

MORTEROS I HORMIGONES DE CEMENTO

(Conclusion)

*
* *

Las arenas provienen de la desagregacion mecánica o químicas de las rocas.

Una atencion esmerada se debe poner para la eleccion de la arena que forma el mortero, pues es un elemento que desempeña un papel tan importante que la vida del mortero en mucha parte depende de la calidad de la arena que se elija.

Las arenas en cuanto a su composicion química no tienen mayor influencia en la calidad del mortero, basta que no sean susceptibles de desagregarse i que no contengan sales solubles; pero su grosor o tamaño i limpieza son cualidades que deben tomarse mui en cuenta, porque tienen una influencia preponderante, manifestamente comprobada en numerosos ensayos, sobre la calidad de los morteros.

Se dice que una arena es fina cuando sus granos no alcanzan a tener un milímetro de diámetro; medianas cuando sus granos miden de 1 a $1\frac{1}{2}$ milímetros; i gruesas de $1\frac{1}{2}$ a 3 milímetros; despues siguen las gravas.

Es cuestion ya bien estudiada i resuelta por la unanimidad de los ingenieros que se han ocupado de estas cuestiones que las arenas finas dan morteros mui inferiores i que deben ser proscritas en absoluto de las obras en el mar. Los inconvenientes que presenta el empleo de la arena fina son:

1.º Dan un mortero de resistencia mui inferior al fabricado con arena mediana o gruesa, llegando esta diferencia hasta un 50 %.

2.º El mortero fabricado con arena fina es mucho mas poroso que el fabricado con las otras arenas, aun empleando, dice el señor Candlot, fuertes dosis de cemento.

3.º Los huecos que tiene una arena fina en igualdad de volúmen son mucho mayores que los de las arenas gruesas, necesitando, por consiguiente, para formar morteros llenos emplear mucho mayor cantidad de cemento, sin conseguir por completo ese propósito.

4.º Por razon de la porosidad los morteros fabricados con arena fina no se pueden emplear en el mar porque son fácilmente atacados i penetrados por el agua cargada de sales de magnesia, dañosas a los morteros.

Una buena arena debe cumplir con las siguientes condiciones, todas mui sencillas de verificar:

a) No contener materias estrañas, es decir, ser completamente limpia; de tal manera que apretando un puñado produzca un crujido especial i no manche la mano.

b) Su grosor debe ser tal que el diámetro de sus granos no baje de un milímetro ni sea superior a tres milímetros.

c) Las partículas deben ser suficientemente resistentes para no desagregarse cuando son restregadas unas con otras entre los dedos. Las mejores son las cuarzosas de aristas vivas; son inaceptables las que provienen de la desagregacion de calizas, esquitos, u otras rocas fácilmente descomponibles.

*
* *

Cualquier agua mas o ménos potable es buena para la confeccion de los morteros suméjidos en agua dulce o al aire. Los morteros que se empleen en el mar pueden sin inconveniente ser confeccionados con agua de mar, i aun es ventajoso emplearla en este caso cuando se usan cementos algo rápidos porque el agua de mar retarda la fragua sin que se alteren las otras cualidades de los morteros.

*
* *

Para dosificar un mortero debe atenderse al objeto a que está destinado. Si se va a emplear en obras que necesitan impermeabilidad, tales como colectores de un alcantarillado, muros de un dique, albañilerías de un estanque, etc., se les debe dosificar de tal manera que todos los huecos de la arena queden totalmente llenos con la pasta de cemento, lo que constituye un mortero *lleno*. Si la impermeabilidad no es necesaria, deberán dosificarse de tal modo que su resistencia sea superior a la mayor tasa de trabajo calculada para la albañilería. Esta clase de obras son las mas numerosas, entre ellas podemos indicar: los estribos i machones de puentes, las alcantarillas, cimientos i muros de edificios, pisos, malecones, etc.

La tasa a que se hace trabajar las albañilerías ordinarias rara vez alcanza a 12 kgs. por centímetro cuadrado; consideraciones de diversos órdenes, en las cuales no entraremos, aconsejan no sobrepasar esta tasa en los muros i cimientos de una construccion; en trabajos de fortificaciones, en bóvedas rebajadas de luces mayores de cinco metros puede sin embargo elevarse considerablemente esta tasa de trabajo, llegando en algunos casos a 50 kgs. por centímetro cuadrado; pero estos son casos especiales que deben requerir dosificaciones tambien especiales.

La dosificacion racional de un mortero debe ser tal que su resistencia nos dé una completa garantía de seguridad i al mismo tiempo que su costo sea reducido a un mínimo. El componente de mayor precio que entra en el mortero es el cemento, de manera que la mayor economía consistirá evidentemente en emplear en un volumen determinado de mortero la menor cantidad posible de cemento compatible con la resistencia exigida.

La dosificacion de los morteros se puede hacer con toda exactitud tomando sus elementos al peso; pero este procedimiento no es cómodo para ser usado en la práctica, ya que no es de uso corriente tener una romana en cada faena, a ménos que se trate de una obra en la cual se tenga que emplear cantidades mui grandes de mortero en el mismo

sitio. Corrientemente los elementos del mortero, el cemento i la arena, se miden al volúmen; así se indica la dosificación de un mortero diciendo que se compone de tantos volúmenes de cemento por tantos volúmenes de arena.

Pero para proceder con exactitud en la dosificación al volúmen hai que fijar la manera i las dimensiones de la vasija en que se mide, sobre todo al tratarse del cemento que es un polvo sumamente compresible. Así, en la práctica, se vacía el barril de cemento a pala en un cajón que no debe tener una altura de 0.30 m. para que no se comprima con su propio peso. Un barril de cemento White Brothers medido en un cajón de 0.204 m. de alto me dió 137 litros; i uno marca «Cóndor» dió 135 litros, como el barril de cemento sin embalaje pesa 170 kgs., resulta para el White Brothers una densidad de 1,259 kilogramos por m.³, i para el «Cóndor» 1,248 kgr. por m.³. Los ingenieros señores Jorge Calvo i A. Lira en experiencias que han hecho acerca del rendimiento de un hormigon, han encontrado en las mismas condiciones anteriores pero usando un cajón de 0.23 m. de alto para el cemento «Alsen» una densidad de 1,235 kgs. por m.³, i para el volúmen del cemento suelto 137.6 litros. Se puede pues aceptar para la densidad del cemento medido en esas condiciones un promedio de 1,250 kgs. por metro cúbico. En tal grado de compresibilidad entenderemos las medidas al volúmen en lo que sigue. La arena es mucho ménos comprensible que el cemento, i su densidad por consiguiente es uniforme aun cuando varíen las dimensiones de la vasija de medida; la arena normal pesa 1,300 kgs. por m.³.

Establezcamos que cuando nos referimos a una determinada dosificación al volúmen entendemos que se trata de arena seca. La arena que tiene un cierto grado de humedad pesa ménos en igualdad de volúmen i por lo tanto tiene mayores vacíos que la misma arena al estado seco, de consiguiente podremos decir que un volúmen determinado de arena contiene ménos arena cuando está húmeda que cuando está seca, diferencia que es tanto mayor cuanto mas fina es la arena.

No se puede despreciar esta diferencia entre arenas secas i húmedas porque se está espuesto a cometer errores mui apreciables en la dosificación de los morteros. Son mui interesantes a este respecto las experiencias que han hecho el ingeniero señor R. Feret, jefe del laboratorio de puentes i calzadas en Boulogne-sur Mer. Dice este ingeniero: «Llamamos particularmente la atencion sobre los enormes errores de dosificación que pueden resultar del empleo de arenas mas o ménos húmedas. A este propósito citaremos una de las experiencias que hemos hecho para avaluar esta influencia.

«La arena empleada era una arena fina tomada en Boulogne de una duna situada al oeste del puerto. Se la medía vaciándola a pala en un cajón de 50 litros análogo a las carretillas cubicadas que sirven ordinariamente en las faenas para medir la arena que se emplea en la fabricación de los morteros. Esta arena, previamente secada al sol hasta que no experimentaba pérdidas de peso al someterla a 100°, ha sido sucesivamente adicionada de pesos crecientes de agua. A cada nueva adicion de agua, se tenía cuidado de mezclar bien la materia de manera de hacerla perfectamente homogénea, i se determinaba el peso del cajón de 50 litros. Se deducia el peso del metro cúbico medido en las mismas condiciones que en la faena. Los pesos encontrados han sido los siguientes:

		Arena seca						
		kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.
Proporción de agua que humedece								
100 kgs. de arena seca.....		0	0.5	1	2	3	5	10
		gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Pérdida de peso sufrida por la secadura por 1 kg. de arena húmeda.....		0	5	9.9	19.6	29.1	47.6	90.8
		kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.
Peso de un metro cúbico de arena húmeda.....		1,458	1,310	1,238	1,213	1,209	1,208	1,266
Peso de arena seca contenida en un metro cúbico de arena húmeda.		1,458	1,304	1,226	1,189	1,174	1,151	1,149

De estas experiencias el señor Feret deduce los resultados que se dan en el cuadro que sigue:

Proporción de agua que humedece 100 kgs. de arena seca.	Dosificación que se desea obtener. (Peso de cemento por m. ³ de arena).	Dosificación que se obtendría empleando arena húmeda en lugar de arena seca.					Peso del cemento que habría que emplear por m. ³ de arena húmeda para obtener las dosificaciones que se desean.				
		kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.
	0	0.5	1	2	3.5	10	0.5	1	2	3.5	10
	kgs.										
	200 por m. ³	224	238	245	249	254	179	168	163	161	158
	300 » »	335	357	368	373	381	269	253	244	241	236
	400 » »	446	486	490	497	508	359	336	326	321	315
	500 » »	559	595	612	621	634	448	421	408	402	394
	600 » »	670	714	735	745	761	538	505	489	482	473

Como puede observarse en este cuadro las dosificaciones sufren modificaciones considerables según el grado de humedad de la arena; en consecuencia, cuando se emplee arena húmeda en la confección de un mortero hai que determinar los vacíos que hai en la arena húmeda i los vacíos que hai en la misma arena seca i por una simple proporción inversa deducir el dosaje que corresponde en ese caso.

Las numerosas experiencias a largos períodos que se han ejecutado, como asimismo

las obras construidas desde hace ya muchos años, ponen de manifiesto que los morteros de 5 a 6 volúmenes de arena por uno de cemento portland producen resultados excelentes siempre que se empleen buenos materiales i sean bien confeccionados. Aun en obras en las cuales se requiere impermeabilidad los morteros pobres en cemento producen buenos resultados; al principio dan naturalmente filtraciones a causa de que los huecos de la arena no han alcanzado a llenarse, pero despues de trascurrido cierto tiempo se estancan espontáneamente i se vuelven impermeables. Reproducimos a continuacion lo que dice el señor Candlot refiriéndose a este asunto:

«Cuando se trata de trabajos en agua dulce la permeabilidad no es de temer, pudiéndose emplear morteros con dosajes mui pobres en cemento. Es así como los morteros con dosis de 200 a 300 k. por metro cúbico de arena (con arena normal corresponde al volumen; de 6,2 a 4 vol. de arena por 1 vol. de cemento) han sido adaptados para trabajos mui importantes i han dado siempre excelentes resultados. El señor Le Chatelier, ingeniero de puentes i calzadas, ha señalado a propósito de trabajos ejecutados en la dársena de la Villette i en el canal de Saint Denis una ventaja mui preciosa de estos morteros pobres. Este ingeniero se expresa así: El uso de los morteros pobres en cemento para albañilerías en el agua está por demas justificado por una esperiencia favorable en los 2,500 m. de muros del malecon de la dársena de la Villette. La objecion que se hace a este respecto jeneralmente consiste en el defecto de impermeabilidad. Es cierto que un mortero con 350 k. de cemento (corresponde a 1 vol. de cemento por 4 vol. de arena) no puede ser otra cosa que un verdadero harnero, desde el momento que son necesarios 500 a 600 k. nada mas que para llenar los huecos de la arena; pero un mortero de cemento portland permeable tiene la propiedad mui importante de que se tapan o llenan los vacíos cuando son recorridos por el agua.

«En las mismas condiciones la cal hidráulica se lava; la diferencia consiste en que la cantidad de cal abandonada por el mortero en el agua cargada de ácido carbónico que la atraviesa, depositada despues al estado de carbonato, es menor para el cemento que para la cal, en razon de las combinaciones químicas i de los caracteres físicos que diferencian el cemento de la cal. El ataque de un mortero de cemento por las aguas cargadas de ácido carbónico, es suficientemente lento para que el carbonato de cal pueda entrar en disolucion e ir a cristalizar léjos de su punto de produccion en masa compacta i adherente, mientras que el mortero de cal no da lugar sino a la precipitacion en el mismo punto de una masa confusa de carbonato.»

Refiriéndose a esta misma cuestion, agrega el señor Candlot: «Para albañilerías al aire o sumerjidas en agua dulce el mortero de 200 a 350 k. de cemento por metro cúbico de arena (corresponde a un vol. de cemento por 6,2 a 4 vol. de arena) puede dar los mejores resultados bajo todos puntos de vista. La fragua es bastante lenta para que el trabajo sea mui fácil, i el endurecimiento es suficientemente desde los primeros días para que la estabilidad de las albañilerías quede asegurada desde luego. La resistencia de tales morteros es ademas ámpliamente suficiente i sobrepasa siempre con mucho las exigencias.»

El señor Debray, ingeniero jefe del laboratorio de puentes i calzadas en Paris ha hecho numerosas esperiencias acerca de la resistencia de los morteros a distintas dosifi-

caciones, cuyos resultados consignamos a continuacion, tomados del tratado de Cementos Armados de los señores Berger i Guillaume, Paris, 1902, pájs. 50 i 51; el cemento empleado es un portland artificial de la fábrica Vicat i C.^a, cuyo índice es

$$\frac{\text{sílice + alúmina}}{\text{cal}} = \frac{22.25 + 7.55}{60.20} = 0.49.$$

No contiene materias estrañas, ni cal libre ni magnesia en fuertes proporciones; su finura da un 88 por ciento de polvo impalpable, es decir, polvo que pasa por el cedazo de 5,000 mallas por centímetro cuadrado. La arena con que se ha confeccionado el mortero es arena normal que consiste en cuarzo triturado hasta que los granos sean de 1 a 1½ mm. de diámetro. En el cuadro que sigue damos los promedios de las esperiencias de la compresion obtenidos por el señor Debray:

RESISTENCIA A LA COMPRESION POR CENTÍMETRO CUADRADO						
	Pasta de cemento Agua empleada 23 por ciento		Mortero dosificado al peso de 1 de cemento por 3 de arena. (Equivale al volúmen: 1 volúmen de cemento por 3 volúmenes de arena, aproxima- da.) Agua empleada 107.1 por ciento.		Mortero dosificado al peso de 1 de cemento por 5 de arena. (Equivale al volúmen: 1 volúmen de cemento por 5 volúmenes de arena, aproxima- da.) Agua empleada 9.5 por ciento.	
	Bloquecit. con- servados al ai- re húmedo du- rante 24 horas i sumerjidos despues en agua dulce.	Bloquecit. con- servados al ai- re húmedo sin inmersion.	Bloquecit. con- servados al ai- re húmedo du- rante 24 horas i sumerjidos despues en agua dulce.	Bloquecit. con- servados al ai- re húmedo sin inmersion.	Bloquecit. con- servados al ai- re húmedo du- rante 24 horas i sumerjidos despues en agua dulce.	Bloquecit. con- servados al ai- re húmedo sin inmersion.
A los 7 dias .	445	437	181	206	85	89
A los 28 dias.	592	566	248	307	111	139
A los 84 dias.	787	682	355	405	136	235
A los 6 meses	925	857	371	433	153	227
Al año	996	998	458	549	153	233
A los dos años	1035	1045	421	503	174	249

Es digno de observar en el cuadro que antecede que los morteros a la dosificacion de uno de cemento por cinco de arena dan resistencias desde el primer momento que satisfacen con holgura las necesidades de la práctica. Creemos pues fundadamente que el mortero de 1 volúmen de cemento por 5 volúmenes de arena, bien confeccionado i con materiales bien elejidos es un mortero que se puede emplear con confianza absoluta en nuestras obras corrientes. Talvez, como lo asegura el señor Candlot, se puede todavía descender con toda seguridad a una dosificacion de 1 de cemento por 6 de arena; pero no

conozco experiencias bastantes numerosas i concluyentes para recomendar esta proporcion con absoluta confianza.

El agua que se ocupa para la confeccion del mortero tiene por objeto convertir el polvo de cemento en una pasta de consistencia suficiente para que envuelva los granos de la arena. El cemento en polvo, medido en las condiciones que hemos estipulado, al convertirse en pasta experimenta una contraccion de volúmen que varia con la clase de cemento i con la cantidad de agua que se ocupa; para un cemento White Brothers he confeccionado una pasta de fluidez suficiente para formar un mortero de 1 por 3 de consistencia normal i he encontrado que se ha reducido el volúmen del polvo de un 21.4 por ciento i se ocupó una cantidad de agua equivalente al 56 por ciento del volúmen del polvo. No toda el agua que se ocupa en hacer la mezcla es fijada en la hidratacion i la fragua del mortero; una parte sobrante queda encerrada en su interior i constituye otros tantos vacíos diseminados en su masa, de manera que un mortero hecho con mucha agua es necesariamente mui poroso. Igualmente un mortero tratado con poca agua tambien es poroso si no se le puede comprimir fuertemente; tiene ademas el grave defecto de no adherirse bien a los materiales. No es posible dar cifras precisas que indiquen la cantidad de agua que se debe usar en cada caso, pues esta cantidad varia con la dosificacion del mortero, con la clase de arena, i con el grado de compresion que se le pueda dar al ser colocado en la obra. Lo mejor es determinar experimentalmente en cada caso concreto la cantidad de agua que debe ocuparse i la reduccion que experimenta el polvo de cemento al ser convertido en pasta; este último dato es útil i necesario para deducir con exactitud la cantidad de cemento que se ocupará en la obra, i por consiguiente el costo de ella.

Como buena regla se puede establecer que la cantidad de agua con que se debe confeccionar un mortero sea tal que la mezcla presente cierta plasticidad i que una vez comprimido tanto como lo permite la obra el agua refluya a la superficie; de consiguién- te miéntras mayor sea la compresion que pueda dársele al mortero tanto menor debe ser la cantidad de agua que se use. Así en obras de albañilería de hormigon debe ponérsele la menor cantidad posible de agua, porque con el pison se le puede comprimir cuanto se quiera, i al contrario en la albañilería ordinaria de bolon debe emplearse mas bien un exceso de agua porque la obra no permite otra compresion del mortero que la que se le pueda dar con la plana.

* * *

Toda la buena elaboracion de un mortero consiste en que sus elementos se mezclen íntima i uniformemente. La cantidad de mortero que se elabore de una vez debe ser tanto menor cuanto mas rápida sea la fragua del cemento. Nunca se debe emplear morteros fabricados el dia anterior, aun cuando se trate de cementos mui lentos.

Los morteros se elaboran con el auxilio de aparatos especiales o a mano. Conviene emplear máquinas solo cuando se ha de elaborar una cantidad mui grande de mortero que se va a ocupar en un mismo recinto. La descripcion i el empleo de dichas máquinas o aparatos se encuentran en cualquier libro sobre construcciones, por lo tanto no nos detendremos en ellas.

Para fabricar el mortero a mano se comienza por preparar una cancha pareja al pié de la obra, ya sea con tablas u otro material duro; sobre la cancha se estiende uniformemente la cantidad de arena determinada i sobre ella se pone tambien estendido de un modo uniforme el cemento que corresponde segun el dosaje; se revuelve despues a pala i en seco hasta que arena i cemento estén bien mezclados, lo que se verifica comunmente a la tercera vuelta; se agrega en seguida el agua poco a poco revolviendo todo constantemente i lijero hasta el momento del empleo. La cantidad de mortero que conviene hacer de una vez varia con el número de operarios i con la rapidez de la fragua; no es conveniente ni es cómodo pasar de 3 metros cúbicos en cada pesada.

*
* *

Los hormigones son verdaderas mamposterías ordinarias en las que la piedra de grandes dimensiones está sostenida por piedra chancada o por guijarros rodados de pequeño tamaño, cuyas dimensiones varian entre uno i seis centímetros de diámetro o largo.

La albañilería de hormigon tiene señaladas ventajas sobre la albañilería ordinaria, que pueden resumirse como sigue: Las construcciones de hormigon por carecer de puntas son mas homogéneas, trabajando como verdaderos monolitos, en una sola masa uniforme; como se pueden comprimir cuanto se quiera por medio del pison, se prestan con facilidad para hacer con ellos albañilerías perfectamente impermeables, cosa que con dificultad se consigue con la albañilería corriente; el material que se necesita es fácil encontrarlo en el lecho de nuestros numerosos rios i torrentes, i su estraccion i acarreo presenta en jeneral ménos dificultades que la piedra de bolon o de cantera; i por fin, entrando aproximadamente la misma cantidad de mortero en una i otra albañilería, el precio del hormigon es menor que el de la albañilería corriente, pues a igualdad de volúmen la piedra o el ladrillo es jeneralmente mas caro que el cascajo de rio.

Las mismas razones que prohiben en la albañilería comun que las piedras queden en contacto directo unas con otras, sin interposicion de mezcla, impiden asimismo igual cosa en los hormigones respecto de los guijarros. De manera que es indispensable emplear una cantidad de mortero tal que llene los huecos del cascajo i mas un exceso sobre dichos huecos; esta condicion es, a nuestro juicio, necesario e imprescindible satisfacerla, pues de lo contrario quedarán en la masa del hormigon guijarros en contacto inmediato unos con otros, sin ninguna adherencia entre sí i trabajando, por lo tanto, en malas condiciones.

La resistencia de un hormigon racionalmente dosificado, es decir con un cierto exceso de mezcla sobre los huecos, es igual evidentemente a la del mortero que se emplea para fabricarlo, con tal que sea bien fabricado i que se elija guijarros bastante duros.

Parece que no existe diferencia apreciable entre emplear piedra triturada que presente aristas vivas o emplear guijarros rodados que son mas o ménos redondos; en ámbos casos la adherencia del mortero a las piedras es bastante fuerte. Véase a este respecto lo que dice el señor Quinette de Rochemont, refiriéndose a importantes trabajos ejecutados por él en el puerto del Havre: «El hormigon ha sido hecho con guijarros recojidos en la

playa. Estos guijarros debían pasar en todos sentidos por un anillo de m. 0.06 de diámetro i no pasar por otro de m. 0.02 de diámetro. A pesar de su forma redondeada, estos guijarros dan un hormigon excelente, pues se forma entre su parte exterior i el mortero una cierta reaccion química que hace que el mortero se adhiera mui fuertemente al guijarro. Los guijarros se rompen ántes de separarse de la ganga que les rodea. Los huecos que los guijarros dejaban entre sí eran de 35 a 36% del volúmen total. Para hacer un metro cúbico de hormigon el dosaje habitual era de m.³ 0.8 de guijarros i m.³ 0.46 de mortero, lo que da m.³ 1.26 para el volúmen total de materias.»

La fabricacion del hormigon i su empleo en la obra no ofrece nada particular.

Para fabricarlo se puede proceder de dos maneras; o bien se mezcla el mortero preparado aparte con la cantidad de guijarros necesaria segun la dosificacion, o bien a los guijarros mezclados ya con la arena en la proporcion determinada, se le agrega la cantidad correspondiente de cemento en polvo i se le revuelve despues todo conjuntamente agregando poco a poco el agua tal como se procede para hacer el mortero. Con ámbos procedimientos hai que tener la precaucion de que la revolutura sean lo mas perfecta posible a fin de que la masa quede bien homogénea. Tanto con uno con otro sistema se alcanzan iguales resultados; sin embargo creemos preferible el segundo procedimiento por ser mas rápido i mas económico.

Para fabricar hormigones en grandes cantidades se hace uso de ciertos aparatos llamados hormigoneras, cuya descripcion i empleo se encuentran en cualquier tratado sobre la materia.

El hormigon una vez elaborado se coloca en los moldes respectivos por capas de m. 0.20 a m. 0.30 de espesor bien pisoneadas. Para el empleo de los hormigones sumergidos hai varios procedimientos mas o ménos espeditos descritos con todos sus detalles en cualquier obra de construccion.

*
* *

La cantidad de cada uno de los elementos que entran en un volúmen determinado de hormigon es fácil determinarla por medio de un cálculo sencillo que damos a conocer a continuacion.

Llamemos:

C el volúmen del cemento suelto,

A el volúmen de la arena,

P el volúmen de los guijarros,

K coeficiente de reduccion por unidad del cubo del cemento suelto al ser convertido en pasta,

H coeficiente de huecos de la arena respecto de la unidad de volúmen,

H' coeficiente de huecos de los guijarros respecto de la unidad de volúmen,

N coeficiente de sobrante de pasta de cemento referido a la unidad de volúmen de los huecos de la arena, i

M coeficiente de sobrante de mortero referido a la unidad de volúmen de los huecos de la piedra.

Siendo A el volúmen de la arena el de los huecos será: AH , i la pasta tendrá un volúmen igual a los huecos de la arena mas un sobrante representado por estos huecos por el coeficiente N ; luego:

$$\text{Volúmen pasta} = AH + NAH \dots (1).$$

Por otra parte el volúmen de la pasta tambien es igual al volúmen del cemento suelto ménos la contraccion o reduccion al convertirse en pasta, es decir que:

$$\text{Volúmen pasta} = C - KC \dots (2).$$

Ignalando (1) i (2) tenemos: $C - KC = AH + NAH$.

De donde:

$$C = \frac{AH(1+N)}{1-K} \dots (3)$$

El volúmen del mortero que necesitamos será igual al volúmen de los huecos de los guijarros mas un exceso representado por estos huecos multiplicado por el coeficiente M , luego:

$$\text{Volúmen mortero} = PH' + MPH' \dots (4)$$

Por otra parte la cantidad de mortero será tambien igual al volúmen de la arena, mas el volúmen de la pasta reducido en (1) i ménos los huecos de la arena entónces:

$$\text{Volúmen mortero} = A + AH + NAH - AH \dots (5)$$

Igualando (4) i (5) tenemos:

$$PH'(1+M) = A(1+NH)$$

De donde:

$$A = \frac{PH'(1+M)}{1+NH} \dots (6)$$

Sustituyendo este valor en la fórmula (3) se obtiene:

$$C = \frac{PH'(1+M)}{1+NH} \times \frac{H(1+N)}{1-K} \dots (7)$$

Si necesitamos V metros cúbicos de hormígon, tendremos que este volúmen V se

compondrá del volúmen P de los guijarros, mas el volúmen del mortero deducido en (4) i ménos el volúmen de los huecos de los guijarros; de consiguiente:

$$V = P + PH' + MPH' - PH'$$

O bien

$$P = \frac{V}{1 + H'M}$$

Sustituyendo este valor de P en los fórmulas (6) i (7), obtenemos:

$$P = \frac{V}{1 + H'M}$$

$$A = \frac{V}{1 + H'M} \times \frac{H' (1 + M)}{1 + NH}$$

$$C = \frac{V}{1 + H'M} \times \frac{H' (1 + M)}{1 + NH} \times \frac{H (1 + N)}{1 - K}$$

Fórmulas que nos dan la cantidad de guijarros, de arena i de cemento que entran en V metros cúbicos de hormigon en las condiciones fijadas.

Inversamente si son determinadas de antemano las proporciones de cemento, de arena i de guijarros, podremos determinar los sobrantes de pasta i de mezcla i el volúmen de hormigon que se obtendrá con las cantidades de cemento, arena i piedra que se han fijado.

Para esto basta resolver las tres ecuaciones anteriores con respecto a V , N i M .

Haciendo los cálculos i reducciones tenemos:

$$V = P (1 - H') + A (1 - H) + C (1 - K)$$

$$N = \frac{C (1 - K)}{AH} - 1$$

$$M = \frac{C (1 - K) + A (1 - H)}{PH'} - 1$$

Para aplicar estas fórmulas hai que hacer algunas observaciones. En la primera el mínimo de V es P , ya que no es posible obtener ménos hormigon que el volúmen de los guijarros; si de la aplicacion de los valores numéricos resultara que $V < P$ querria decir que en el hormigon hai vacíos representados por la diferencia, en cuyo caso se debe tomar $V = P$.

Observacion semejante hai que hacer para aplicar correctamente la fórmula que da

el valor de M . Notemos que el numerador de la fracción representa la cantidad de mortero en función del volumen A de la arena, i tengamos presente que la cantidad de mortero no puede ser menor que el volumen de la arena; de manera que el mínimo del numerador de la fracción será A , i ese valor se aplicará cuando los resultados numéricos acusen un número menor que A , cosa que se conoce de antemano cuando el valor de N es negativo.

En virtud de las consideraciones que acabamos de hacer tenemos:

$$N = \frac{C(1-K)}{AH} - 1$$

Si $N > 0$

$$M = \frac{C(1-K) + A(1-H)}{PH} - 1$$

$$V = P(1-H') + A(1-H) + C(1-K) \quad V \geq P$$

Si $N \leq 0$

$$M = \frac{A}{PH} - 1$$

$$V = P(1-H') + A \quad V \geq P$$

Aun cuando la deducción de estas fórmulas es sumamente sencilla i elemental debo sin embargo declarar, sin ninguna pretension de mi parte por cierto, que no conozco otras semejantes i que creo por lo tanto que son nuevas

*
* *

Vamos a completar estas líneas con algunas aplicaciones.

a) Supongamos que se trata de una construcción hidráulica de hormigón en la cual se requiere una impermeabilidad lo mas completa posible. El cubo total de albañilería se ha calculado en 1,500 metros cúbicos. Se dispone de un cemento portland que al ser convertido en pasta convenientemente preparada se reduce en 0.21; de una arena cuyos huecos son de 0.45 i de guijarros rodados cuyos huecos son de 0.40. Se desea que tanto el mortero como el hormigón sean impermeables, por consiguiente tomaremos una parte que llene los huecos de la arena i deje un sobrante sobre esos huecos de 0.10, i una cantidad de mortero que llene los huecos de los guijarros i deje un sobrante de 0.15 sobre dichos huecos. Se desea saber en estas condiciones cuánto cemento, cuánta arena i cuántos guijarros se necesita.

Los datos son:

$$V = 1.500$$

$$K = 0.21$$

$$H = 4.45$$

$$H' = 0.40$$

$$N = 0.10$$

$$M = 0.15$$

Las fórmulas deducidas son

$$P = \frac{V}{1 + H'M}$$

$$A = P \times \frac{H'(1 + M)}{1 + NH}$$

$$C = A \times \frac{H(1 + N)}{1 - K}$$

Poniendo en lugar de las letras sus valores i haciendo las operaciones se obtiene:

$$P = 1415 \text{ m.}^3$$

$$A = 622.87$$

$$C = 390,279$$

$$\frac{390,279}{137} = 2,850 \text{ barriler aprox}$$

La proporcion que corresponde es de un 1 vol. de cemento por 1.6 de arena i por 3.6 vol. de guijarros.

Si hacemos $V=1$ tendremos las cantidades de materiales que entran por m.^3 ; son: guijarros 943 litros; arena 415 litros; i cemento 260 litros.

b) Se trata de la construccion de ciertas obras de hormigon cuya proporcion se nos ha fijado en 1 vol. de cemento, por 3 vols. de arena i por 6 vols. de guijarros. Se ha determinado que el cemento suelto al ser convertido en pasta se reduce en 0.21; los huecos medidos en la arena son 0.45 i los huecos de los guijarros 0.40.

Se desea saber el sobrante de pasta i de mortero, i la cantidad de cemento, de arena i de guijarros que entra en un metro cúbico de concreto.

Los datos son:

$$P = 6$$

$$A = 3$$

$$C = 1$$

$$K = 0.21$$

$$H = 0.45$$

$$H' = 0.40$$

tenemos:

$$N = \frac{C(1 - K)}{AH} - 1 = -0.415$$

$$N < 0$$

$$M = \frac{A}{PH} - 1 = +0.25$$

$$V = P(1 - H') + A = 6.60 \text{ m.}^3$$

De manera que con 1 de cemento, 3 de arena i 6 de guijarros obtenemos 6.6 m.^3 de

hormigon; en 1 m.³ emplearemos, haciendo las proporciones:

Cemento.....	151.5 litros
Arena.....	454.5 »
Guijarros.....	909.1 »

Los valores de N i de M nos marcan el grado de impermeabilidad del hormigon; en este caso estos valores nos indican que el mortero tiene vacíos que por m.³ de hormigon valen:

$$454.5 \times 0.45 \times 0.415 = 85 \text{ litros}$$

i el mortero deja un sobrante sobre los huecos de la piedra que por m.³ de hormigon se pueden evaluar en:

$$909.1 \times 0.40 \times 0.25 = 91 \text{ litros}$$

e) Si en vez de ser la proporcion de 1 por 3 i por 6 fuese de 1 por 3 i por 9 i los demas datos iguales a los del ejemplo anterior, llegaríamos a estos resultados:

$$N = \frac{C(1-K)}{AH} - 1 = -0.415$$

$$N < 0$$

$$M = \frac{A}{PH} - 1 = -0.167$$

$$V = P = 9$$

De modo que con 1 de cemento, 3 de arena i 9 de piedra se forman 9 m.³ de hormigon; haciendo las proporciones tenemos que en un metro cúbico de hormigon entran:

Cemento.....	111 litros
Arena.....	333 »
Guijarros.....	1000 »

El hormigon que examinamos tiene vacíos en el mortero i en el hormigon mismo que avaluados por m.³ de hormigon resulta:

$$\text{En el mortero } 333 \times 0.45 \times 0.415 = 62 \text{ litros}$$

$$\text{En el hormigon } 1000 \times 0.40 \times 0.167 = 67 \text{ »}$$

Este hormigon, ademas de ser mui permeable, trabaja en malas condiciones, puesto

que la existencia de vacíos entre las piedras indica que habrá muchas en contacto directo sin interposicion de mezcla, circunstancia que hace que el hormigon tenga poca cohesion i por lo tanto escasa resistencia.

d) Por razones que hemos estudiado se ha visto que el mortero que conviene a nuestras obras comunes de albañilería es el que se compone de 1 vol. de cemento por 5 vols. de arena. Se quiere dosificar un hormigon para esta clase de obras que se forme con el mortero indicado i cierto volúmen de guijarros tal que sus huecos queden llenos mas un sobrante de 0.20 sobre dichos huecos para que el mortero alcance a envolver la piedra en toda su superficie. Como en los casos anteriores, supongamos que la contraccion del cemento vale 0.21; que los huecos de la arena son 0.45 i que los huecos de los guijarros son 0.40. Se desea saber la cantidad de piedra necesaria; el volúmen de los vacíos del mortero por m.³ de hormigon; el volúmen del excedente de mortero por m.³ de hormigon, i por fin la cantidad de cemento, de arena i de guijarros que entran por m.³

Los datos son:

$$\begin{array}{ll} C=1 & \text{Las fórmulas que hemos deducido aplicables} \\ A=5 & \text{a este caso son:} \end{array}$$

$$H=0.45 \quad N = \frac{C(1-K)}{AH} - 1 = -0.649$$

$$H'=0.40 \quad N < 0$$

$$M=0.20 \quad M = \frac{A}{PH'} - 1$$

o bien despejando a P

$$P = \frac{A}{MH' + H'} = 10.4$$

De consiguiente el hormigon se compondrá de 1 de cemento, 5 de arena i 10.4 de guijarros, con cuya proporcion se obtiene:

$$V = P(1-H') + A = 11.24 \text{ m.}^3$$

Haciendo las proporciones tenemos que en un metro cúbico de hormigon entran:

cemento	89 litros
arena	445 »
guijarros	925 »

Los vacíos del mortero son por m.³ de hormigon:

$$445 \times 0.45 \times 0.649 = 130 \text{ litros.}$$

El excedente de mortero por m.³ de hormigon es:

$$925 \times 0.40 \times 0.20 = 74 \text{ litros.}$$

*
*
*

Creemos que talvez será interesante determinar el costo del m.³ de albañilería con cada uno de los cuatro hormigones que acabamos de examinar, i precisamente con este objeto hemos asignado los mismos números a la contraccion del cemento, a los huecos de la arena i a los huecos de los guijarros a fin de hacer comparables los resultados.

Establezcamos los precios:

Asignemos 12 pesos a la barrica de cemento colocada al pié de la obra, contiene 137 litros, lo que da para el litro de cemento suelto 0,0876 pesos; al metro cúbico de arena 2.50 pesos puesto al pié de la obra, o sea 0.0025 pesos el litro; igual precio para los guijarros; obra de mano i demas gastos 4.50 pesos el m.³

Tenemos por m.³

1 por 1.6 i por 3.6	(a)	{	Cemento.....	260 × 0.0876 =	\$ 22.78
			Arena.....	415 × 0.0025 =	1.04
			Guijarros.....	943 × 0.0025 =	2.36
			Obra de mano, etc.....		4.50
			SUMA.....		\$ 30.68

1 por 3 i por 6	(b)	{	Cemento.....	151.5 × 0.0876 =	\$ 13.27
			Arena.....	454.5 × 0.0025 =	1.14
			Guijarros.....	909.1 × 0.0025 =	2.27
			Obra de mano, etc.....		4.50
			SUMA.....		\$ 21.18

1 por 3 i por 9	(c)	{	Cemento.....	111 × 0.0876 =	\$ 9.72
			Arena.....	333 × 0.0025 =	0.83
			Guijarros.....	1000 × 0.0025 =	2.50
			Obra de mano, etc.....		4.50
			SUMA.....		\$ 17.55

1 por 5 i por 10.4	(d)	{	Cemento.....	89 × 0.0876 =	\$ 7.80
			Arena.....	445 × 0.0025 =	1.11
			Guijarros.....	925 × 0.0025 =	2.31
			Obra de mano, etc.....		4.50
			SUMA.....		\$ 15.72

Entre los hormigones cuyos precios acabamos de examinar son comparables, por ser similares, únicamente los *(b)* i *(d)*.

El hormigon *(a)* es un hormigon especial que se emplea únicamente en obras tambien especiales que requieren una absoluta impermeabilidad; el hormigon *(c)* hemos visto que deja vacíos entre los guijarros i que, por consiguiente, no presta las garantías suficientes para trabajar en buenas condiciones.

Los hormigones *(b)* i *(d)* son perfectamente favorables: los dos son llenos en los huecos de los guijarros i dejan un pequeño sobrante de mortero sobre esos huecos; ámbos tambien tienen vacíos en sus morteros. En cuanto a resistencia ya hemos visto que estamos completamente garantidos con el de menor dosificacion que es el *(d)*. De modo que los dos tipos se pueden emplear sin inconveniente en las obras ordinarias que se ejecutan al aire o sumerjidas en agua dulce. Por consiguiente lo que nos motivará a preferir el *(d)* será su menor costo respecto del *(b)*, cuya diferencia es de 5.46 pesos por m.³ o lo que es lo mismo el *(d)* es 25 por ciento mas barato que el *(b)*.

Mui a menudo he visto emplear en nuestras obras públicas, sobre todo en las obras de arte de nuestros ferrocarriles, hormigones con la dosificacion de 1 por 3 i por 9, i de 1 por 3 i por 6; seria de desear que se modificaran estas dosificaciones porque, como acabamos de ver, la primera es ilójica, i la segunda, que es la mas empleada, da un hormigon demasiado rico, de lo que resulta un costo por demás elevado sin ningun fin útil que lo justifique.

FILIDOR FERNÁNDEZ,
Ingeniero Civil.

Julio de 1904

