

Precios de suscripción:

España, año. . . . 10 pesetas.

Extranjero, año . . . 15 »

Número suelto. . . . 1 »

TÉCNICA

REVISTA TECNOLÓGICO-INDUSTRIAL

Redacción: Pelayo, 9

Teléfono 541-A

B A R C E L O N A

AÑO XLIII

JUNIO 1920

NÚM. 30

CÓMO DEBEN DETERMINARSE LAS CANTIDADES DE LOS DIVERSOS ELEMENTOS QUE INTEGRAN LAS MEZCLAS DE HORMIGÓN

Es posible determinar las proporciones más convenientes para las diferentes clases de material. Nuevas teorías referentes a la graduación del agregado, propuestas por D. A. Abrams, como resultados de numerosos ensayos

El *proporcionar* el hormigón, o sea fijar las proporciones de los diversos elementos que lo integran sobre una relación volumétrica arbitraria de estos elementos, es una práctica que data desde hace mucho tiempo. Probablemente el 90 por 100 del hormigón que hoy se hace se especifica como mezcla 1:2:4 (1 cemento: 2 arena: 4 grava), sin tener en cuenta cuál es la arena y la grava que forma el hormigón. Pero desde algunos años a esta parte, varios experimentadores han venido estudiando la integración del hormigón con la esperanza de descubrir un método de *proporcionar* algo más racional y que tuviera en cuenta las propiedades del agregado y la resistencia que se deseaba. Entre estos investigadores descuella el profesor Duff. A. Abrams, del Laboratorio de investigación de materiales de construcción del Instituto Lewis, de Chicago. En los tres años 1916-1918, dicho Laboratorio hizo unos 50,000 ensayos, con el objeto de estudiar proporciones adecuadas, de cuyos resultados el profesor Abrams ha deducido una teoría racional que permite determinar las proporciones de los materiales de una mezcla de hormigón según el agregado en cada caso disponible. Sus teorías fueron expuestas en un documento leído ante la "Portland Cement Association" en diciembre de 1918, y después han sido publicadas como Boletín núm. 1 del "Laboratorio de investigación de materiales de construcción" del Lewis Institute,

Como son de importancia extraordinaria, las hemos traducido y las reproducimos a continuación con abundantes detalles.

La experiencia ha demostrado que el fijar las proporciones de los elementos que deben constituir el hormigón por el método volumétrico ordinario dista mucho de ser satisfactorio. Los experimentos de Chicago han demostrado, además, que otros métodos propuestos para el caso, están sujetos a serias limitaciones. Por ejemplo, han encontrado que la resistencia máxima del hormigón no depende de la mayor densidad del agregado, ni del hormigón, y que los métodos ideados para determinar las proporciones de los elementos constitutivos de los hormigones por un justo análisis a la criba del agregado, estaban basados en una teoría errónea. Los ensayos pusieron igualmente de relieve lo que se venía sospechando desde hace algunos años, o sea que no se había prestado la debida atención a la cantidad de agua de las mezclas de hormigón. Conforme se hizo notar en el documento del profesor Abrams publicado en esta revista en el núm. de febrero de 1920, los ensayos hacen ver que variaciones muy pequeñas en la cantidad de agua producen variaciones más importantes en la resistencia y otras propiedades del hormigón, así como cambios similares en otros ingredientes.

Los principios principales de la teoría del pro-

tesor Abrams son fundamentalmente los siguientes: 1.º Con materiales de hormigón dados y condiciones de ensayo determinadas, la cantidad de agua de mezcla usada, determina la resistencia del hormigón siempre que la mezcla sea de plasticidad manejable. 2.º El medir la graduación del agregado por medio de tamices, que da lugar a lo que se llama "módulo de finura" del agregado, es de la mayor importancia para fijar las debidas proporciones de los elementos constitutivos de un hormigón.

Como corolarios de estos principios fundamenta-

tran que mientras que la mezcla sea manejable, la resistencia a la compresión es una función de la razón del volumen de agua para con el volumen de cemento en la mezcla, esto es: la fórmula $S = \frac{A}{B^x}$ es generalmente aplicable, siendo S la resistencia a la compresión del hormigón, x la razón del volumen de agua para con el volumen de cemento y A y B son constantes cuyos valores dependen de la calidad del cemento usado, la edad del hormigón, las condiciones de conservación, etc.

Para los ensayos en cuestión, la fórmula se con-

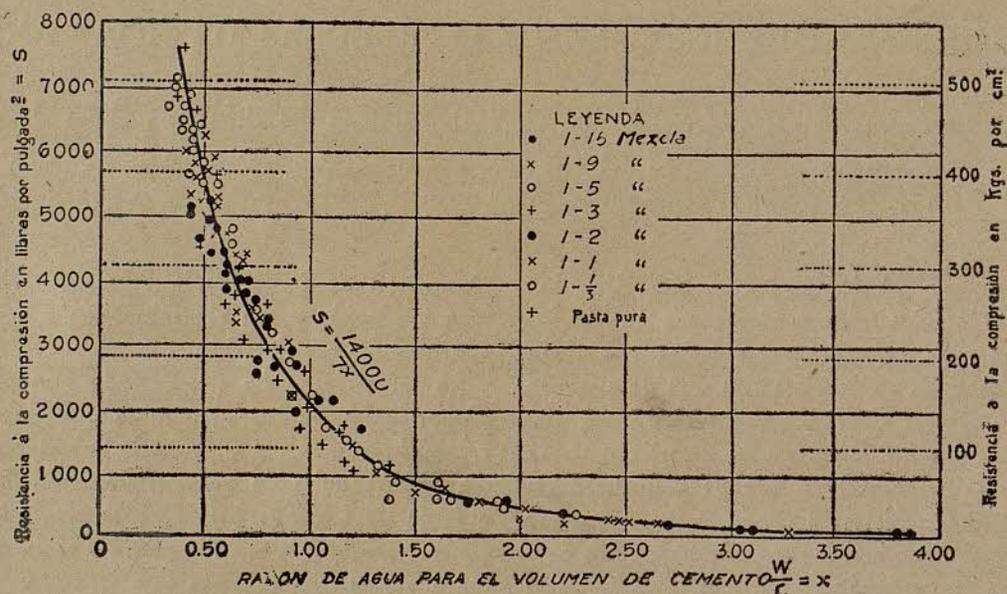


Fig. 1. RELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN Y LA RAZÓN DEL VOLUMEN DE AGUA AL VOLUMEN DE CEMENTO
Ensayos a la compresión a los 28 días con cilindros de 6 × 12 pulgadas

les, se declara que la graduación del agregado que produce la resistencia máxima, no es la que da la densidad máxima, esto es: los huecos más pequeños. Para obtener la resistencia más alta del hormigón es necesaria una graduación más granulada que la que da la densidad máxima. La forma de las partículas y la calidad del agregado tienen menos influencia en la resistencia del hormigón de lo que hasta ahora se creía. Existe una relación íntima entre la graduación del agregado y la cantidad de agua requerida para producir un hormigón manejable.

El efecto del agua en la mezcla ha sido expuesto en el ya citado artículo publicado en esta Revista en el número de febrero de 1920. Los ensayos representados por el diagrama de la fig. 1 demue-

vierte en $S = 14,000/x^x$. Las variaciones en la resistencia del hormigón se corresponden con los cambios en la cantidad de agua, sin que influyan las razones que hayan podido determinar estos cambios. La proporción de agua puede cambiarse, debido a cualquiera de las siguientes causas: 1.ª, cambio en la mezcla (contenido de cemento); 2.ª, cambio en el tamaño o graduación del agregado; 3.ª, cambio en la consistencia relativa; 4.ª, cualquiera combinación de las causas antedichas. No debemos sacar la conclusión de que los ensayos indican que las mezclas más ricas pueden substituirse por mezclas pobres sin límite alguno. La limitación nos la impone la necesidad de utilizar suficiente cantidad de agua para asegurar una mezcla manejable. Por lo tanto, según el profesor

Abrams, el problema de determinar las *proporciones de mezclas de hormigón* se resuelve por sí mismo como sigue: producir un hormigón manejable que tenga una razón de agua dada, y por consiguiente una resistencia dada, utilizando una cantidad mínima de cemento, o bien: producir un hormigón manejable con una razón mínima de agua y por consiguiente con una resistencia máxima, utilizando una *cantidad dada de cemento*.

Se ve, pues, que el método de asegurar la mejor graduación del agregado y el de usar el hormigón

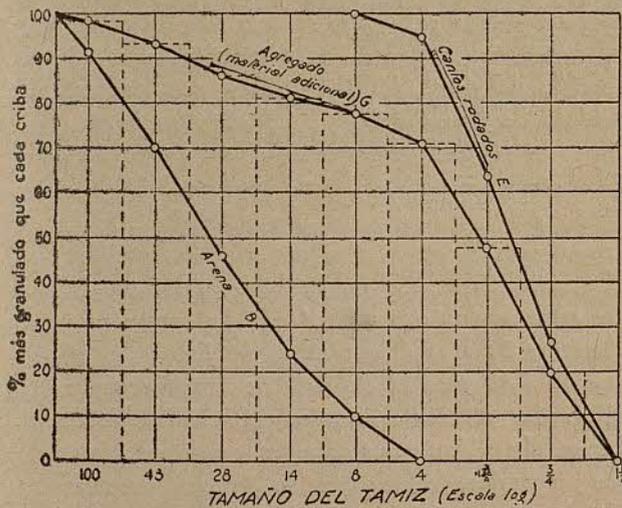


Fig. 2.—GRÁFICO REPRESENTATIVO DE LOS ANÁLISIS AL TAMIZ DEL AGREGADO. Curvas representativas de los análisis al tamiz de los agregados B, E y G del cuadro I.

lo más seco posible, pero manejable, son las únicas disposiciones que hacen posible la obtención de los resultados anteriormente indicados.

En la investigación sucesiva del agregado, fué sentada la función llamada "módulo de finura". Este módulo, en resumen, es la *suma de los porcentajes del agregado que quedan encima de cada tamiz en un "cierto tipo de análisis de criba"* dividida por 100. Estos análisis a la criba se hacen usando las siguientes cribas de la serie normal de Tyler: 100, 48, 28, 14, 8, 4, 3/8 pulg., 3/4 pulg. y 1 1/2 pulg. Estos tamices están hechos con alambre y son de malla cuadrada. Cada tamiz tiene un paso neto que es exactamente el doble de la anchura del precedente. Las dimensiones exactas de los tamices y el método de determinar el módulo de finura se encuentran en el cuadro I. Se notará que el análisis a la criba está expresado en términos de los porcentajes del material, por volumen o peso, que se quedan encima de cada tamiz. Una bien graduada arena torpedo hasta el número 4 de tamiz, dará un módulo de finura de aprox. 3; un agregado grueso graduado desde el tamiz número 4 hasta el de 1 1/2 pulg. arrojará un módulo de finura de cerca de 7: una mezcla de los materiales anteriores en proporciones adecuadas para una *mezcla 1:4* tendrá un módulo de finura aprox. de 5,80. Una arena fina tal como la flotante tendría un módulo tan bajo como 1,50.

CUADRO I. MÉTODO PARA CALCULAR EL MÓDULO DE FINURA DE LOS AGREGADOS

Se emplea una serie de tamices conocida bajo el nombre de "tamices normales de Tyler"; cada tamiz tiene un paso neto que es exactamente el doble del precedente.

Los análisis al tamiz pueden ser expresados en términos de volumen o de peso. El módulo de finura de un agregado es la suma de los porcentajes arrojados por los análisis al tamiz, divididos por 100.

Tamaño del tamiz	Análisis al tamiz de agregados. Porcentaje de muestra más gruesa que un tamiz dado								
	Tamaño del paso cuadrado		Arena			Guijarro			Agregado de hormigón (G)*
	Pulgadas	Mm.	Fina (A)	Medía (B)	Gruesa (C)	Fino (D)	Medio (E)	Grueso (F)	
Número 100.	0,0058	0,147	82	91	97	100	100	100	98
» 48	0,0116	0,295	52	70	81	100	100	100	92
» 28.	0,0232	0,59	20	46	63	100	100	100	86
» 14.	0,046	1,17	0	24	44	100	100	100	81
» 8.	0,093	2,36	0	10	25	100	100	100	78
» 4.	0,185	4,70	0	0	0	86	95	100	71
3/8 pulgada	0,37	9,4	0	0	0	51	66	86	49
3/4 »	0,75	18,8	0	0	0	9	25	50	19
1 1/2 »	1,5	38,1	0	0	0	0	0	0	0
Módulo de finura.			1,54	2,41	3,10	6,46	6,86	7,36	5,74

* El agregado de hormigón "G" está hecho de 25 por 100 de arena "B" mezclada con 75 por 100 de guijarros "E". Se conseguirían graduaciones equivalentes mezclando 33 por 100 de arena "B" con 67 por 100 de guijarros del grueso "F"; 28 por 100 "A" con 72 por 100 "F", etc. La proporción más gruesa que un tamiz dado se determina por medio de la adición de estos porcentajes.

La numeración americana de los tamices se funda en el número de hilos por pulgada inglesa.

Al explicar el uso del módulo de finura, el profesor Abrams continúa diciendo:

“Existe una relación íntima entre la curva del análisis a la criba para el agregado y el módulo de finura; en efecto, el módulo de finura permite la interpretación propia del análisis de criba de un agregado. Si el análisis de criba de un agregado lo representamos de la manera indicada en la figura 2, esto es, usando el $\%$ más grueso que un tamiz dado como ordenada, y el tamaño del tamiz (delineado en escala logarítmica) como abscisa, el módulo de finura del agregado puede medirse por el área que queda debajo de la curva del análisis de criba. Los rectángulos hechos con líneas de puntos para el agregado “G” hacen ver como este resultado es verdadero. Cada rectángulo elemental es el módulo de finura del material de ese tamaño particular. El módulo de finura del agregado graduado es, por consiguiente, la suma de estas áreas elementales. Toda otra curva de análisis de criba que dé la misma área total corresponde al mismo módulo de finura y necesitará la misma cantidad de agua para producir una mezcla de la misma plasticidad, produciendo hormigón de la misma resistencia, siempre que no sea demasiado granulado para la cantidad de cemento usada.

Relación de la resistencia del hormigón con el módulo de finura del agregado

Las numerosas series separadas de ensayos han hecho ver que para una plasticidad dada, del hormigón, y la misma proporción de cemento (mez-

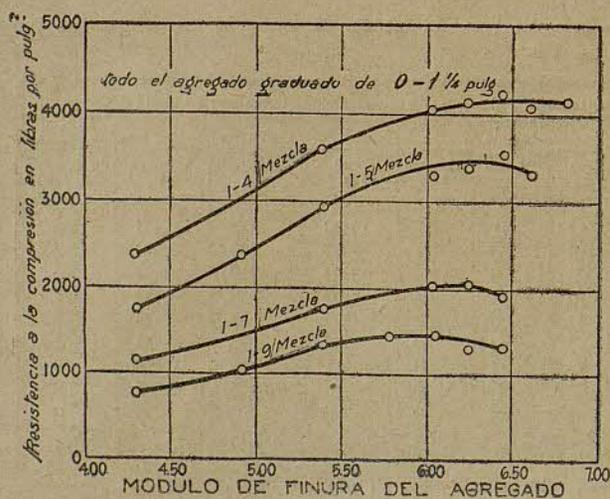


Fig. 3.—RELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN Y EL MÓDULO DE FINURA DEL AGREGADO PARA DIFERENTES MEZCLAS

cla), existe una íntima relación entre el módulo de finura del agregado y la resistencia y otras propiedades del hormigón. Hemos visto que la causa de este resultado se encuentra en el hecho de que el módulo de finura refleja simplemente los cambios en la razón de agua necesaria para producir una plasticidad dada.

Las figs. 3 y 4 dan los resultados de ciertos ensayos a la compresión que ponen de manifiesto la relación entre la resistencia del hormigón y el módulo de finura del agregado.

En la fig. 3 se notará que se puede trazar una curva separada para cada mezcla. En cada caso hay un aumento constante en la resistencia a la compresión del hormigón a medida que aumenta el módulo de finura del agregado, hasta alcanzar un cierto valor que corresponde a un punto máximo. También se notará que este punto máximo corresponde a valores cada vez mayores del módulo de finura, según aumenta la cantidad de cemento en la mezcla. Con otras palabras: la resistencia máxima se consigue con un módulo de finura de aproximación 5,80 para la mezcla de 1:9 y de aproximación 6,40 para la de 1:4. En estos ensayos los diferentes valores crecientes del módulo de finura fueron obtenidos por medio del empleo de una mayor proporción de los tamaños gruesos, pero manteniendo en todos los casos el mismo tamaño límite, esto es, 1 1/4 pulgada.

En la fig. 4 se encuentra una relación similar entre la resistencia y el módulo de finura, excepto de que no presenta punto máximo. Esta condición tiene su origen en el hecho de que el tamaño máximo del agregado aumenta sin cambiar el tipo de la curva de análisis al tamiz, y por consiguiente la curva de resistencia continúa subiendo indefinidamente al aumentar el módulo de finura. La altura a

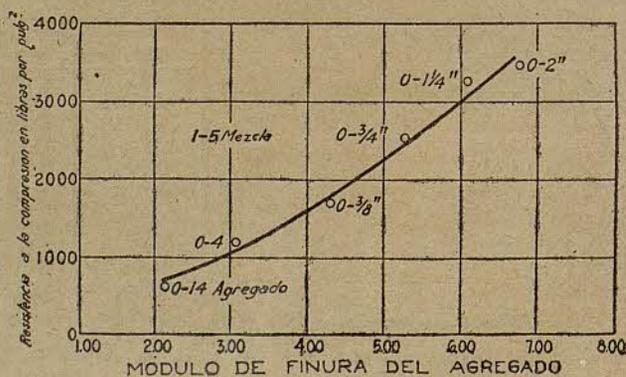


Fig. 4.—RELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN Y EL MÓDULO DE FINURA DEL AGREGADO PARA TAMAÑOS MÁXIMOS DIFERENTES

que sube la curva viene limitada únicamente por el tamaño máximo del agregado que se use. Es importante fijarse en que no existe contradicción entre las indicaciones de las figs. 3 y 4.

Un valor dado para el módulo de finura de un agregado, se puede obtener con cualquiera combinación de porcentajes en el análisis al tamiz que arroje el mismo total; por consiguiente, se puede encontrar una variedad infinita de graduaciones que dan agregados con los que puede obtenerse la misma resistencia del hormigón.

El cuadro II da los resultados de los grupos de ensayos que demuestran las grandes variaciones que se pueden hacer en la graduación del agregado sin producir ninguna variación esencial en la resistencia del hormigón. Se hicieron 27 gradua-

ciones diferentes del mismo agregado. Estas graduaciones cubrían los límites más anchos posibles, pero tenían en común una propiedad que es: el módulo de finura de 6,04. Todas las muestras fueron mezcladas con la misma cantidad de cemento y agua. Con dos consistencias diferentes se hicieron dos series separadas de muestras.

El cuadro II facilita también algunos datos interesantes sobre el "método de superficie" para "proporcionar" agregados. Se ve que puede haber gran variación en el área de la superficie del agregado, sin ninguna diferencia apreciable en la resistencia del hormigón. Nuestros estudios han demostrado que el método que se basa en la superficie del agregado no es una base satisfactoria para la elección del mismo.

CUADRO II. EFECTO DE LA GRADUACIÓN DE LOS AGREGADOS SOBRE LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN

Ensayos a la compresión con cilindros de 6 X 12 pulg. Mezcla 1:5 por volumen; edad al hacer el ensayo, 28 días; guardados en arena húmeda; ensayados en estado húmedo.

Agregados—arena y guijarros" de Elgin, Ill. Los agregados fueron separados en sus diferentes tamaños y luego recombinados de acuerdo con los análisis de tamiz predeterminados.

Se tomó la misma cantidad de agua en todas las muestras de una consistencia dada. La consistencia de 110 por 100 contiene 10 por 100 más agua que la de 100 por 100.

Cada valor en los ensayos de resistencia representa el promedio de cinco ensayos hechos en días diferentes.

Ref. N.º	ANÁLISIS AL TAMIZ DEL AGREGADO										Módulo de finura del agregado	Área de superficie del agregado en pulg. □		Resistencia a la compresión del horm. a los 28 días (lbs. por pl. □)		
	Porcentaje más grueso que cada tamiz											Por libra de agregado	Por gramo de cemento	Consistencia de 100 por 100	Consistencia de 100 por 100	
	100	48	28	14	8	4	3/8	3/4	1 1/4	1 1/2						2
40	99	98	95	90	81	68	49	24	0	—	—	6,04	602	8,8	3,300	2,890
259	99	98	96	82	84	67	46	22	0	—	—	6,04	569	8,2	2,950	2,650
260	98	97	93	88	80	67	52	29	0	—	—	6,04	764	11,4	3,120	2,760
261	97	94	91	85	77	67	58	35	0	—	—	6,04	999	15,2	3,140	2,790
262	95	92	87	82	75	67	67	39	0	—	—	6,04	1,292	20,1	3,100	2,800
263	95	90	84	78	73	67	62	55	0	—	—	6,04	1,451	23,0	2,830	2,740
264	95	89	82	75	67	67	67	62	0	—	—	6,04	1,565	25,2	2,680	2,580
265	100	97	91	79	72	67	58	40	0	—	—	6,04	761	11,9	3,070	2,690
266	100	97	93	88	83	67	50	27	7	—	—	6,04	616	9,0	3,050	2,790
267	99	97	94	86	77	67	47	27	16	—	—	6,04	709	10,5	3,150	2,710
268	98	95	90	83	83	83	50	22	0	—	—	6,04	834	12,6	3,080	2,500
269	98	94	90	86	83	80	55	18	0	—	—	6,04	898	13,3	3,050	2,550
270	96	90	80	80	80	80	60	39	0	—	—	6,04	1,391	21,5	2,970	2,560
271	100	96	92	87	81	75	50	23	0	—	—	6,04	672	10,0	2,930	2,710
272	95	91	87	82	77	73	59	40	0	—	—	6,04	1,315	20,2	3,000	2,580
273	99	95	88	80	76	73	61	32	0	—	—	6,04	911	13,9	2,950	2,740
274	90	85	81	78	75	73	66	56	0	—	—	6,04	1,992	31,3	2,680	2,440
275	100	93	82	73	73	73	63	47	0	—	—	6,04	1,076	16,7	2,820	2,620
276	100	100	100	92	81	60	45	26	0	—	—	6,04	390	5,6	3,040	2,780
277	100	98	95	90	80	60	50	31	0	—	—	6,04	557	8,3	2,900	2,770
278	100	99	96	92	84	55	50	28	0	—	—	6,04	483	7,0	2,940	2,750
279	100	99	96	91	80	50	50	38	0	—	—	6,04	514	7,6	3,050	2,750
280	98	84	84	84	84	57	57	57	0	—	—	6,04	1,276	19,7	3,000	2,780
281	99	98	91	86	80	76	38	38	0	—	—	6,04	701	10,4	2,940	2,700
282	99	98	91	86	80	76	46	30	0	—	—	6,04	697	10,2	3,020	2,660
283	99	98	91	86	80	76	61	15	0	—	—	6,04	6,9	10,1	2,930	2,670
284	99	98	91	85	80	76	67	8	0	—	—	6,04	685	9,9	2,970	2,630
Promedio												6,04	904	13,8	2,990	2,690
Valor mínimo													390	5,6	2,680	2,440
Valor máximo													1,992	31,3	3,300	2,880
Variación media del promedio por ciento.													34,4	37,2	3,41	3,04

CUÁDRO III. VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES DEL MÓDULO DE FINURA DE LOS AGREGADOS

Mezcla cem-agreg.	Tamaño del agregado													
	0-28	0-14	0-8	0-4	0-3*	0-3/8	0-1/2*	0-3/4	0-1 in.*	0-1 1/2	0-2.1*	0-3 in.	0-4 1/2*	0-6 in.
1-12	1,20	1,80	2,40	2,95	3,35	3,80	4,20	4,60	5,—	5,35	5,75	6,20	6,60	7,—
1-9	1,30	1,85	2,45	3,05	3,45	3,85	4,25	4,65	5,—	5,40	5,80	6,25	6,65	7,05
1-7	1,40	1,95	2,55	3,20	3,55	3,95	4,35	4,75	5,15	5,55	4,95	6,40	6,80	7,20
1-6	1,50	2,05	2,65	3,30	3,65	4,05	4,45	4,85	5,25	5,65	6,05	6,50	6,90	7,30
1-5	1,60	2,15	2,75	3,45	3,80	4,20	4,60	5,—	5,40	5,80	6,20	6,60	7,—	7,45
1-4	1,70	2,30	2,90	3,60	4,—	4,40	4,80	5,20	5,60	6,—	6,40	6,85	7,25	7,65
1-3	1,85	2,50	3,10	3,90	4,30	4,70	5,10	5,50	5,90	6,30	6,70	7,15	7,55	8,—
1-2	2,00	2,70	3,40	4,20	4,60	5,05	5,45	5,90	6,30	6,70	7,10	7,55	7,95	8,40
1-1	2,25	3,—	3,80	5,75	5,25	5,60	6,05	6,50	6,90	6,35	7,75	8,20	7,65	9,10

* Tamices considerados como de tamaño intermedio; no usados en la determinación del módulo de finura. Para mezclas diferentes que las indicadas en el cuadro, úsese los valores de la mezcla más pobre próxima. Para tamaños máximos del agregado no indicados en este cuadro, úsese los valores del tamaño inferior más próximo. El agregado fino incluye todo el material más fino que el tamiz número 4; el agregado grueso incluye todo el material más grueso que el citado tamiz. El mortero es una mezcla de cemento, agua y agregado fino.

Este cuadro está basado en el empleo de los agregados de arena y guijarros o grava, compuesto de partículas aproximadamente esféricas, en los usos ordinarios de las construcciones de hormigón armado. Para otros materiales y otras clases de obras, los valores máximos del módulo de finura permitidos para un agregado de un tamaño dado, están sujetos a las siguientes correcciones:

- (1) Si se emplea piedra aplastada o escoria como agregado, redúzcanse los valores del cuadro en un 0,25. Para material machacado consistente en partículas planas o muy alargadas, redúzcanse los valores en un 0,40.
- (2) Para guijarros consistentes de partículas planas, redúzcanse los valores en un 0,25.
- (3) Si se emplean cribaduras de piedra para agregado fino, redúzcanse los valores en un 0,25.
- (4) Para la hilada superior en carreteras de hormigón, redúzcanse los valores en un 0,25. Si el acabado se hace con medios mecánicos esa reducción no es necesaria.
- (5) En obras de grandes dimensiones, tales que la dimensión más pequeña sea más grande que diez veces el tamaño máximo del agregado grueso, se harán las siguientes adiciones a los valores del cuadro: para agregado de 3/4 pulg., 0,10; para 1 1/2 pulg., 0,20; para 3 pulg., 0,30; para 6 pulg., 0,40.

La arena que tenga un módulo de finura inferior a 1,50 no es aconsejable en mezclas de hormigón ordinario. Arenas naturales de semejante finura son muy raras. La arena o material cribado usado para agregado fino en el hormigón, no debe tener un módulo de finura superior al admitido para morteros de la misma mezcla (cantidad de cemento).

La piedra machacada lo mismo con arena fina, como con cascajo algo grueso, no requiere reducción del módulo de finura, con tal que la cantidad de la piedra machacada sea menor del 30 por ciento del volumen total del agregado.

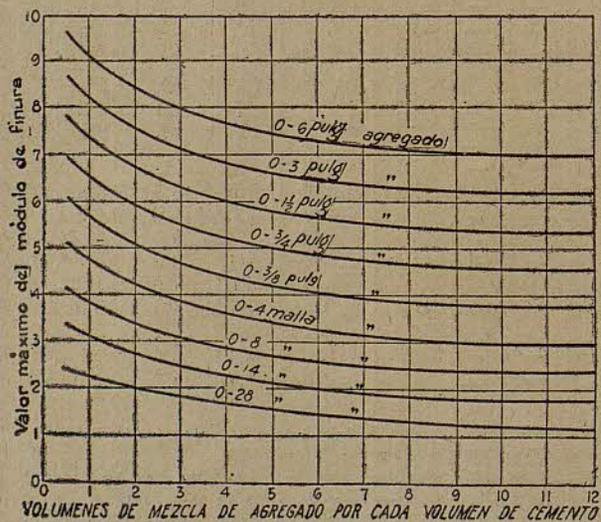


Fig. 5.—VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES PARA EL MÓDULO DE FINURA DEL AGREGADO

Representación gráfica del cuadro III. Basada en agregados de arena y guijarro

Apoyándose en la teoría de la razón del agua al cemento y del módulo de finura, según lo expuesto, el método del profesor Abrams para determinar las proporciones más convenientes, se resume luego en lo siguiente:

1.º Conociendo la resistencia a la compresión que deseamos tenga un hormigón, determinar la razón de agua máxima que puede ser empleada, refiriéndose a la fig. 1 (o al cuadro IV según las condiciones del hormigón). En general debe tenerse en cuenta que las resistencias de los ensayos de laboratorio son siempre más elevadas. En otras palabras: conviene emplear una razón de agua algo inferior que la indicada en la fig. 1 para la resistencia correspondiente. Para más comodidad, en lo sucesivo trataremos con la resistencia concreta en lugar de la razón de agua (como después haremos en la fig. 6), aun cuando debemos tener presente que es la razón de agua que fija la resistencia, mientras tengamos una mezcla plástica.

CUADRO IV. EJEMPLO DE INFLUENCIA DE LA CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLA EN LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN

Agua en una pastada de un saco		Consistencia relativa Porcentaje	Resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días	
Galones	Razón de agua (X)		Libras por pulgada cuadrada (S)	Resistencia relativa Porcentaje
5,75	0,77	100	2,770	100
6,0	0,80	104	2,600	94
6,25	0,84	109	2,400	87
6,5	0,87	113	2,250	81
7,0	0,94	122	1,950	70
7,5	1,01	131	1,670	60
8,0	1,07	139	1,470	53
9,0	1,21	157	1,100	40
10,0	1,34	174	830	30
12,0	1,60	208	480	17
15,0	2,00	260	200	7

Valores calculados por la ecuación

$$S = \frac{A}{Bx} = \frac{14,000}{8,2^x}$$

Siendo S = la resistencia a la compresión del hormigón (lb. por pulgada cuadrada); x = la razón del volumen de agua al volumen de cemento (un exponente).

A y B son constantes cuyos valores dependen de la cantidad de cemento y de las otras condiciones del ensayo. Los valores dados para A y B están basados en ensayos de 28 días en una mezcla de 1:14, agregado de grava graduada desde 0—1 1/4 pulg. y módulo de finura 5,75.

La razón de agua que se toma es equivalente a un pie cúbico de agua para un saco (1 pie cúbico) de cemento, es decir, 1:1.

Los valores de la resistencia relativa no tienen más objeto que hacer más patentes los efectos de la influencia del cambio de la cantidad de agua.

CUADRO V. CANTIDAD DEL AGUA DE MEZCLA NECESARIA PARA EL HORMIGÓN

Mezcla cem-agreg. por volumen	Galones de agua por saco de cemento usando agregados de diferentes módulos de finura											
	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00
Consistencia relativa - (R) = 1,00												
1-12	23,5	21,4	19,5	17,8	16,4	15,2	13,9	12,9	12,0	11,1	10,4	9,8
1-9	18,1	16,7	15,2	14,0	12,9	12,0	11,0	10,2	9,6	9,0	8,4	7,9
1-7	14,7	13,5	12,3	11,3	10,6	9,9	9,1	8,6	8,0	7,6	7,2	6,7
1-6	13,0	12,0	11,0	10,2	9,5	8,9	8,3	7,7	7,3	6,8	6,5	6,2
1-5	11,2	10,4	9,5	8,9	8,3	7,8	7,3	6,9	6,4	6,1	5,8	5,5
1-4	9,5	8,9	8,2	7,7	7,2	6,8	6,3	6,0	5,7	5,4	5,2	5,0
1-3	7,8	7,2	6,7	6,3	6,0	5,7	5,4	5,1	4,9	4,6	4,5	4,3
1-2	6,0	5,7	5,4	5,1	4,9	4,7	4,5	4,3	4,1	4,0	3,9	3,8
1-1	4,3	4,1	3,9	3,8	3,7	3,6	3,5	3,4	3,3	3,2	3,2	3,4
Consistencia relativa -- (R) = 1,10												
1-12	25,8	23,6	21,4	19,6	18,1	16,7	15,3	14,2	13,2	12,2	11,4	10,8
1-9	19,9	18,4	16,7	15,4	14,2	13,2	12,1	11,2	10,6	9,9	9,2	8,7
1-7	16,2	14,9	13,5	12,5	11,7	10,9	10,0	9,5	8,8	8,4	7,9	7,4
1-6	14,3	13,2	12,1	11,2	10,5	9,8	9,1	8,5	8,0	7,5	7,2	6,8
1-5	12,3	11,4	10,5	9,8	9,1	8,6	8,0	7,6	7,0	6,7	6,4	6,1
1-4	10,5	9,8	9,0	8,5	7,9	7,5	6,9	6,6	6,3	5,9	5,7	5,5
1-3	8,6	7,9	7,4	6,9	6,6	6,3	5,9	5,6	5,4	5,1	5,0	4,7
1-2	6,6	6,3	5,9	5,6	5,4	5,2	5,0	4,7	4,5	4,4	4,3	4,2
1-1	4,7	4,5	4,3	4,2	4,1	4,0	3,9	3,7	3,6	3,5	3,5	3,4
Consistencia relativa - (R) = 1,25												
1-12	29,4	26,8	24,4	22,2	20,5	19,0	18,4	16,1	15,0	13,9	13,0	12,3
1-9	22,6	20,9	19,0	17,5	16,1	15,0	14,8	12,7	12,0	11,2	10,5	9,9
1-7	18,4	16,9	15,4	14,3	13,2	12,4	11,4	10,7	10,0	9,5	9,0	8,4
1-6	16,3	15,0	13,8	12,8	11,9	11,1	10,4	9,6	9,1	8,5	8,1	7,7
1-5	14,0	13,0	11,9	11,1	10,4	9,8	9,1	8,6	8,0	7,6	7,2	6,9
1-4	11,9	11,1	10,2	9,6	9,0	8,5	7,9	7,9	7,1	6,8	6,5	6,2
1-3	9,8	9,0	8,4	8,9	7,5	7,1	6,8	6,4	6,1	5,1	5,6	5,4
1-2	7,5	7,1	6,8	6,4	6,1	5,9	5,6	5,4	5,1	5,4	4,9	4,8
1-1	5,4	5,1	4,9	4,8	4,6	4,5	4,4	4,3	4,1	4,5	4,0	3,9

Calculado para la fórmula 4 del texto.

En este cuadro (a-c) se supone igual al 0,02. Este valor puede ser utilizado para piedra caliza y guijarro. Para trapita y granito machacados es algo elevado. Y es demasiado elevado en todos los casos de estar saturados de agua los agregados.

Una consistencia relativa* de 1,00 (consistencia normal), requiere el uso de una cantidad de agua de mezcla tal, que cause un aplastamiento de 0'50—1 pulgada, de un cilindro recién moldeado 6x12 pulgadas de una mezcla aproximadamente de 1:4 al retirar la forma con un empuje constante hacia arriba. Esta consistencia es algo seca para la mayor parte de trabajos de hormigón, pero puede usarse en los casos en que es practicable un ligero apisonamiento.

Una consistencia relativa de 1,10 (10 por ciento más de agua que la precisa para la consistencia normal), representa poco más o menos el hormigón más seco utilizable satisfactoriamente en la construcción de carreteras de hormigón. En las condiciones arriba señaladas esta consistencia dará un aplastamiento de unas 5-6 pulgadas.

Una consistencia relativa de 1,25 representa ya la consistencia más mojada que deba usarse en las obras de construcción de hormigón. En las condiciones antedichas esta consistencia tendrá un aplastamiento de unas 8-9 pulgadas.

Para mezclas y módulos de finura, distintos que los indicados en el cuadro, los valores aproximados pueden ser determinados por interpolación. Para casos especiales úsese la fórmula.

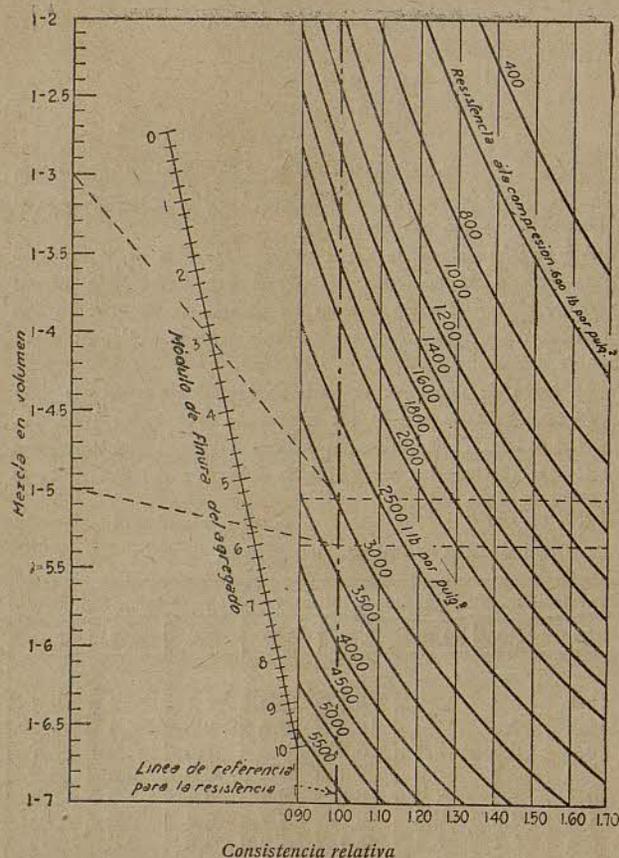


Fig. 6.—DIAGRAMA PARA DETERMINAR LA COMPOSICIÓN DE LAS MEZCLAS DE HORMIGÓN

Este gráfico está basado en los ensayos a la compresión de cilindros de 6 x 12 pulgadas a los 28 días. El cemento usado dió con mortero de arena normal 1 : 3 las siguientes resistencias:

Edad	Libras por pulgada cuadrada
7 días	1,900
28 »	3,200
3 meses	4,200
1 año	4,300

2.º Hacer el análisis de criba de los agregados fino y grueso, usando tamices normales de Tyler. Expresese el análisis de criba en términos de porcentajes del material según peso (o volúmenes separados) más grueso que cada uno de los tamices normales.

3.º Calcular el módulo de finura de cada agregado sumando los porcentajes encontrados en la operación anterior y dividiendo por 100.

4.º Determinar el "tamaño máximo" del agregado aplicando las siguientes reglas: Si más del 20 por 100 del agregado, es más grueso que un cierto tamiz, el tamaño máximo deberá considerarse que es el correspondiente al tamiz más grueso

que le sigue en la serie; si la cantidad de agregado que queda sobre un cierto tamiz es del 10 al 20 por 100, el tamaño máximo se considera es el del próximo "tamiz intermedio" más grueso; y si la cantidad de agregado que queda sobre un cierto tamiz es menor del 10 por 100, se considerará que el tamaño máximo es el de este tamiz.

5.º Determinar, guiándose por el cuadro III, el valor máximo del módulo de finura que puede usarse para la mezcla, clase y tamaño del agregado y la índole del trabajo en perspectiva. (Los valores del cuadro III están representados gráficamente en la fig. 5).

6.º Calcular los porcentajes de agregados finos y gruesos requeridos para producir el módulo de finura para la mezcla de agregado final, aplicando la fórmula:

$$p = 100 \frac{A - C}{B - A} \dots \dots \dots (3)$$

siendo p = porcentaje del agregado fino en la mezcla total,

" A = el módulo de finura del agregado grueso,

" B = el módulo de finura de la mezcla de agregado final,

" C = el módulo de finura del agregado fino.

La fig. 7 puede emplearse para resolver la ecuación (3) y para hacer comparaciones de los efectos de ciertos cambios en las proporciones de los agregados finos y gruesos. La distinción entre agregado fino y grueso, es únicamente para comodidad al asegurar una graduación uniforme; la división puede hacerse en cualquier punto deseado.

7.º Escogida la mezcla, el módulo de finura y la consistencia, referirse a la fig. 6 y determinar la resistencia del hormigón producido por la combinación. Si la resistencia mostrada por el diagrama no es la requerida, se puede operar el reajuste necesario cambiando la mezcla, la consistencia si nos es posible o el tamaño y la graduación del agregado.

La cantidad de agua necesaria puede determinarse por la ecuación (4) que damos a continuación, o bien aproximadamente del cuadro V.

Hay que tener en cuenta que los valores en la fig. 6 se determinaron de los ensayos a la compresión de cilindros de 6 x 12 pulgadas guardados durante 28 días en un sitio húmedo. Los valores obtenidos en la práctica dependerán de factores tales

cómo la consistencia del hormigón, la calidad del cemento, los métodos de mezcla, la manipulación, colocación del hormigón, etc., y también de las condiciones de edad y conservación.

Valores de resistencia superiores que los dados para la consistencia relativa de 1,10 no entran casi nunca en consideración al designar un hormigón, puesto que únicamente en casos excepcionales puede aplicarse con buen resultado una consistencia más seca que esta. Para hormigón más mojado debe tenerse en cuenta que se obtendrán resistencias muy inferiores.

En vista de la influencia importante de la cantidad de agua en el hormigón, es conveniente tener una base segura para determinar la proporción de agua. Dicha cantidad, para proporciones y condiciones dadas, puede determinarse por la siguiente fórmula:

$$x = R \left[\frac{3}{2} p + \left(\frac{0,30}{1,26^m} + a - c \right) n \right] \dots \dots \dots (4)$$

siendo

x = cantidad de agua necesaria, o sea razón del volumen de agua al volumen de cemento

R = La consistencia relativa del hormigón o "factor de manejo". La consistencia normal (consistencia relativa = 1,00) requiere el empleo de una cantidad de agua de mezcla tal, que cause un aplastamiento de 1/2 a 1 pulg. de un cilindro de 6 x 12 pulg. recientemente moldeado, de una mezcla de cerca de 1:4, al retirar el molde hacia arriba por un movimiento sin sacudidas. Una consistencia relativa de 1,10 precisa el empleo de un 10 por 100 más agua y en las condiciones arriba señaladas dará un aplastamiento de unas 5-6 pulgadas.

p = Consistencia normal del cemento, razón según peso. Que varía según la calidad del cemento pero que puede considerarse aproximadamente = 0,228.

m = Módulo de figura del agregado (un exponente).

n = Volúmenes de agregado mezclado a cada volumen de cemento.

a = Absorción de agua por el agregado; razón de agua absorbida por volumen de agregado. (Determinada después de inmersión en agua durante tres horas. Los valores medios para caliza y cascajo machacado pueden suponerse sin gran error como 0,02; las areniscas porosas pueden alcanzar 0,08 y los agregados muy ligeros y porosos 0,25.)

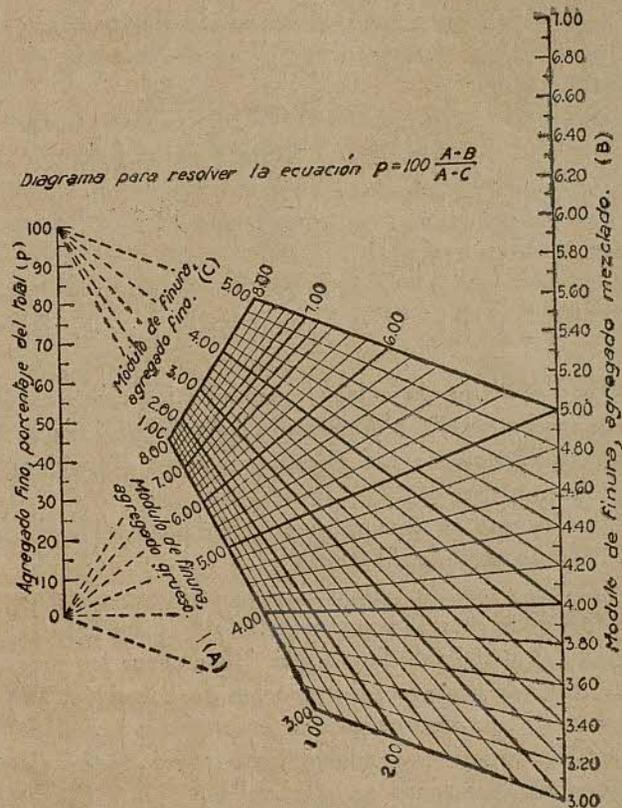


Fig. 7.—DIAGRAMA PARA DETERMINAR LA CANTIDAD DE ARENA NECESARIA

c = Humedad contenida en el agregado; cantidad de agua contenida por volumen de agregado. (Supóngase 0 para agregado de sequedad normal.)

Esta fórmula tiene en cuenta todos los factores que afectan la cantidad de agua requerida en una mezcla de hormigón. Estos factores pueden ser clasificados como sigue:

1.º Factor de plasticidad o consistencia relativa del hormigón. Esta es dictada por la índole de la obra que se efectúa; el hormigón debe ser más plástico (lo que generalmente significa una consistencia más mojada) para las edificaciones de hormigón armado, que en el caso de obras macizas. El término R de esta ecuación tiene en cuenta este factor. "R" puede variar desde, por ejemplo, 0,90 para un hormigón seco, hasta 2,00 o más para mezclas muy mojadas.

2.º Factor de cemento, que consiste de dos partes: la calidad de cemento tratándose de consistencia normal (p); la cantidad del cemento en la mezcla (n).

3.º Factor del agregado. Este incluye los tres términos puestos entre paréntesis en la ecuación 4. El primer término, acompañado por m , tiene en

cuenta el tamaño y la graduación; el segundo la absorción (a) y el tercero (c) el agua contenida en el agregado.

Si bien la ecuación (4) representa la exacta proporción de agua, es algo complicada por el hecho de que el módulo de finura (m) aparece como exponente. La ecuación puede expresarse en una forma más sencilla, que es:

$$x = R \left[\frac{3}{2} p + \left(0,22 - \frac{m}{42} + a - c \right) n \right] \dots (5)$$

Esta ecuación da valores que, para los casos corrientes de mezcla y graduación de agregado, resultan sensiblemente los mismos que los obtenidos por la ecuación (4).

Puesto que se encuentra un valor máximo practicable de módulo de finura para cada tamaño de agregado y *mezcla* (proporción de cemento al agregado), es necesario poner un cierto límite a los valores del módulo de finura que deben tener los materiales que usamos para mezclas de hormigón. El cuadro III da límites que se encontrarán practicales. La experiencia subsiguiente podrá dictar algunas modificaciones en los detalles.

El objeto del cuadro III es el evitar la graduación de un agregado demasiado grueso para su tamaño máximo y para la cantidad de cemento usado. Es también de utilidad para evitar el empleo de arenas demasiado gruesas al querer conseguir los mejores resultados en las mezclas de hormigón. Por ejemplo, de este cuadro se deducirá que el uso de arena de la naturaleza de la arena normal de Ottawa no es admisible, excepto en mezclas 1:2 o más ricas.

Las curvas en la fig. 5 están trazadas directamente de los valores dados para los tamices normales en el cuadro III.

La fig. 6 es un nomógrafo para el esbozo de mezclas de hormigón. Tiene en cuenta los cuatro factores siguientes: (1) La *mezcla* (contenido de cemento); (2) la consistencia relativa; (3) la graduación del agregado (módulo de finura); (4) la resistencia a la compresión del hormigón.

Conociendo tres de estos factores, el gráfico nos permite hallar el cuarto. Este gráfico, naturalmente, se apoya en los resultados de ciertos ensayos. Para las aplicaciones prácticas, estos valores generalmente deben reducirse multiplicándolos por ciertos factores, que dependerán del juicio del operador. Con el fin de facilitar cierta base para la compara-

ción, se indican los ensayos a la compresión de morteros 1:3 de arena normal, del cemento empleado en estas pruebas.

Pongamos el caso de que se trate de estudiar el hormigón para la pavimentación de una calle. Se le especifica generalmente como mezcla de 1:1 1/2:3 o 1:2:3, con agregado graduado hasta 1 1/2 pulgadas. Estas mezclas son poco más o menos las mismas que la que hemos denominado mezcla 1:4, dependiendo el equivalente exacto del tamaño y graduación particulares del agregado fino y grueso. Suponiendo el empleo de un agregado de cascajo, graduado hasta 1 1/2 pulgadas, el cuadro III nos hace ver que podemos usar un módulo de finura tan elevado como $6,00 - 0,25 = 5,75$. Conociendo el análisis de criba y el módulo de finura de ambos tamaños del agregado, se aplica la fórmula o la fig. 7 para determinar las proporciones de cada agregado que debe de mezclarse para obtener este valor. Suponiendo que el hormigón se mezcle hasta una consistencia relativa de 1,10, que es de una plasticidad tal que dará un hundimiento de 5-6 pulgadas en el ensayo antes descrito, se colocará una regla en la fig. 6 en la mezcla 1:4 y el módulo de finura 5,75 y se marcará el punto donde cruza la línea de referencia para la consistencia; desde dicho punto trácese una línea horizontal (tal como indicamos en otros ejemplos), hasta que corte la consistencia relativa 1,10. Se verá que esto nos da una resistencia a la compresión de 3,400 lb. por pulgada cuadrada a los 28 días.

Los efectos de otras mezclas, graduaciones o consistencias sobre la resistencia puede determinarse en seguida por medio del diagrama. Por ejemplo, si el agua se aumentase hasta una consistencia relativa de 1,25 (no tan mojada como se acostumbra en la pavimentación de calles) la resistencia se verá reducida a 2,700 lb. por pulgada cuadrada, una reducción de más del 20 por 100. Si la mezcla fuese cambiada a 1:4 1/2 y los otros factores como en el primer ejemplo, la resistencia sería de 3,200 lb. por pulgada cuadrada. Tendríamos que convertir la mezcla en una pobreza de 1:5 1/4 para alcanzar la misma reducción de resistencia como la arriba encontrada para un cambio de consistencia de 1,10 a 1,25.

Empleando la más mojada de estas dos consistencias obtenemos un hormigón de la misma resistencia, como si hubiésemos empleado 1/3 menos de cemento y la consistencia menos mojada.

En otras palabras: Aumentando el agua de mezcla en 13 por 100 se causa la misma reducción de resistencia que alcanzaríamos omitiendo el 33 por 100 del cemento. Este ejemplo pone de relieve la importancia de un control adecuado del agua de mezcla en el hormigón.

Las ecuaciones 4 y 5 relacionan los elementos que determinan las cantidades de agua necesarias en una mezcla de hormigón. El cuadro V indica la cantidad de agua necesaria para ciertas mezclas y valores del módulo de finura. Las cantidades vienen indicadas en galones (*) por saco de cemento. En este cuadro se supone en un 0,02 (2 por 100 según volumen) la absorción neta, esto es: la cantidad de

(*) El galón americano tiene 3,785 lit. y los sacos de cemento se consideran de 1 pie cúbico.

agua absorbida por el agregado además de la que ya contiene.

Como pueden ver nuestros lectores, el método propuesto por el profesor Abrams para determinar las *debidas proporciones* de los elementos que deben integrar un hormigón, difiere mucho del propuesto por Mr. Edwards (que hemos señalado en el número anterior), pero ambos investigadores coinciden en la gran importancia que tiene la razón del *volumen de agua al volumen de cemento*.

Aunque el sistema expuesto por Duff A. Abrams resulta más *completo* que el anterior, creemos que esta cuestión no está todavía completamente resuelta, y por nuestra parte procuraremos tener a nuestros lectores al corriente de las nuevas investigaciones y experiencias que se vayan haciendo en este ramo de la ingeniería.

INGENIERÍA SANITARIA

EL PROBLEMA DE LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS POTABLES

SUMARIO. — Diversas soluciones al problema de la depuración de las aguas potables — El tratamiento de las aguas por el cloro puro es la solución más eficaz y económica. — Sucinta descripción de los aparatos. — Resultados sorprendentes.

No creo deba extenderme sobre la importancia que tiene para la higiene pública la depuración de las aguas potables. Pues que todos sabemos las grandes dificultades que tienen que vencerse en muchos casos y la verdadera imposibilidad que encontramos en algunos otros, para proporcionarnos un caudal de aguas bacteriológicamente puras.

Cuando se trata de pequeños caudales de aguas, a veces es posible tomarla de manantiales bacteriológicamente puros y que racionalmente podamos presumir que continuarán siéndolo siempre. Pero cuando se trata de los grandes caudales de agua que necesitan las populosas ciudades modernas, esto es prácticamente imposible.

Desde hace más de cincuenta años, o sea desde que, gracias a los progresos de la bacteriología, vinimos en conocimiento de que el agua potable es el vehículo principal de casi todas las enfermedades gastro-intestinales, los higienistas se preocuparon de la mejor manera de obtener agua potable exenta de gérmenes patógenos. Primeramente

se intentó resolver el problema del saneamiento de las aguas de consumo, ya protegiendo debidamente los terrenos en que son captadas, ya sometiendo a una buena filtración mecánica, ya captándolas de modo que esa filtración viniese preestablecida por la naturaleza misma, en una u otra forma.

La protección de los terrenos en que se captan las aguas, se comprenderá que en muchos casos representaría el dejar casi despobladas y con un cultivo muy restringido de preferencia bosques, grandes extensiones de terreno (1), y la filtración, tanto la natural como la artificial (hasta en el caso de emplearse los engorrosos aparatos de filtración lenta), no hace más que disminuir el número de

(1) Según mis noticias, la ciudad de New-York tenía establecida una muy rigurosa vigilancia, alrededor de los embalses que proporcionaban la mayor parte del caudal de aguas de que se abastecía dicha ciudad. Hoy en New-York tienen establecida la depuración del agua por el sistema que luego describiremos.

gérmenes, pero nunca depura el agua por completo.

Por consiguiente, se comprenderá que todos los higienistas hayan convenido que la verdadera solución de este problema, debe orientarse en el sentido de la depuración artificial de las aguas potables, que es lo que vulgarmente se ha dado en llamar *esterilización*, aunque en realidad esta palabra resulte mal aplicada, puesto que al decir esterilización del agua, debería entenderse la destrucción de todos los gérmenes que contenga, y en la práctica no hay necesidad de alcanzar este resultado, porque basta conseguir la destrucción de todos los gérmenes patógenos, que afortunadamente desaparecen antes que los inofensivos.

Varios son los medios de que podemos valernos y que se han empleado con más o menos éxito, para alcanzar este resultado. Sucesivamente han ganado y perdido favor los procedimientos de esterilización por medios puramente físicos, *rayos ultravioletas*, o los procedimientos químicos sin alterar la composición del agua, como la *ozonización*, y los procedimientos químicos con adición del agente esterilizante que después de muchos ensayos sobre diversas sustancias, el único que ha logrado imponerse y que cada día toma mayor incremento en el cloro, ya bajo la forma de hipocloritos diversos o bajo la forma del llamado *cloro líquido*.

La esterilización por los rayos ultravioletas, muy en auge de buenas a primeras, perdió favor cuando se convencieron de que era inaplicable a la esterilización de grandes masas de agua, pues para que la acción germinicida de los rayos ultravioletas sea efectiva, es preciso que el agua sea absolutamente limpia y transparente (lo que en muchos casos nos obligaría a instalar la filtración lenta, ya por sí sola muy cara). Además el agua debe pasar frente a las lámparas especiales de cuarzo y vapor de mercurio, muy lentamente y en lámina muy delgada; entre esta lámpara y el agua a tratar no puede haber más que una capa de pocos centímetros de aire o un cristal de cuarzo absolutamente limpio y libre de toda incrustación salina. De modo que en una población en que la cantidad de agua a tratar sea algo importante, no hay medio práctico de hacer una instalación que pueda ser visitada constantemente y en todos sus elementos y entonces se hace depender la salud y la vida de muchas personas de

una pequeña distracción o de una causa que escapa completamente a la vigilancia del personal dedicado a ella. Además considerando nosotros esta cuestión como a Ingenieros Industriales que somos, no podemos despreciar el aspecto económico y bajo este punto de vista, este sistema sólo puede aplicarse a pequeñas instalaciones, puesto que resulta excesivamente caro, para esterilizar 1 m.³ de agua se consumen por lo menos 250 vatios hora y las lámparas de cuarzo y vapor de mercurio son muy caras (una lámpara que puede tratar de 500 a 1000 litros por hora cuesta de 150 a 400 pesetas) y sólo tiene de vida de 1000 a 2000 horas.

La *ozonización* es un procedimiento que se ha extendido más que el anterior y lucha todavía por imponerse tratando de vencer las serias dificultades que se le presentan, pues que siendo este procedimiento excelente e indiscutible en sus principios, los aparatos para aplicarlo presentan una gran complicación, puesto que el tratamiento del agua por el ozono comprende las operaciones siguientes: Conversión de la corriente eléctrica de que dispongamos en la localidad, que será continua o alterna de baja frecuencia, en corriente de alta frecuencia; el aire antes de ser sometido a la acción del *efluvio eléctrico* (que es la que transforma una parte del oxígeno en ozono) debe ser previamente secado y filtrado y pasar por un ventilador que le comunica el impulso necesario para atravesar todos estos aparatos; la producción del *efluvio* tiene lugar en unas lámparas o elementos muy delicados, de tal modo que una imperfección en el secado o filtrado del aire que las atraviesa, origina su rotura, la producción de chispas o la elevación de su temperatura y hace que la cantidad de ozono producida, sea menor de la que se pensaba alcanzar y que se precisa para una perfecta esterilización.

En muchos casos tropieza también este sistema, con el inconveniente de la poca constancia de voltaje de la corriente primaria y lucha además con el inconveniente de la difícil, difícilísima penetrabilidad del aire ozonizado en la masa líquida, dificultad que no logra vencerse por completo ni aun empleando en las torres de esterilización los dispositivos más ingeniosos. Además si se trata de aguas muy cargadas de materias orgánicas, el tratamiento por el ozono resulta poco eficaz, pues que este, se consume casi todo en oxidar la materia orgánica.

Como que la cantidad de ozono necesaria, depende en gran parte de la cantidad de materia orgánica que impurifica el agua, el consumo de energía variará mucho de unas instalaciones a otras, pues no solamente dependerá de la importancia de la instalación (siempre las instalaciones pequeñas gastan proporcionalmente más que las grandes) y del sistema del aparato empleado, sí que también de la cantidad de materia orgánica y de las otras materias oxidables que contenga el agua que debamos tratar. El consumo de energía eléctrica, varía, pues, entre límites muy extensos, desde 25 vatios-hora y aun menos, hasta 150 v-hora por m.³. Pero lo que influye más en el coste de este sistema de depuración, son los gastos de personal (que debe ser muy experto), conservación y reparaciones. De todos modos siempre, aun tratándose de instalaciones relativamente pequeñas, resulta más económico que el sistema anterior.

La depuración de las aguas por el ozono ha sido implantada en varias poblaciones, entre otras en París (St. Maur y Villemer) Wiesbaden, Baltimore, Niza, Stockolmo, Marsella, Petrogrado, Madrid (viajes antiguos) y algunas otras. Pero, debido seguramente, a la gran complicación y delicadeza de los aparatos, la ozonización aplicada en grande escala no ha dado los buenos resultados que eran de esperar. Así vemos que varias de las poblaciones que la habían implantado la han abandonado. En unos casos como en París, Baltimore y Marsella, no hemos podido averiguar concretamente las causas, pero en otros casos, conocemos el desarrollo completo de la cuestión.

En la más importante de todas las instalaciones que se han construido para la ozonización del agua, en la de Petrogrado, que podía tratar 44,500 m.³ diarios. Según pudimos enterarnos por una noticia publicada en el "Engineering Record" de 25 enero de 1913, que reproduce parte de una comunicación dirigida por el Dr. Adolfo Kemna de Amberes al "Institution of Water Engineers" de Inglaterra, en junio de 1912 ocurrió lo siguiente. Dice el Doctor Kemna: "Los representantes del ozono en San Petersburgo estaban tan seguros de poder destruir el B. Coli que se comprometieron a pagar una multa de 1,000 rublos por cada día que se encontrase el B. Coli en las aguas tratadas, con el resultado que en junio pasado tuvieron que abonar 26,000 rublos. En estas condiciones, el B. Coli podría llegar a ser

un elemento muy importante de renta para los municipios" (1). En vista de esto, la Compañía ozonizadora rescindió el contrato.

El mayor inconveniente del ozono para esterilizar el agua es, según el Dr. Kemna, su poca solubilidad, y es muy difícil emulsionar bien un gas con el agua.

Las instalaciones de Madrid, mientras estuvieron al cuidado de la Compañía instaladora funcionaron satisfactoriamente, pero a fines de diciembre de 1920 se presentaron varios casos de tifus entre los consumidores de las aguas ozonizadas. Analizadas éstas resultó que estaban contaminadas, y algunos concejales acusaron de negligencia a los empleados. Estos se excusaron en la poca constancia del voltaje de la corriente que les suministraban las Compañías. El resultado fué, que por lo menos temporalmente, tuvo que suspenderse el servicio (2).

De todos estos datos se ha formado nuestra opinión personal, que la principal causa de que la ozonización de las aguas potables no se haya extendido más, no radica en su coste, sino más bien en la poca seguridad de su esterilización.

Y pasemos a estudiar los procedimientos químicos, con adición del agente esterilizante. Los muchos ensayos y experimentos que con este objeto se han hecho, se han fundado en el empleo de los permanganatos, los peróxidos, el yodo y el cloro. De estos medios, los tres primeros se han usado accidentalmente para desinfectar los depósitos o conducciones una vez contaminados, pero no pueden usarse corrientemente para el tratamiento de las aguas de consumo, bien porque alteran sus cualidades físicas, bien porque alteran su potabilidad química (1). Hoy por hoy, el único medio práctico,

(1) Si se da tanta importancia al hecho de que las aguas potables contengan o no el B. Coli (que es el micro-organismo característico del aparato intestinal) no es porque éste sea en sí un germen muy perjudicial, pues sólo resulta peligroso, cuando por causas accidentales adquiere una extraordinaria virulencia. Su importancia radica en el hecho que el B. d'Ebert y los bacilus del *paratífus*, son muy difíciles de aislar en una muestra de agua, aunque esté muy contaminada, pero estos gérmenes van siempre acompañados del B. Coli, pues sus condiciones de vida son muy parecidas y éste en realidad sirve como indicador.

(2) Estas noticias están tomadas de la prensa de Madrid, especialmente de "La Voz", números de 29 diciembre 1920 al 4 enero 1921. Posteriormente no hemos sabido nada más de esta cuestión.

(3) Quizás podría usarse el peróxido de hidrógeno H₂O₂, pero todo sabemos lo muy cara que resulta el agua oxigenada y lo muy variable de su composición, defectos que la hacen inaplicable en la práctica.

eficaz y, además económico, con que contamos para la destrucción de los gérmenes patógenos que llevan las aguas, y por consiguiente, para preservarnos de las enfermedades de origen hídrico, es el tratamiento de las mismas por el *cloro*, ya sea en forma de hipocloritos diversos o de otros análogos compuestos de cloro, *ya mejor aún*, empleando directamente el *cloro puro*.

* * *

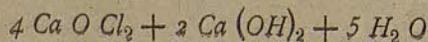
Se sabe, hace ya muchos años, que el cloro goza de una altísima potencia bactericida aun a dosis sumamente pequeñas. Sabemos, además, que el cloro, a más de que en dosis pequeñas es completamente inofensivo, debido a su misma actividad, se combina fácilmente y, por consiguiente, como a tal substancia activa, desaparece fácilmente del agua.

Aunque desde los primeros experimentos nadie dudaba de lo muy ventajoso que sería el emplear directamente el cloro puro, eran tantas las dificultades que tenían de vencerse para medir con exactitud primero y disolver después el *gas cloro* en el agua que debíamos depurar, que en las primeras aplicaciones de este procedimiento se recurrió al empleo del *cloro activo* que contienen los hipocloritos. Pues si bien es verdad que al añadir un hipoclorito al agua se aumenta su dureza, siempre es éste un mal menor, comparado con el peligro que representa el beber aguas contaminadas.

De los diversos hipocloritos que pueden usarse, el que se había usado en mayor escala era el hipoclorito de calcio, que, como todos sabemos, se obtiene industrialmente en grande escala por el paso del *gas cloro* sobre una capa delgada de cal apagada, de conformidad con la siguiente reacción.

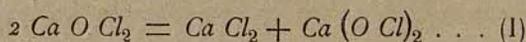


Si la composición química del hipoclorito respondiese a esta fórmula, contendría aproximadamente el 50 por 100 de cloro, pero en la práctica, el hipoclorito recién fabricado contiene tan sólo del 35 al 38 por 100 de cloro activo, y responde con mucha aproximación a la fórmula



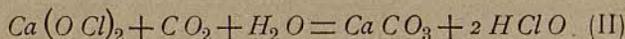
Este exceso de cal libre lo contiene siempre, de modo que resulta indispensable para la formación y conservación del producto, contiene también como impurezas pequeñas cantidades de magnesia, alumina, etc., y una cierta cantidad de cloruro de cal propiamente dicho $CaCl_2$, que aumenta con el tiempo, pues el hipoclorito es muy inestable.

Aunque todos llamamos hipoclorito de calcio al producto CaO,Cl_2 , el verdadero hipoclorito que corresponde a la fórmula $Ca(OCl)_2$ sólo se forma al disolver los polvos de blanqueo en el agua, verificándose la siguiente descomposición:

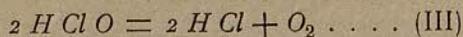


La acción esterilizante de los hipocloritos se ha atribuido a su enérgico poder de oxidantes indirectos, y se supone que se verifica de conformidad con las siguientes reacciones.

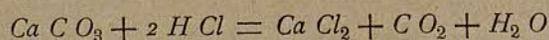
El hipoclorito reacciona con el anhidrido carbónico, ya sea libre, ya en forma de bicarbonatos, que siempre contiene el agua, formando ácido hipocloroso.



El ácido hipocloroso, que es muy inestable, en presencia de la materia orgánica o de otra materia oxidable cualquiera, cede su oxígeno y se transforma en ácido clorhídrico.



Y el ácido clorhídrico formado ataca a los carbonatos que siempre contiene el agua y regenera el anhidrido carbónico.



Pero al desinfectar las aguas por medio de los hipocloritos, ocurre algún fenómeno que no se explica bien por los efectos del oxígeno nascente y que se atribuye a que, gracias a los fenómenos de *hidrolisis*, queda una pequeñísima cantidad de *cloro directamente activo*.

Entre las primeras pruebas efectuadas para la esterilización del agua en gran escala por medio

de la cloración, figuran las muy notables que se llevaron a cabo bajo la dirección del Dr. A. C. Houston, director de los análisis de aguas del "Metropolitan Water Board", de Londres, en 1905. En esta época se mezclaba hipoclorito de sodio (agua de Javel) en el agua suministrada a la ciudad de Lincoln (Inglaterra) dando muy buenos resultados.

Los primeros ensayos de que tenemos noticia hechos en Norteamérica para esterilizar el agua en gran escala por el procedimiento de la cloración, se efectuaron bajo la dirección de G. A. Johnson, en la instalación destinada a la filtración de agua de Bubbly Creek, Chicago. Se utilizó el hipoclorito de calcio con tan satisfactorios resultados, que quedó demostrada la conveniencia de adoptar este procedimiento como un método de gran eficacia para la desinfección del agua.

Algún tiempo después de efectuadas las pruebas de Bubbly Creek, se instalaron aparatos para la cloración por medio del hipoclorito de calcio en los abastecimientos de aguas de Jersey City, N. J. Scranton, Pa. y Johnstown Pa. En todas partes con tan satisfactorios resultados, que el procedimiento se extendió tan rápidamente que durante el año 1913 había más de 500 instalaciones en funcionamiento que trataban diariamente con hipoclorito de

calcio (polvos de blanqueo) más de 3,800,000 metros cúbicos de agua.

Aunque fueron europeos los primeros higienistas que preconizaron la cloración de las aguas potables y que, como ya hemos dicho anteriormente, fué en Lincoln (Inglaterra) en donde se hizo la primera aplicación en grande escala de este procedimiento, el desarrollo y generalización del mismo ha sido mucho más lento en Europa que en Norteamérica, puesto que pasaron algunos años desde su primera aplicación en Lincoln, hasta que se estableció la cloración de las aguas de la ciudad de Guilford, y casi simultáneamente se aplicó en Middlekerke y Ostende, en Bélgica.

En Ostende fué preconizado por Mr. Berge el uso del peróxido de cloro, obtenido por la acción del ácido clorhídrico sobre el clorato potásico. Esta fué la primera instalación verdaderamente importante de Europa, puesto que en ella se trataban unos 4,900m.³ de agua diariamente. Este procedimiento se aplicó poco después en uno de los abastecimientos de la ciudad de Bruselas y en el abastecimiento del hospital de Petrogrado.

S. A.

Ing. Industrial.

(Continuará.)

METALURGIA

TEMPLE DEL ACERO

Estos puntos críticos que se producen en el enfriamiento del hierro fueron descubiertos por M. Osmond, que los denominó Ar_3 y Ar_2 . Desde el punto de fusión hasta el punto Ar_3 el metal está al estado hierro γ entre Ar_3 y Ar_2 está al estado de hierro β a temperaturas inferiores a la del punto Ar_2 queda al estado de hierro α . El hierro γ no es magnético; presenta un gran poder disolvente para el carbono, cuyo valor depende de la temperatura; presenta, además, una forma cristalina característica. El hierro β tampoco es magnético, pero se diferencia del anterior en que su poder disolvente respecto del carbono es casi nulo; presenta también forma cristalina característica. El

hierro α es magnético; por lo demás, tiene mucho parecido con el hierro β . ¿Cuál de estas variedades puede considerarse como una forma alotrópica del metal? Esta cuestión no está todavía resuelta; no se está todavía acorde sobre la definición de la alotropía. Si se ve en la variación de la simetría cristalina un criterio para establecer un cambio alotrópico, hay que convenir en que el hierro γ es un estado alotrópico, mientras que los hierros β y α son de la misma variedad, con la sola diferencia de que, debido a la elevación de la temperatura, el hierro β ha perdido las propiedades magnéticas que poseía el hierro α .

Desde el punto de vista del temple del acero, la

diferencia importante entre estas tres variedades de hierro, estriba en que el hierro γ puede disolver notables cantidades de carbono, al paso que las variedades β y α no poseen esta cualidad; la posición que toma el carbono como agente de endurecimiento del acero está íntimamente ligada a esta diferencia de propiedades.

Cuando se añade carbono al hierro para obtener un acero, se observa su acción sobre los puntos crí-

das corresponden a las temperaturas y a los porcentajes de carbono indica los elementos constitutivos de la aleación hierro-carbono (fig. 2). Desde el punto de vista del temple, debemos observar solamente la región de la izquierda del diagrama comprendida entre los límites 0 y 1,5 por 100 de carbono. El área AGOSE limita los dominios del hierro γ ; se ve así que sólo subsiste entre las temperaturas de 1500° a 700° C y únicamente para

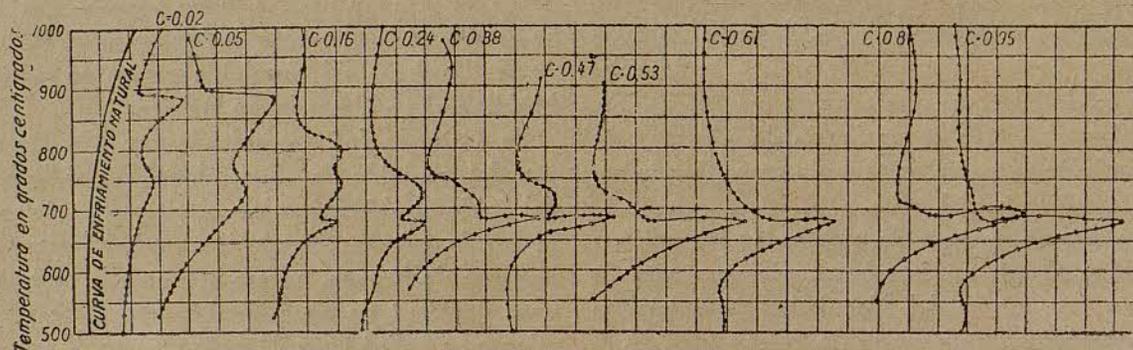


Fig. 1.—GRÁFICO DEL ENFRIAMIENTO DEL HIERRO Y DE LAS ALEACIONES HIERRO-CARBONO
(Desviación del galvanómetro diferencial)

ticos del metal. Así, en un acero con 0,15 por 100 de carbono, la temperatura del punto Ar_3 disminuye, mientras que el punto Ar_2 no varía, pero aparece un tercer punto crítico, Ar_1 , alrededor de los 700° C (fig. 1).

Si el acero considerado contiene 0,35 por 100 de carbono, la temperatura del punto Ar_3 desciende todavía, Ar_2 permanece invariable, Ar_1 se extiende mucho. Con un acero de 0,45 por 100 de carbono, Ar_3 disminuye hasta coincidir con Ar_2 ; dicho de otro modo: el hierro γ se transforma directamente en hierro α . Aumentando gradualmente la proporción de carbono, los puntos Ar_2 y Ar_3 —que se confunden en uno solo—continúan descendiendo de temperatura, mientras aumenta la amplitud correspondiente al punto Ar_1 . Finalmente, en un acero con 0,9 por 100 de carbono, los tres puntos coinciden en Ar_1 situado a la temperatura de unos 700° C. Los puntos Ar_3 y Ar_2 son característicos del hierro; el punto Ar_1 , es característico del acero.

El microscopio ha puesto de manifiesto las variaciones de estructura que acompañan a estas producciones de calor. Un diagrama cuyas coordena-

porcentajes de carbono inferiores a 1,8 por 100. El elemento constitutivo correspondiente ha recibido el nombre de *austenita*.

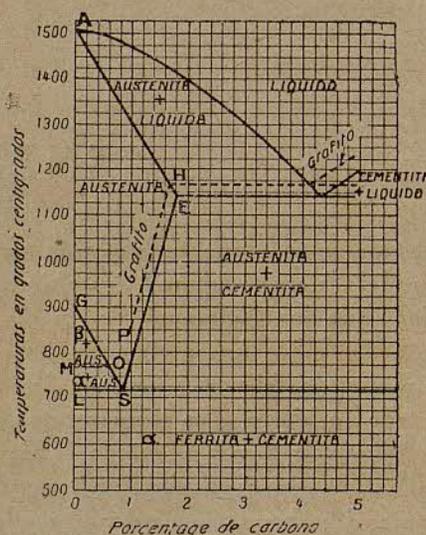


Fig. 2.—DIAGRAMA QUE INDICA LOS ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE LA ALEACIÓN HIERRO-CARBONO DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL TEMPLE

(Continuará)