

ALGUNOS ASPECTOS DE LA OPERACION CONCRETO



Esta charla fué dictada por el Ingeniero Sergio Rojas Ibáñez, Jefe del Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Universidad Católica y Profesor de Tecnología de Materiales en la Escuela de Ingeniería Civil de dicha Universidad, con motivo de la Primera Operación Concreto de Valparaíso, auspiciada por la Cámara Chilena de la Construcción y organizada por las Empresas Industriales El Melón.

En la visita a La Calera vieron como se fabricaban los cementos. Hoy empezaremos a usarlos y tendremos que hablar de los "hormigones o concretos". Estudiaremos la forma en que funcionan estos materiales para conocer las características que deben cumplir las arenas y los ripios.

Mezclamos cementos, piedras y agua; esto endurece y hemos confeccionado un elemento resistente, útil para tantos fines, una piedra artificial de la forma que necesitamos y sin tener que recurrir al fatigoso proceso de tallado o labrado. Además, con la ventaja de que podemos darle resistencia contra los esfuerzos de tracción y corte por colocación de armaduras metálicas.

¡Y todo tan simple! ¡Si hasta el último jornalero de nuestras construcciones lo puede hacer! Muy sencillo, pero de una complejidad tal que tiene a investigadores y laboratorios en constante actividad. Son muchas las vidas dedicadas a estudiar el complejo mecanismo que creó nuestro obrero al mezclar los granos del cemento, las partículas de la piedra y el agua. No creó algo inerte, estático y sin energía. El material formado cambiará muchas veces sus dimensiones, sus partículas se atraerán o repelerán, ha-

rán más firmes sus uniones o las cortarán produciendo grietas. Casi me atrevo a decir que se dio origen a algo vivo. Esa estructura puede nacer enferma, con taras de origen, o puede ser hecha sana y rozagante, capaz de resistir triunfante los embates de su agitada vida. Pasarán los años y nuestro material se cansará, se fatigará y cederá ante los esfuerzos que lo solicitan.

Insisto en que el peor problema que tiene el hormigón está en la facilidad con que se le puede elaborar. Muchas serán las oportunidades en que el concreto confeccionado sin técnica tenga buen resultado, pero muchas veces será un fracaso. ¿Qué pasó? Bueno, ¡se arrebató! Cuando cumple, cumple gracias a los altos coeficientes de seguridad o al exceso de materiales que usa el técnico inexperto. Cuando éste se decide a ahorrar material, llega al verdadero desastre que significan los gastos de reparaciones o reposiciones.

Son muchos los que estudian el problema. Incluyámonos en ese grupo, y, aunque sea en una forma simplificada, tratemos de incursionar en el interior del material, para encontrar las leyes que guían su comportamiento.

Realmente armamos una estructura compuesta de elementos que sufren todos los esfuerzos que reciben las vigas y pilares de un edificio. Cada elemento deberá cumplir una función que trataremos de determinar.

Son piedras de distintos tamaños y formas que iremos uniendo con pasta vuelve o prácticamente envuelve los granos... Idealizaremos estas uniones como columnas de pasta de cemen-

to que van de grano a grano, amarrándolos. Para que este conjunto sea resistente necesitamos que piedras, columnas y, principalmente, la soldadura de piedra con columna de pasta de cemento sean resistentes. Estudiaremos cada punto (Fig. 1).

La partícula de piedra debe ser sana y resistente. Debe resistir más de lo que le pedimos al concreto. Su composición mineralógica debe asegurar-

mada. Es decir que el "relleno" óptimo para la "base" 3 pulgadas es 3/16 de pulgada y en la proporción 7/3 en peso. Este material compuesto tiene, también, su relleno correspondiente.

Aquí no hay granos entre 1,5 y 3/16 pulgadas. No hay granos entre 3/32 y 3/256 pulgadas. Es lo que llamamos una granulometría discontinua que nos proporciona una compacidad excelente y, por lo tanto, nos dará una alta resistencia.

Tomemos otra "base" por ej.: 1,5 a 3/4 pulgadas) y apliquémosle el relleno correspondiente. Logramos compacidades iguales al caso anterior. Combinemos este material con el anterior y no perderemos ninguna de las características logradas. Así, con granulometría "discontinuas" llegamos a componer una "continua". Si cada "material base" tiene sus "rellenos correspondientes" en la cantidad adecuada tendremos granulometrías continuas de características óptimas.

Podemos decir que es tan compacto y, por lo tanto, tan resistente un hormigón hecho con arenas continuas como discontinuas, siempre que:

1.—La discontinuidad sea bien proporcionada y

2.—Tengamos la energía de compactación suficiente para colocar en sitio al hormigón discontinuo.

La ventaja de una buena granulometría está en su resistencia y además en su facilidad de colocación, en su manejabilidad.

Usamos, entonces, composiciones que han sido comprobadas por la práctica tanto por su calidad resistente como por que no son segregables y se dejan compactar fácilmente. La "operatoria" de estos cálculos previos son simples aproximaciones de escritorio. Son valores cercanos a los reales y **siempre deben ser confirmados y ajustados en obra.**

Un cálculo de proporción arena-grava no puede dar algo exacto porque

depende del elemento que se va a concretar. Está influenciado en gran porcentaje por la dimensión del molde, cantidad de armaduras y otras dificultades de llenado. Es el profesional de la obra el que debe dar la última palabra. Creo que es peor usar "la dosificación que dio el laboratorio" desde zapatas hasta el estanque que entregar el hormigón "al ojo" de un capataz experto.

Ahora, usemos todos estos conceptos para analizar los datos que proporciona el Laboratorio respecto a las arenas y los ripios.

densidades

Se hacen determinaciones de densidades absolutas y aparentes en la misma forma que en los cementos, en otras palabras, densidad en que se considera el sólido y densidad en que se toman en cuenta los huecos.

El valor de densidad absoluta es casi constante y está comprendido normalmente entre 2,65 y 2,70. La prueba se hace sobre piedra pulverizada y con aplicación de vacío, cuando no se quieren tener los poros internos de las piedras. Si solamente queremos acercarnos al problema real del hormigón, actuaremos sobre piedras enteras.

El valor de la densidad aparente acarrea muchos problemas. Como en el cemento depende de la energía de compactación aplicada. Pero la mayor dificultad está en la alteración producida por la humedad contenida.

En el caso de la arena seca actúan fuerzas verticales descendentes, fuerzas que compactan, producidas por el propio peso de los granos. Estas fuerzas son frenadas solamente por las fricciones entre las partículas.

Cuando hay pequeñas cantidades de agua entre los granos nos encontramos con fuerzas capilares, fuerzas de ten-

sión superficial. Hay fase líquida y gaseosa, hay meniscos, hay fuerzas que van de grano a grano y limitan su posibilidad de descender.

Cuando saturamos los huecos, actúan el peso propio y un empuje del líquido, disminuyendo las fricciones entre granos.

Así tenemos una mayor densidad aparente con el material totalmente seco. Mínima cuando se tienen humedades cercanas al 7% en peso del árido. En aumento cuando contienen humedades mayores que 7%, pero sin llegar a igualar el valor correspondiente a 0% de humedad.

Veamos un ejemplo de una arena de pozo Lo Errázuriz-Santiago. Este material está limitado hasta la malla 5 INDITECNOR (abertura nominal = 2,38 mm), contiene 2% de finos y su módulo de fineza es 2,8. Los valores obtenidos son:

Porcentaje humedad	Peso de 1 litro arena húmeda	Peso de arena seca por litro de arena húmeda
0	1,623	1,623
3	1,228	1,192
6	1,196	1,128
7	1,199	1,121
9	1,212	1,112
10	1,235	1,122

Podemos calcular el esponjamiento que se produce en esta arena.

0% 1,623 un kg de arena ocupa 616 cm³
 9% 1,112 un kg de arena ocupa 900 cm³

Hay un esponjamiento de

$$E = \frac{900-616}{616} \cdot 100 = 46,2\%$$

Estas cifras de esponjamiento dependen íntimamente de la fineza de la arena.

Indicaremos brevemente algunas cifras de densidades corrientes para las

condiciones del material que se entrega actualmente en Santiago, limitado a un tamaño máximo cercano a 9,51 mm.

Una buena arena tiene densidades aparentes entre 1,85 y 2,00. Es frecuente encontrar valores del orden de 1,55-1,70, que corresponden a arenas con exceso de finos o con granos porosos y de aristas vivas.

Una buena arena tiene poco esponjamiento por humedad. Su densidad en obra (húmeda y sin compactar) es el orden de 1,55-1,65.

Las arenas de menor calidad tienen densidades aparentes en obra del orden de 1,1-1,2 y no es extraño que se obtengan valores bajo 1,0.

Esta influencia de la humedad es notable en el cambio de granos por unidad de volumen. Por ello es necesario dosificar con mayor volumen de arena en invierno que en verano, como cuando llega una arena de río mojada o una arena de pozo seca. Esta es la razón principal para que se haga necesario el empleo de la dosificación por pesada.

De acuerdo con lo anteriormente dicho tenemos un valioso antecedente al conocer las cifras de densidad aparente sólo esos dos datos nos indican prácticamente la calidad de una arena.

Los porcentajes de huecos equivalentes a los datos anteriores expresados en otra escala de medidas, desde el momento en que el valor de densidad absoluta es prácticamente constante.

huecos

Los porcentajes de huecos equivalen a los datos anteriores expresados en otra escala de medidas desde el momento en que el valor de densidad absoluta es prácticamente constante.

Una arena tiene huecos de 24 a 35%. Una grava de 30 a 45%. Son natural-

mente mejores los valores inferiores. Son más altos los valores para chancados que para los materiales de canto rodado.

contenido de finos

Llamamos finos a los granos que pasan por la malla 200 (INDITECNOR-15, abertura nominal 0.074 mm). La dimensión es del orden de la de los granos de cemento, magnitudes en las que toman especial importancia las acciones de carácter físico-químico, atracciones de masa, etc.

La importancia de estos finos depende, principalmente de tres factores: tipo de finos, su distribución en la masa y dosis de cemento que se empleará. Son peligrosos los finos arcillosos por su actividad físicoquímica extraordinaria, no teniendo importancia los finos de mayor dimensión como los limos, polvo de roca, etc. Cuando estos finos están sueltos en el espacio interpartículas, ayudan a la compacidad de la mezcla, no presentando problemas importantes. Son perjudiciales aquellos finos que se adhieren a la superficie de los granos, produciendo una película que interfiere en el contacto de la columna de cemento y el grano. Son menos peligrosos los finos en el caso en que se usan bajas dosificaciones de cemento (170 kg/m³ o menos) y normalmente ayudarán a obtener densidades más altas, siempre que el fino no esté adherido. En el caso de altas dosis, hay que ser mucho más riguroso en la limpieza del material.

materias orgánicas

Son generalmente ácidos húmicos originados en la descomposición de orgánicos, residuos industriales, etc. Producen descensos intensos de la resistencia ya que impiden el correcto fraguado del cemento.

La forma de detectarlos es muy sim-

ple. Se coloca arena en una solución de soda cáustica al 3%. (Norma INDITECNOR 30-40). La solución, que es incolora, toma tonalidades desde el amarillo al café marrón. Se observa la coloración de 24 horas y se aceptan las arenas que tiñen hasta un amarillo claro.

La forma de eliminar las materias orgánicas es compleja e insegura. Existe la posibilidad de "airear" durante un año o lavar con lechada de cal a razón de 4 a 5 kg de cal por cada metro cúbico de arena. El primer proceso es antieconómico y el segundo es difícil de hacer.

otros ensayos

Las normas INDITECNOR 30-37 fijan los ensayos que deben hacerse para controlar una arena. En realidad son ensayos de rutina que se hacen para establecer la regularidad de calidad de un producto conocido. Cuando tenemos un problema nuevo, una arena que no es totalmente desconocida, es necesario ir a pruebas más completas que nos indiquen con relativa seguridad que no tendremos problemas posteriores.

Se hacen pruebas de actividad físico-química del fino que pasa las 200 mallas (equivalente de arena) y de la posible interacción de sílice de los áridos y álcalis de los cementos (reactividad química).

Se controlan las deformaciones (expansiones y retracciones) que tiene un árido con los cementos, la tenacidad de las arenas y gravas, su desgaste, etc. Estas pruebas de los áridos desconocidos deben hacerse en laboratorios especializados.

composición granulométrica

La composición granulométrica es de una vital importancia, según ya lo hemos visto, por los problemas de com-

pacidades y superficies específicas. En esta oportunidad no me corresponde referirme a ella.

Bien. Hemos visto numerosos análisis y teorías que se aplican en los laboratorios y que aparentemente no tienen nada que ver con la obra.

¿Se justifican tantos estudios? ¿Es económico, es lógico desde un punto de vista técnico ir a controles más estrictos de las áridos?

Para contestar a estas preguntas no nos basta decir que "esto se hace en todas partes del mundo y que todo el mundo no se va a equivocar". Capaz que alguien me responda, como ya lo he oído tantas veces: "Pero señor, si esto lo vengo haciendo así desde hace treinta años. No me vengán con teorías".

Hemos tomado muestras de arena de nueve pozos que abastecen a la ciudad de Santiago. Los hemos estudiado en todo detalle y uno de estos estudios nos entrega las resistencias de los morteros que se prepararon en las mismas condiciones.

Los resultados alcanzados nos muestran que las arenas más usadas en Santiago son de una calidad que corresponde aproximadamente al 70% de los de materiales que se encuentran más cercanos al centro de consumo. Que un simple proceso de lavado,

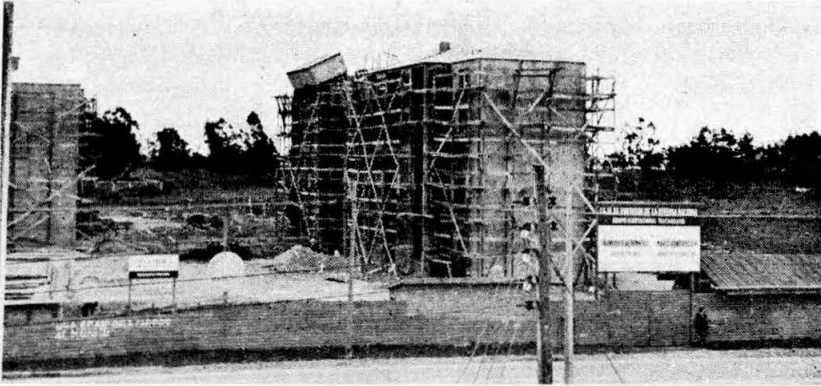
mejora la calidad de las arenas de Santiago en 30 a 40%.

Por ello es que nos parece necesario investigar el problema. Cada día tenemos cementos nuevos de mejores calidades. Huachipato nos entrega aceros más resistentes. Los arquitectos tienen nuevas y más audaces ideas. Los calculistas tienen nuevos sistemas de aproximarse a la realidad del comportamiento de los materiales y piden resistencias cada vez más altas. Los contratistas aplican técnicas más perfectas de vibración, vacío, transporte del hormigón, etc.

Creo que es totalmente ilógico acompañar a materiales tan nobles y controlados con un producto desconocido en sus características. Mala compañía es una arena de calidad dispareja. Mala compañía es una arena de calidad no estudiada.

Estimo absurdo la compra de equipos carísimos para mezclar, colocar o mejorar el hormigón si no pensamos que esos equipos fueron hechos para trabajar con materiales racionalizados. Los equipos los exigen para un rendimiento total y son muchas las veces que hemos encontrado millones y millones de pesos en máquinas que están guardadas en bodega porque en Chile no dieron resultado.

Es la labor del constructor. Es la parte de su producto que tiene que controlar. Lo ético, lo lógico es que mida y controle como lo hace el cemento y el acero.



Derrumbe de estanque superior en sismos de 1960.

Si se desea que una red de distribución de agua trabaje eficientemente, debe disponer de una presión mínima que satisfaga las exigencias de servicio de los distintos artefactos que ella mantiene.

En edificios de poca altura, resulta suficiente la presión que proporciona la red pública en cada empalme particular, pero cuando la presión requerida supera los 20 mts., caso bastante frecuente en edificios de altura superior a dos pisos, es necesario aumentar la presión, buscando una solución específica, para cada edificio o grupo de ellos.

La solución que podemos denominar tradicional, consiste en establecer un estanque superior o reserva, ubicado sobre la parte más alta del edificio, cuyo aprovisionamiento lo procura una juego de bombas elevadoras que captan el agua de un estanque inferior, generalmente subterráneo, que se abastece directamente de la matriz pública.

En este sistema, la presión en los distintos puntos de la red es variable, menor en los niveles superiores del edificio y mayor en los inferiores.

La capacidad del estanque superior de reserva equivale aproximadamente al consumo de medio día de verano del edificio y en consecuencia su volumen y peso influyen en forma importante en la composición arquitectónica y en las características estructurales del edificio.

Si bien es cierto el sistema descrito, proporciona bastante seguridad en lo que se refiere a la continuidad del suministro de agua en razón de la reserva acumulada, obliga al mismo tiempo condicionar la estructura lo que significa inevitablemente un mayor costo de la misma, por otra parte la variabilidad de presión en los distintos niveles del edificio, constituye

una desventaja y en algunos casos un serio impedimento para el uso de elementos que requieren una presión mínima de trabajo elevada. (WC con válvula flush).

Estos inconvenientes del sistema señalado, han estimulado el desarrollo de un procedimiento básicamente diferente, conocido con el nombre de **INSTALACION HIDRONEUMATICA**, cuyo funcionamiento en sus rasgos generales describiremos.

La presión necesaria en la red de distribución es mantenida por un estanque hidroneumático que recibe el agua desde un depósito inferior por medio de una bomba. Esta impulsa el líquido y comprime el aire que se aloja en la parte superior del depósito. Este aire comprimido actúa a su vez sobre el agua, presionándola con la fuerza necesaria para el buen funcionamiento de la instalación.

La presión del aire depende del nivel de agua en el depósito hidroneumático y es naturalmente variable. Cuando esta presión desciende bajo cierto límite, se restituye su valor inicial incorporando una mayor cantidad de agua al estanque. Esta operación se realiza cada vez que se ha perdido un determinado volumen de agua y su frecuencia es función del consumo, capacidad del estanque y bombas

La cantidad de agua almacenada, que sirve el consumo cuando las bombas están detenidas, es relativamente pequeña y obliga a una sucesión de partidas o más o menos rápidas. El arranque y detención automáticos de las motobombas, se obtiene por un interruptor de presión que controla el circuito eléctrico a presiones establecidas.

La **INSTALACION HIDRONEUMATICA** posee, sin duda, ventajas en relación al sistema tradicional. La principal de ellas consiste en