con trazos gruesos, que, como se ve, vuelve la convexidad hacia el origen de coordenadas, y es asíntota a la recta $y = 18^{\circ}$, siendo ésta la temperatura del laboratorio.

La pérdida de radiación del termos viene medida para cada temperatura por el coeficiente angular de la tangente a la curva citada en el punto correspondiente.

Para proceder prácticamente hemos sustituido la curva por la

línea poligonal inscrita en ella, coincidiendo las ordeadas de ambas para las temperaturas de 100° , 90° , 80° , 70° , etc., o sea, de 10° en 10° .

Entre los 90° y 100° la pérdida del termos en una hora viene medida por la ordenada ab , que son 7° aproximadamente; en media hora el descenso de la

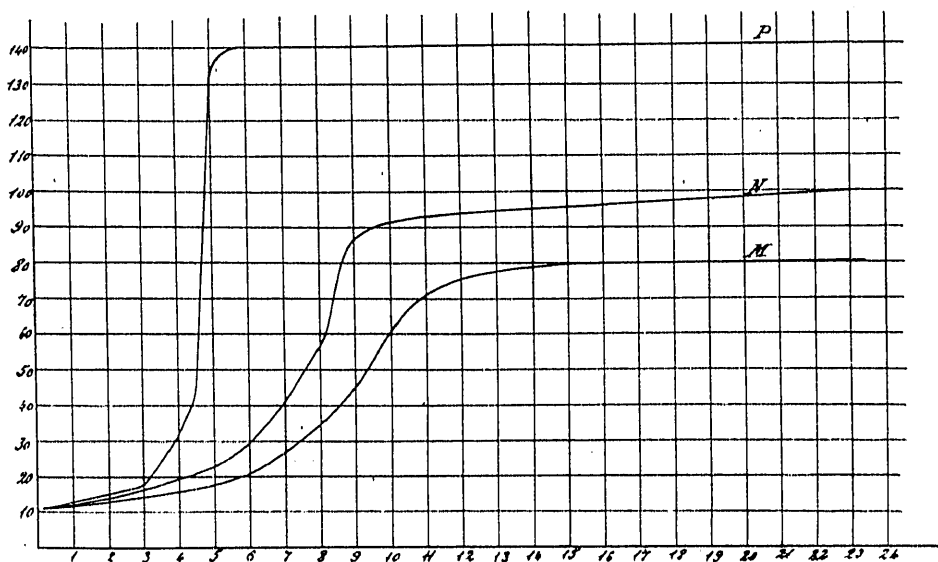


Fig. 7

ladrarlo a los diagramas rectangulares, sino que en el original se superpone la línea, no obstante su finura, produciendo el efecto antes señalado de ensanchar el trazo. La causa del fenómeno es evidentemente el ser los 100° un punto crítico para el agua, en la que al iniciarse la evaporación hay absorción de calor y, por consecuencia, disminución de la temperatura durante un corto intervalo de tiempo.

* * *

Para el estudio comparativo de unos cementos con otros no se necesita hacer la corrección de que hemos hablado; pero es interesante determinar la temperatura máxima que realmente al-

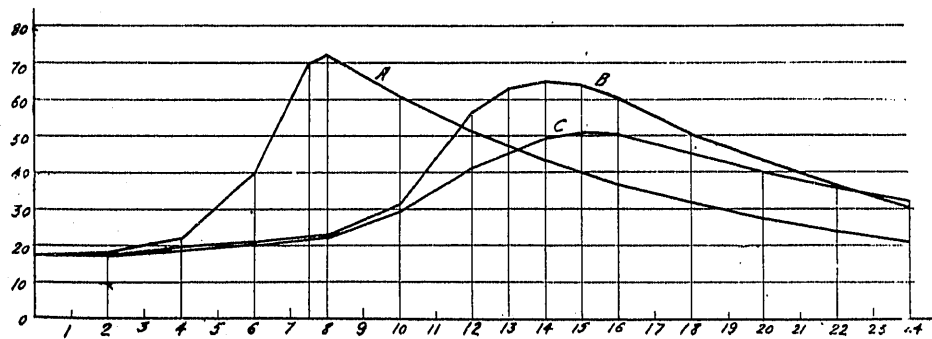


Fig. 8

temperatura sería sólo de $3,5^{\circ}$, y en dos horas, 14° .

Entre los 80° y 90° la pérdida en una hora viene medida por cd , y así sucesivamente; para temperaturas inferiores a $+10^{\circ}$ la pérdida del termos es muy pequeña.

Con estos datos hemos corregido, aumentando las ordenadas de las curvas de temperaturas obtenidas directamente con los aparatos, dibujando las nuevas curvas integrales M , N y P , representadas en la figura 7, correspondientes sucesivamente a un portland, un supercemento y un cemento aluminoso.

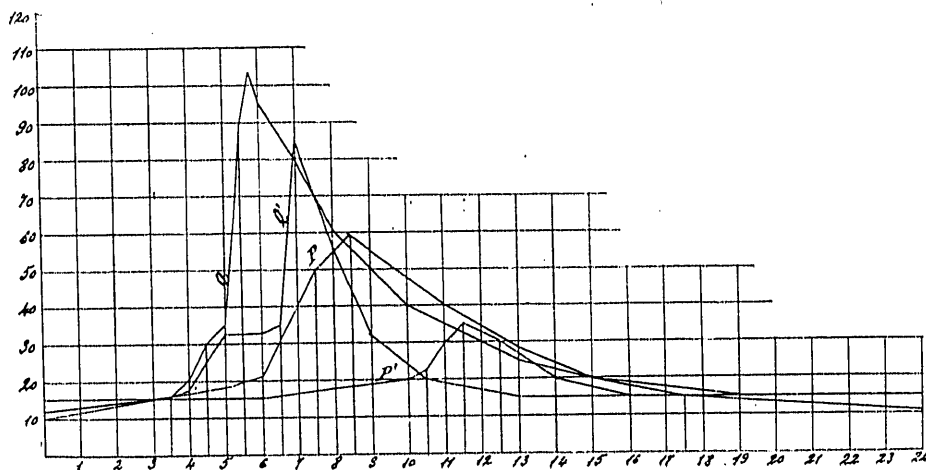


Fig. 9

En el cemento fundido, cuya temperatura de fraguado pasa bastante de los 100° , hay que hacer la corrección un poco a ojo si no queremos extrapolar la curva de las pérdidas del termos, lo cual puede inducir a error, siendo preferible orientarse por la forma de las otras curvas corregidas.

Todas estas curvas son asintóticas a rectas paralelas al eje de los tiempos; la temperatura correspondiente a esas asintotas es a la que llamaremos "temperatura de fraguado", que tiene estrecha relación con la resistencia del cemento y con el tiempo de duración del fraguado. Tan importante es este dato, que con él solamente, obtenido antes de las 24 horas a partir del amasado, es suficiente para juzgar de la calidad del cemento y deducir sus propiedades principales.

Esta temperatura de fraguado es función de muchas variables; primera y principal, la calidad del cemento. En las curvas dibujadas en la figura 7 pueden apreciarse las diferencias entre las tres clases de cementos representados.

Del solo estudio de las curvas directas se puede sacar un gran partido práctico; en primer lugar, pueden sustituir con ventaja a las curvas de fraguado, ordinariamente obtenidas con la aguja de Vicat, y en los estudios de investigación deben irse confeccionando simultáneamente a las observaciones micrográficas y röntgenográficas, en las diferentes fases de fraguado. Del registro de la temperatura máxima y de su abscisa correspondiente pueden deducirse no sola-

mente índices de calidad del cemento, sino sus circunstancias accidentales de ensilado y almacenado, y de esto tenemos en proyecto efectuar algunos trabajos, que ya hemos iniciado, pero que sólo multiplicando extraordinariamente el número de experiencias tienen algún valor.

* * *

Una de las variables de la temperatura de fraguado es la relación agua-cemento.

El cemento necesita para su fraguado perfecto una cierta cantidad de agua, que en el portland ordinario, a la temperatura de 20° , es de un 23 por 100. Si lo amasamos en una proporción menor a la debida, el fraguado del cemento es incompleto; si, por el contrario, lo amasamos con un exceso de agua, aparte de que puedan formarse compuestos químicos distintos de los del primer caso, siempre quedará en el interior de la masa agua en forma de gotitas microscópicas, pero que absorben parte del calor desarrollado por el fraguado, rebajando, por consiguiente, la temperatura final.

En las curvas de la figura 8 se ve cómo el máximo de la curva A de fraguado llega a 72° con la relación agua-cemento = 0,22; se queda en 65° en la B , cuando la relación citada vale 0,33, y, finalmente, baja a 51° en la C , cuando la relación agua-cemento alcanza el valor de 0,44.

Es de observar que cuanto más alta es la temperatura de fraguado, tanto más pronto termina el mismo.

Esta disminución de temperatura de fraguado, por efecto del agua, no concuerda con el problema de las mezclas, lo que se explica porque los fenómenos químicos son muy distintos según haya exceso o falta de agua.

El hecho indudable es que, cuanto más agua, menor es la temperatura de fraguado.

* * *

Asimismo, en la figura 9 se señala la influencia del espesor de la masa y, por tanto, de la conductibilidad; las curvas P y Q son deducidas lo mismo que todas las anteriores, pero sin estar la masa dentro de un termos aislante, sino moldeando un macizo, al aire, de forma cilíndrica, de 15 cm de diámetro, alojando el termómetro en el eje del mismo; la P corresponde a un portland, y a la Q un fundido, y las P' y Q' también a los mismos cementos, pero mediante cilindros de 9 cm de diámetro.

Terminaremos en otro artículo la exposición de estas experimentaciones.

Antonio LOPEZ FRANCO,
profesor de Química y Materiales de Construcción y
Jesús IRIBAS,
alumno de 5.º año de la Escuela de Caminos