

DETERMINACIÓN Y MEDIDA DE LA CONSISTENCIA Y TRABAZÓN DE LOS HORMIGONES

POR RAMÓN IRIBARREN, INGENIERO DE CAMINOS

II

Se ha considerado que un límite lógico de separación de consistencias lo constituye aquel punto a partir del cual no es necesario apisonar el hormigón, bastando con un sencillo picado para introducirlo debidamente en el molde y evitar la formación de coqueas.

Por debajo de este límite se han determinado las consistencias denominadas plástica y seca, y por encima de él quedan la blanda y flúida.

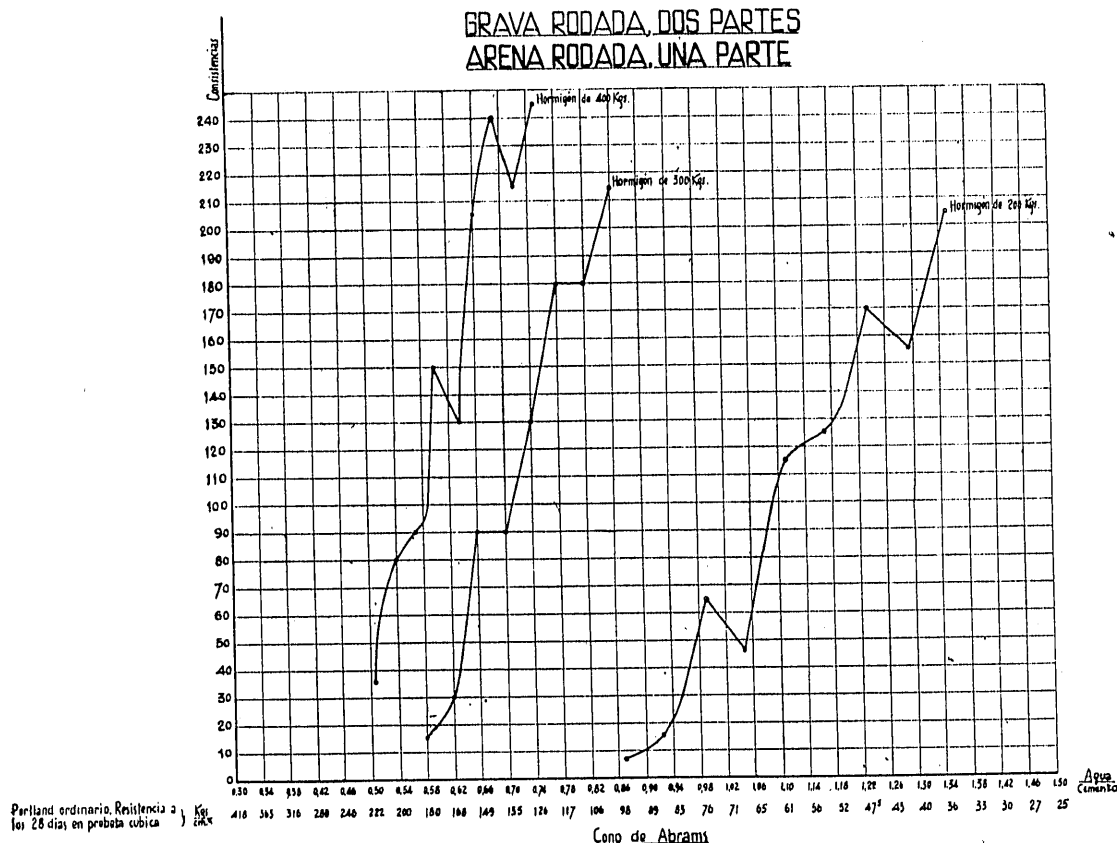
Mediante numerosos ensayos comparativos se ha comprobado que los límites fijados para esas cuatro consistencias quedan, en general, comprendidos entre los dispares límites, determinados por otros métodos operatorios, tales como el cono de

Abrams y la mesa de sacudidas de tipo alemán, o sea la cuadrada, de 70 cm. $\times$ 70 cm., provista de charnela lateral.

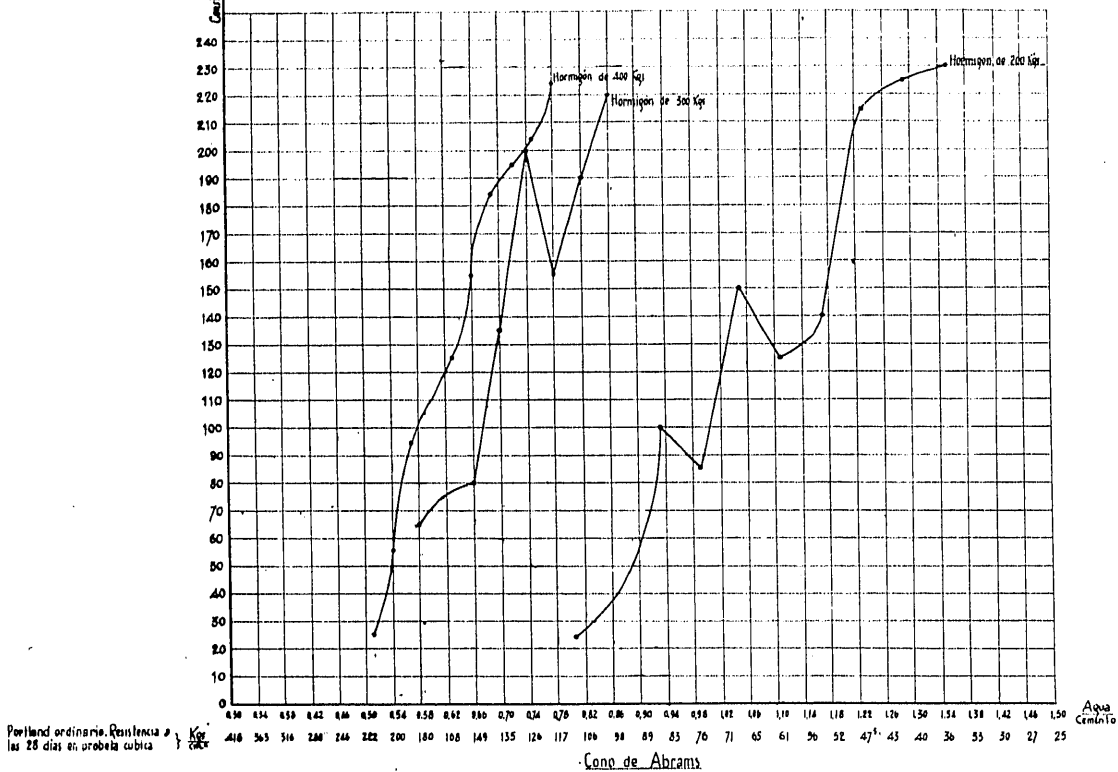
Los ensayos comparativos han dado los siguientes resultados, que no son más que aproximados, debido a los variables resultados obtenidos con la mesa y, principalmente, con el cono:

Consistencias del hormigón.	LECTURAS LÍMITES EN MILÍMETROS		
	Docilímetro.	Cono de Abrams.	Mesa de sacudidas.
Seca	80 a 130	0 a 15	300 a 370
Plástica	130 a 180	15 a 75	370 a 450
Blanda	180 a 230	75 a 110	450 a 550
Flúida	230 a 280	110 a 120	550 a 640

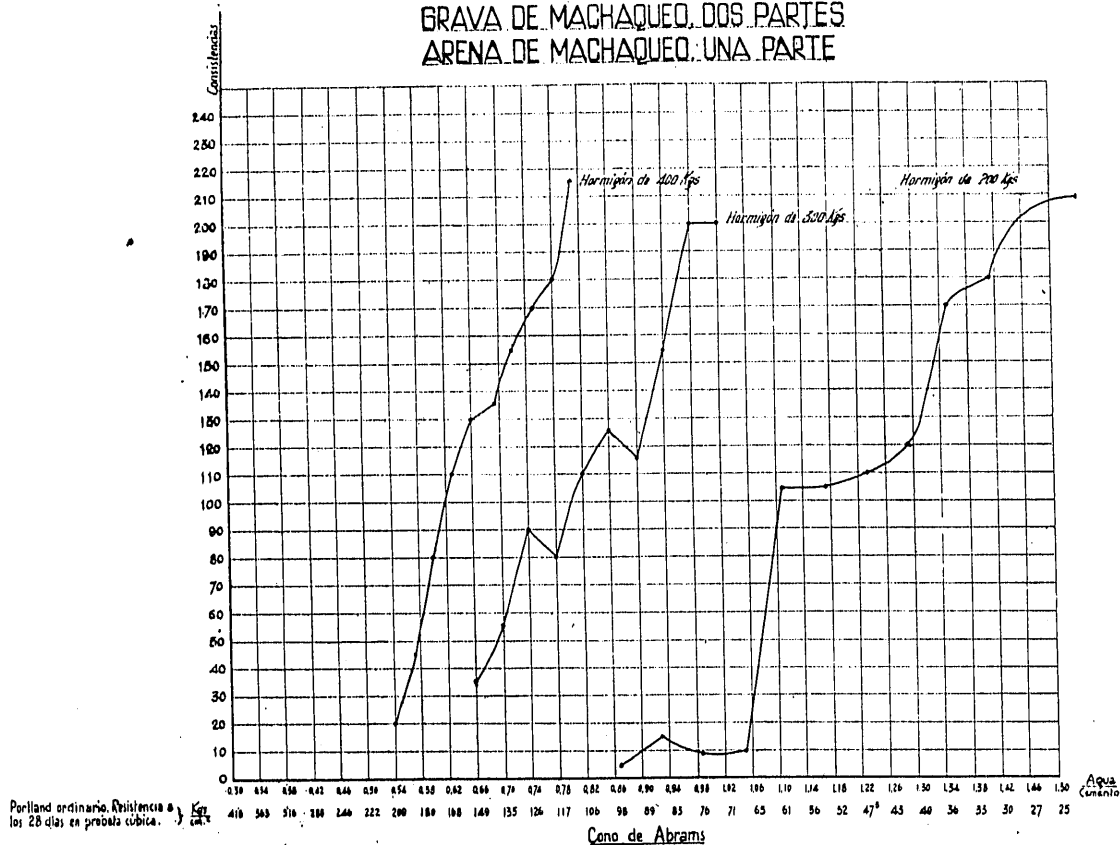
GRAVA RODADA, DOS PARTES
ARENA RODADA, UNA PARTE



GRAVA RODADA, DOS PARTES
ARENA DE MACHAQUEO, UNA PARTE

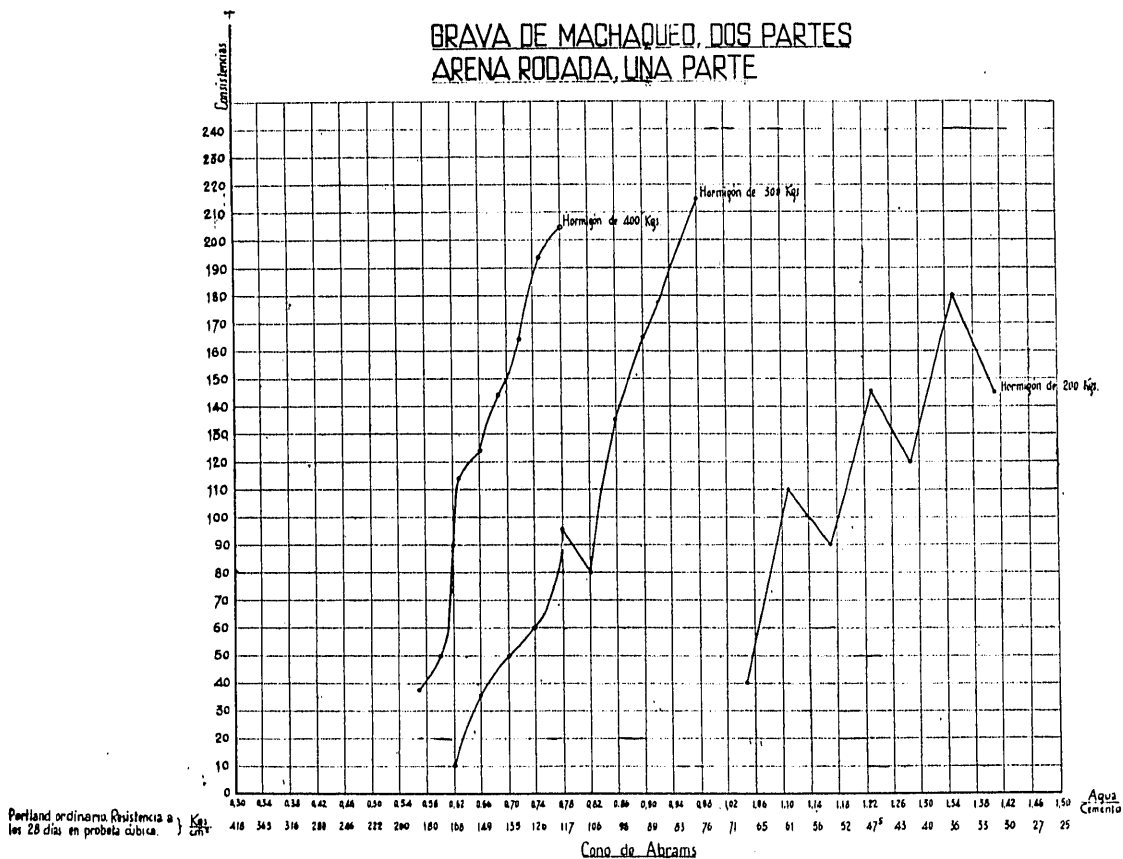


GRAVA DE MACHAQUEO, DOS PARTES
ARENA DE MACHAQUEO, UNA PARTE



Estos ensayos comparativos han probado también que el método propuesto tiene mayor campo de aplicación que los otros dos, principalmente en lo que a las consistencias secas y a los hormigones pobres se refiere, y que los resultados obtenidos con el docilímetro son mucho más aceptables, por su constancia y continuidad, que los frecuentemente discordantes aplastamientos obtenidos con el cono de Abrams.

determinar las consistencias de una cierta masa de hormigón, pues es indudable que, por bien que se amase, siempre habrá diferencias en la distribución de los diversos y heterogéneos elementos constitutivos del hormigón, entre unas zonas y otras de la misma masa total. En realidad, los hormigones constituidos en las diversas zonas de una misma masa son siempre algo distintos, y estas diferencias forzosamente se han de reflejar en los re-



Aun cuando los resultados obtenidos con la mesa de sacudidas son menos discordantes, su campo de aplicación es también de menor amplitud, para las consistencias secas y hormigones pobres, que el del docilímetro propuesto, cuya constancia y continuidad de resultados son también más aceptables que los de aquélla, como se deduce de la comparación de las curvas obtenidas.

Las discontinuidades que aun se producen en el docilímetro, realmente pequeñas si se opera debidamente, es difícil que desaparezcan totalmente, sea cual fuere el método operatorio empleado para

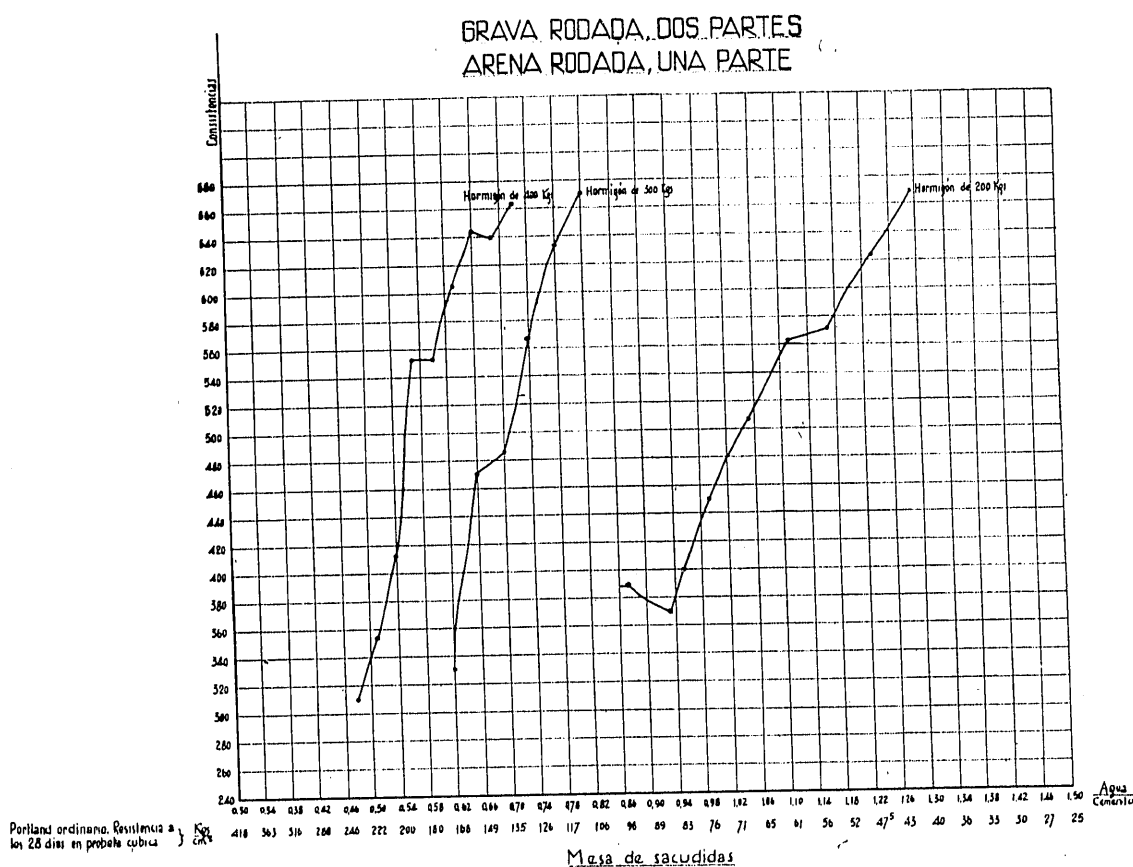
sultados de los métodos operatorios que se empleen para determinar sus diversas características.

A esta causa se debe, en gran parte, que las cargas de rotura de varias probetas fabricadas en idénticas condiciones y de la misma masa discrepen entre sí en por cientos más elevados que los correspondientes a las pequeñas variaciones del docilímetro, y a nadie se le ocurre proponer que, por este motivo, se prescinda de esos ensayos de rotura, indudablemente básicos y fundamentales.

Otra importantísima ventaja del método propuesto, sobre los empleados hasta la fecha, consiste

en que es el único capaz de determinar, mediante el descenso de la curva de consistencia, cuándo un hormigón deja de ser trabado, permitiendo, además, fijar, en cada caso, el límite peligroso de fluidez y blandura, a partir del cual el hormigón podría desintegrarse por falta de trabazón, durante la ejecución de la obra, debido, principalmente, a

gra durante el transporte, puede también operarse sobre las propias vagonetas o cubas, que solamente se deben llenar hasta obtener un espesor de hormigón de vez y media a dos veces la altura del docilímetro. Si la lectura del docilímetro, al final del transporte, es sensiblemente menor que la correspondiente al principio del mismo, es prueba



las condiciones, más o menos desfavorables, del transporte desde la hormigonera al molde.

Cabe, incluso, para simplificar aun más la vigilancia de la ejecución de la obra, en lo que a la consistencia se refiere, establecer los límites de las lecturas que debe de marcar el docilímetro, introduciéndolo, de acuerdo con su método operatorio, en las propias vagonetas o cubas, en las que se transporte el hormigón, relacionándolos, si se desea, con los límites fijados para la caja tipo de 50 cm. X 50 cm. X 25 cm., de los que, generalmente, difieren poco.

Para comprobar que el hormigón no se desinte-

de que el hormigón se ha desintegrado por falta de trabazón, y, por lo tanto, no debe de ser de empleo en estas condiciones.

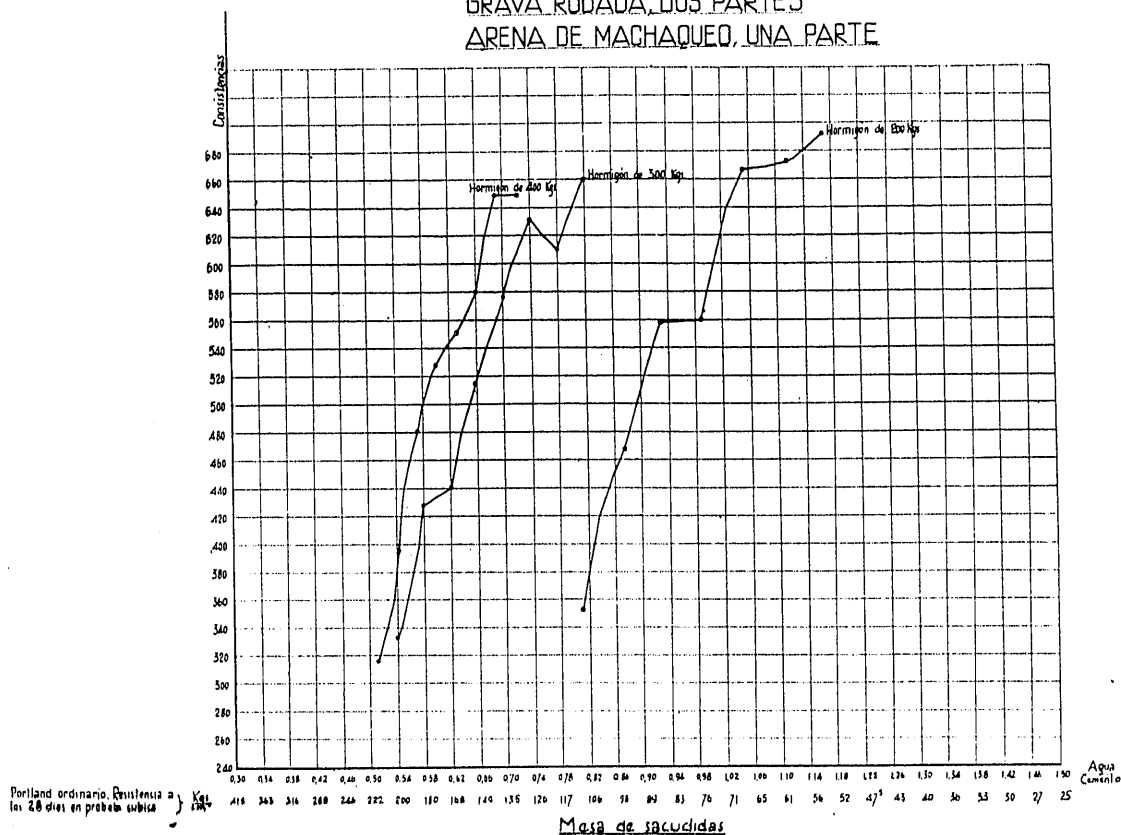
Aun cuando en cada obra de hormigón o, mejor aún, en cada una de sus partes deben de fijarse los límites entre los cuales puede variar la consistencia, tenida cuenta de la forma, espesor del elemento, cantidad y separación de armaduras, etc., puede indicarse que la consistencia seca no es, en general, aplicable para el hormigón armado, estando indicada para hormigones de gran superficie que se puedan apisonar o vibrar intensamente, tales como los de pavimentos.

La consistencia plástica, indicada para macizos de hormigón en masa, puede emplearse en elementos de hormigón armado de suficiente espesor, para que permita su eficaz apisonado o vibrado.

La consistencia blanda es la más apropiada, en general, para el hormigón armado, principalmente en elementos de reducido espesor que no hayan de

de los casos prácticos, cuál de los áridos de que podemos disponer es el más conveniente, la proporción más adecuada de la mezcla de sus diversas partes y la dosificación mínima en cemento aceptable. Únicamente, en los casos en los que sea preciso afinar mucho, para los cuales la aplicación de la ley que relaciona las resistencias con la rela-

GRAVA RODADA, DOS PARTES ARENA DE MACHAQUEO, UNA PARTE



apisonarse o vibrarse, y solamente se puede recurrir a la consistencia fluida, teniendo sumo cuidado de que el hormigón sea trabado, en elementos muy finos, de tupida armadura, o cuando se haya de distribuir el hormigón por canaletas.

Las condiciones de la obra nos exigen, en general, que, además de que el hormigón sea trabado, tenga una determinada resistencia mínima y también una determinada consistencia para su empleo.

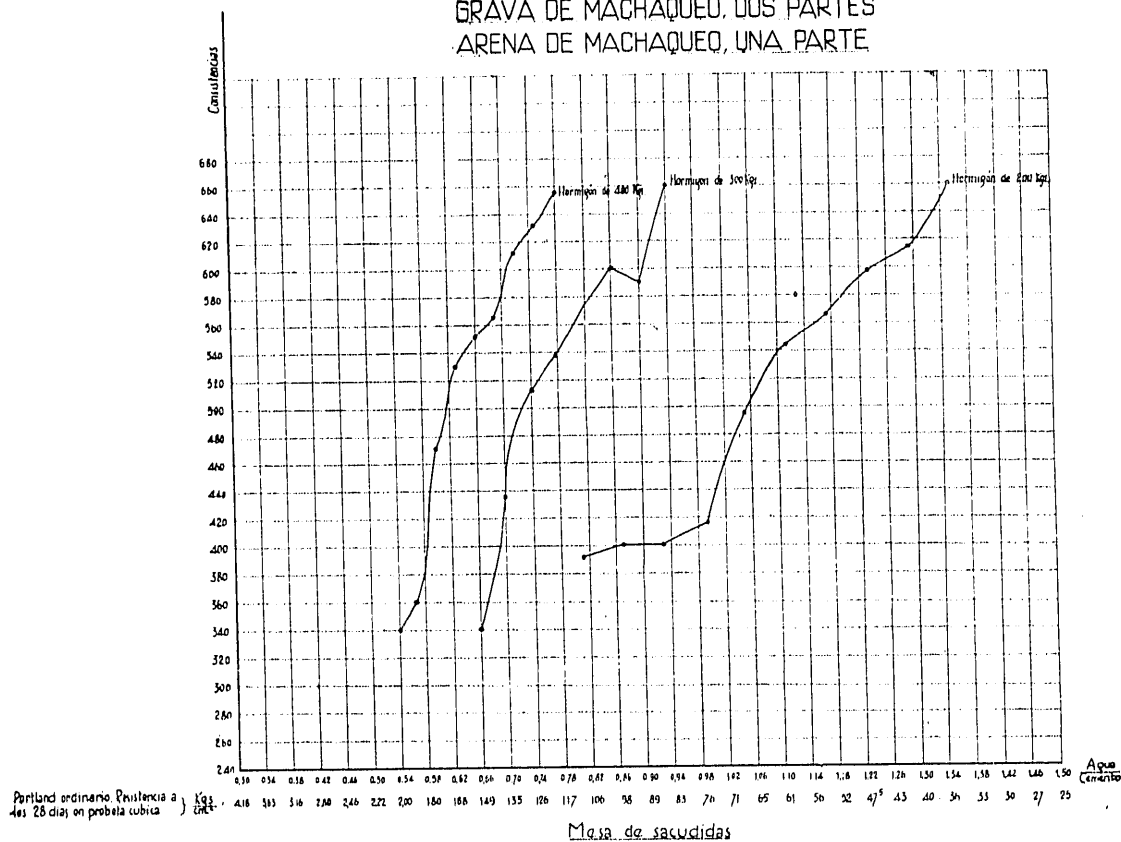
La simple comparación de algunas curvas de consistencia, tan fácilmente determinadas, nos indica, con suficiente aproximación para la mayoría

ción $\frac{\text{agua}}{\text{cemento}}$ no se juzgue suficientemente aproximada, o cuando se dude de las cualidades de los elementos constitutivos del hormigón, será preciso romper algunas probetas para comprobar las resistencias obtenidas.

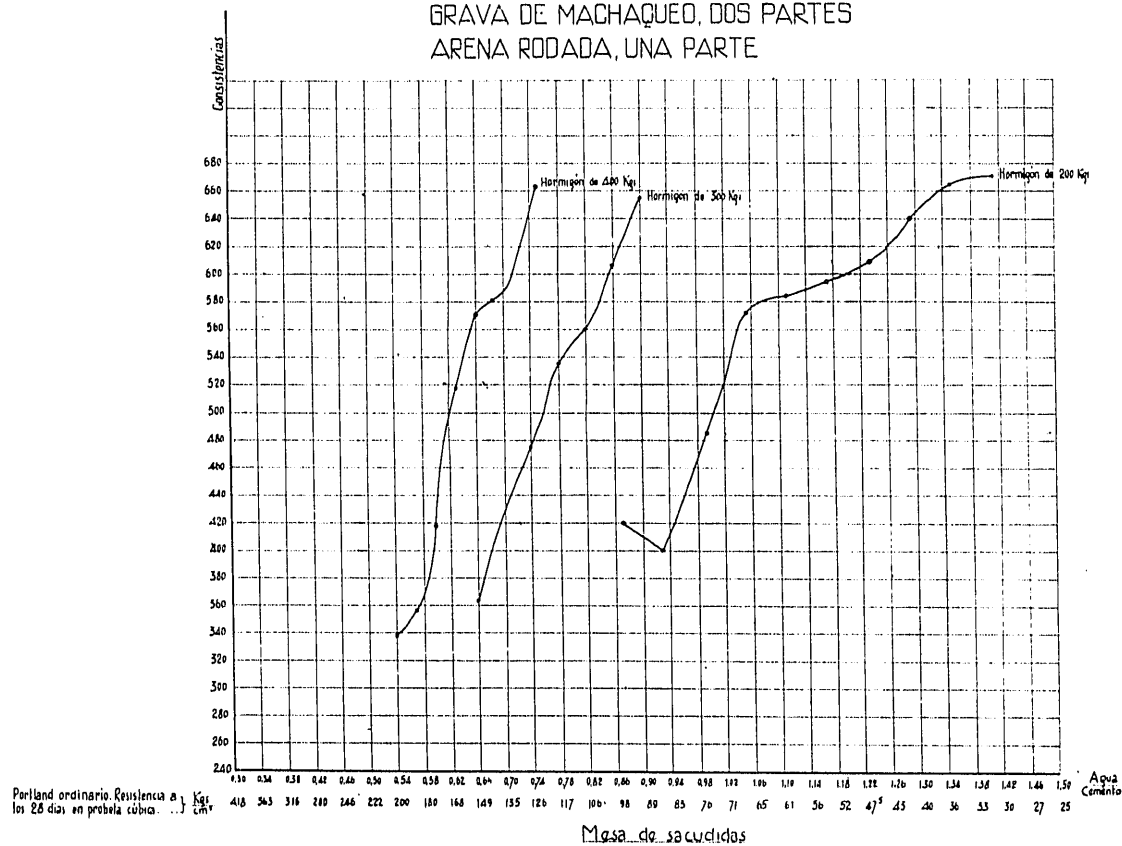
No es necesario indicar que son preferibles aquellos áridos, o las proporciones de las mezclas de sus diversas partes, tales como la arena y la grava, para los cuales se obtiene la curva de consistencias más desplazada hacia el eje de ordenadas.

El docilímetro grande, de unos 22 kg. de peso,

GRAVA DE MACHAQEO, DOS PARTES
ARENA DE MACHAQEO, UNA PARTE



GRAVA DE MACHAQEO, DOS PARTES
ARENA RODADA, UNA PARTE



puede emplearse incluso con áridos gruesos, cuyo tamaño llegue hasta ocho o nueve centímetros.

En cambio, para los hormigones armados y, en general, para aquellos áridos cuyo tamaño no exceda de cuatro centímetros, puede emplearse, para más cómodo manejo, un docilímetro cuyas dimensiones, así como las de su caja correspondiente, sean los $\frac{3}{4}$ de los del adoptado, con lo que su peso se reduce de 22 kg. a 9,25 kg., aproximadamente.

Se están efectuando ensayos para tratar de precisar el método operatorio que permita generalizar el empleo de este ligero y manejable docilímetro a todos los hormigones de corriente utilización.

Para los estudios, en laboratorio, de pastas y morteros, basta con un docilímetro y su correspondiente caja, de tamaño mitad del adoptado y cuyo peso será de 2,75 kg., aproximadamente.

Este pequeño docilímetro puede substituir o, mejor dicho, complementar a la sonda y aguja de Vicat, correspondiéndole la lectura de 80 mm. para la pasta normal, que se reduce a 40 mm. para el principio del fraguado, y a 20 mm. para el final del mismo.

Los pesos de los docilímetros se precisarán mejor cuando su fabricación en serie lo permita.

Indudablemente, es una ventaja el poder determinar la consistencia de la pasta normal, el principio del fraguado y el final del mismo, con el mismo instrumento, y no solamente con la sonda y la aguja de Vicat, pues esto nos permite darnos cuenta del gran aumento de dureza de la pasta, de 80 milímetros a 40 mm. de lecturas del docilímetro, que admitimos sin suponer que el fraguado ha comenzado todavía. Además, también el empleo de este pequeño docilímetro nos permite determinar una sola curva de endurecimiento, en función del tiempo, que abarque desde el amasado de la pasta normal hasta el final del fraguado, pasando por el principio del mismo.

Para obtener estas curvas de endurecimiento basta con disponer de un recipiente troncocónico de 30 cm. de diámetro superior, 25 cm. de diámetro inferior y 8 cm. de altura, que, una vez lleno de la pasta de consistencia normal convenientemente amasada, enrasada y alisada, se sumerge en agua a 15°.

A intervalos convenientes y regulares de tiempo se saca el recipiente del agua y se posa el docilímetro en la superficie de la pasta, cada vez en sitio distinto y no demasiado próximo al borde.

Las lecturas límites de consistencia, correspondientes a los tres tipos de docilímetros, son las siguientes:

Consistencias.	LECTURAS LÍMITES DE LOS DOCILÍMETROS		
	Grande.	Mediano.	Pequeño.
Seca	80 a 130	55 a 90	35 a 55
Plástica	130 a 180	90 a 125	55 a 80
Blanda	180 a 230	125 a 160	80 a 105
Flúida	230 a 280	160 a 205	105 a 135

Aunque cualquier variación anormal de la lectura del docilímetro, que rebase los límites admisibles fijados para la obra, nos indica ya una variación excesiva de la cantidad de agua aportada por el árido, para controlar, con la aproximación suficiente para la mayoría de los casos prácticos, la constancia de las debidas proporciones de arena, además de la del agua, aun cuando el grado de humedad de la arena empleada varíe, basta con disponer, además del docilímetro, de un recipiente cilíndrico de chapa suficientemente rígida, de unos 25 cm. de diámetro y aproximadamente igual altura; de una medida, también cilíndrica, de unos 5 litros de capacidad, y también de altura aproximada a su diámetro, y de un pequeño pisón constituido por un cilindro de fundición, de unos 8 cm. de diámetro y aproximadamente igual altura, provisto de su correspondiente mango.

De una vez, para todas, se determina la altura que alcanza, después de enérgicamente apisonada y alisada en el interior del recipiente metálico la arena seca, necesaria para llenar la medida de 5 litros por simple enrasado, sin compresión, y efectuado en forma similar al del llenado de las medidas de la arena en obra.

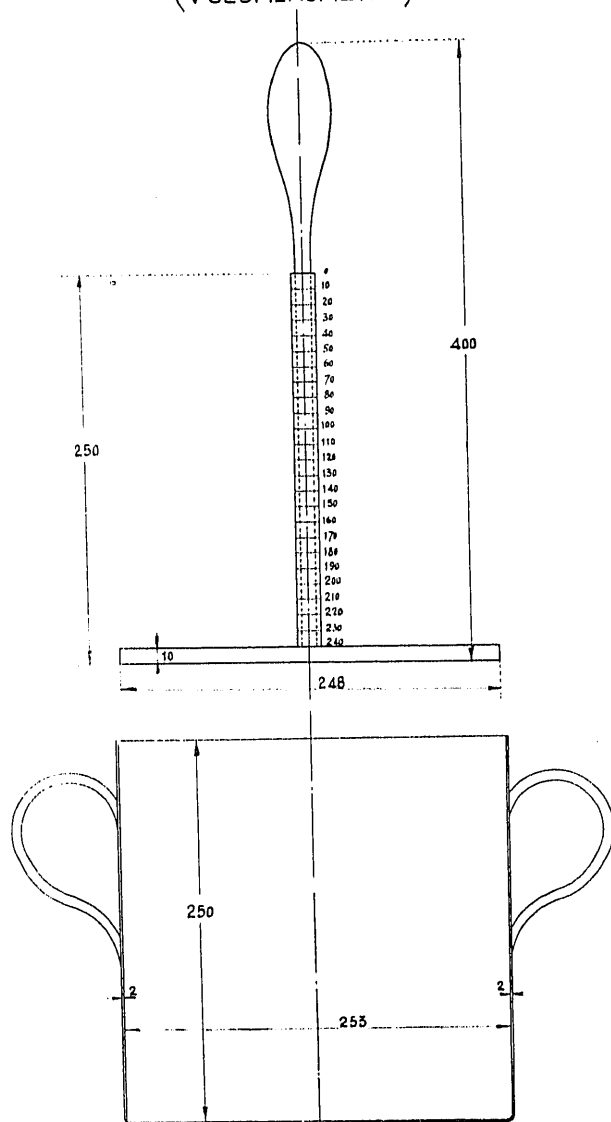
Para determinar la proporción necesaria, de arena, correspondiente a un cierto grado de humedad de empleo en obra de la misma, basta con determinar la altura que alcanza, también después de enérgicamente apisonada y alisada en el recipiente, la arena húmeda necesaria para llenar la medida de 5 litros en las mismas condiciones de llenado y enrasado de las medidas en obra.

Si se desea mayor exactitud, puede operarse, tanto con la arena seca como con la húmeda, con dos medidas de 5 litros, en lugar de una, que se apisonarán, en dos capas, una vez vertido el contenido de cada medida en el recipiente.

Para precisar debidamente aquellas alturas, es

conveniente hallar la media de las alturas correspondientes, aproximadamente, a los extremos de dos diámetros perpendiculares y al centro del recipiente.

RECIPIENTE CILINDRICO (VOLUMENÓMETRO)



Pueden determinarse, más cómodamente, estas alturas mediante el empleo del recipiente cilíndrico metálico, que pudiéramos denominar volumenómetro compresor, cuya sección se indica en la figura y en el que, para mayor sencillez de manejo, un centímetro de altura, leída en la reglilla métrica, fijada

en el vástago de la tapadera émbolo, supone un volumen de medio litro.

Después de introducido en este recipiente el volumen aparente de cinco litros de arena seca o húmeda, medidos por simple enrase y sin compresión en la medida cilíndrica de esta cabida y cuyo volumen, reducido a máxima compresión, se desea obtener, basta con golpear, enérgicamente con el pistón, sobre la tapa émbolo colocada encima de la arena, para determinar, por simple lectura directa en la reglilla y mediante enrase con una regla apoyada en los bordes del recipiente, la mínima altura posible que se desea precisar.

La relación de las alturas, correspondientes a la arena seca y a la húmeda, nos determinará la proporción en que hay que aumentar la medida de ésta en obra para corregir el aumento de volumen aparente producido por la humedad.

Este sencillo método de corrección de las dosificaciones de la arena húmeda está fundamentado en que, experimentalmente, hemos comprobado, con diversos tipos de arenas, que así como el volumen aparente de la arena húmeda suelta varía enormemente con el grado de humedad, llegando, en algunos casos extremos, a aproximarse al 50 por 100, esta variación no rebasa el 3 por 100 si la arena se apisona convenientemente.

Una vez corregida así la dosificación de la arena húmeda, el docilímetro nos indicará la cantidad de agua que hay que añadir al hormigón, con el constituido, para obtener la consistencia fijada para la obra.

En las obras de gran importancia, se precisa la proporción de arena midiéndola en los inundadores, o se determina la cantidad de agua aportada por la arena mediante desecaciones y correspondientes pesadas de muestras de la misma; pero, para la mayoría de las obras, el grado de aproximación obtenido con el sencillo método expuesto es suficiente.

Como consecuencia de todo lo expuesto, referente al docilímetro, disponemos, en definitiva, del tan necesario método que nos permite determinar la consistencia y trabazón de los hormigones, y mediante cuya aplicación se continúan efectuando ensayos para determinar numerosas curvas, correspondientes a diversos tipos de hormigones, morteros y pastas, de las cuales se espera obtener interesantes resultados y prácticas enseñanzas.