

EXPLOTACION DE LOS YACIMIENTOS DE ARENAS Y APLICACION DE LAS NORMAS A LAS ARENAS DE LA CIUDAD DE SANTIAGO

Ingeniero **SERGIO ROJAS IBÁÑEZ**
Jefe del Laboratorio de Resistencia de Materiales
de la Universidad Católica y Profesor de Tecnología de Materiales
de la Escuela de Ingeniería Civil

RESUMEN

Se consideran los diferentes tipos de yacimientos areneros y sus sistemas de explotación, como posible origen de las dispersiones de calidad de los áridos con que se abastece la ciudad de Santiago.

Se revisan algunas de las bases para aceptar un material granular por medio de los ensayos de nueve pozos que rodean Santiago. Se concluye que los ensayos corrientes establecidos en nuestras normas no son suficientes para calificar a un material.

Se publica este artículo por la gentileza de la Sociedad Industrial El Melón.

En publicaciones entregadas por nuestro Laboratorio indicábamos algunos resultados de arenas usadas en las construcciones de Santiago. Hay valores de ensayos muy dispersos, tanto como varía la forma en que se explotan los pozos o yacimientos areneros.

Los yacimientos areneros que rodean a Santiago pueden ser divididos según su ubicación geográfica u origen geológico. Para nuestro objetivo los dividiremos en pozos o minas y calicheras o bancos de río; en yacimientos de arena y de granulado completo; en explotaciones primitivas y mecanizadas.

Los **pozos o minas** son yacimientos de origen fluvial o glaciar. Presentan profundidades variables (potencia del pozo) y están generalmente cubiertos por una capa de suelo vegetal fino. Esta debe ser eliminado por medio de la operación denominada "escarpe". Generalmente es usada en la fabricación de ladrillos.

Los pozos de Pirque y Lepanto entregan solamente granulados finos. Son de origen glaciar y los granos son de forma angulosa, superficie áspera

y el interior es poroso. Los yacimientos del resto de la zona proporcionan arenas de granulometrías hasta 30 o 40 cm.

La operación de un pozo de material completo puede ser brevemente descrita en la forma siguiente:

1.—Derrumbe del corte o frente por medio de largas varillas o "pedrazos". El material deslizado forma "La pata" del corte.

2.—Extracción manual o con rastillo del material grueso no apto para elaborar hormigones. Estas piedras, normalmente mayores que 7 cm. deben ir a chancadoras y, muchas veces, representan más del 40% de la producción del corte.

3.—Ripio de "saca" es el material que se retira por medio de horqueta. Resulta un granulado parejo y de alto contenido de huecos.

4.—Arena y ripio de "pata" son los materiales que se separan por harneo. Este ripio es de granulometría más fina y completa que el indicado anteriormente.



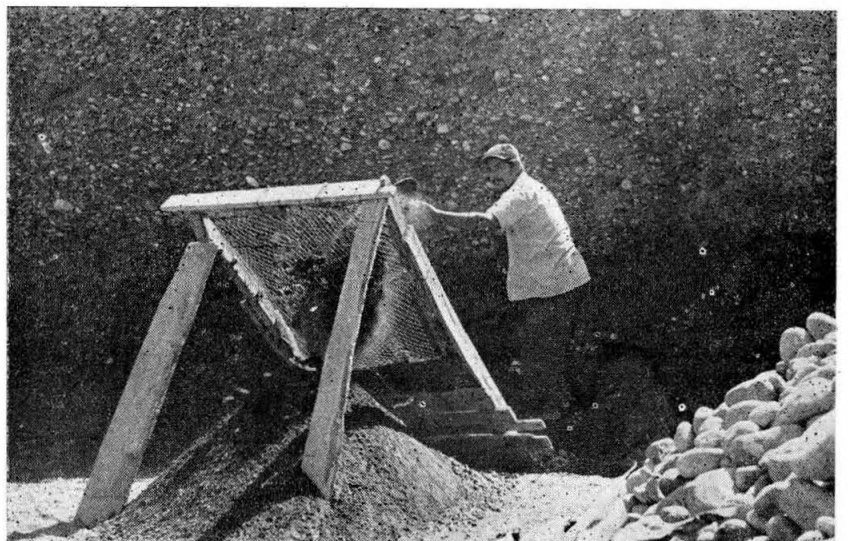
Los materiales resultan tan heterogéneos como las herramientas usadas. Las horquetas y rastrillos han sido usados por largo tiempo y las separaciones de sus dientes son totalmente irregulares. El costo de reposición de una malla de harnero es muy alto para la capacidad económica del arenero, resultando de ello que es frecuente encontrar harneros constituidos por un viejo "sommier" que tiene más alambres colocados en "parches" que los que permanecen del original.

A esto debemos sumar la existencia de pozos explotados hasta límites inaceptables por sus impurezas o fi-

nura del producto y la falta de responsabilidad de muchos empresarios que mezclan escarpe con arena.

Calicheras o bancos de los ríos. Su explotación es muy parecida a la de los pozos o minas. La profundidad del frente es menor y tienen la posible variante de trabajar las arenas obtenidas por medio de canales de desviación nocturna.

Sus principales problemas son los frecuentes aportes de materias orgánicas y las variaciones estacionales notables de acuerdo con el régimen del río.





Si hemos descrito estas explotaciones primitivas, ha sido con la intención de justificar o explicarnos la irregularidad de los resultados, que se pueden ver en el Laboratorio, en las arenas de "aquellas obras que se controlan".

Llamamos "arenas o agregados finos" a los granos de material pétreo que pasan la malla N° 9 (N° 4 ASTM), según norma INDITECNOR 30-37 ch. Las "arenas" de Santiago traen un promedio de 19% de granos de agregado grueso. La dispersión de este promedio es de 11%, lo que dicho en otras palabras significa que es muy probable que llegue a la obra una arena que tenga 50% de gravilla o no tenga nada.

La densidad del material suelto es altamente variable por la humedad y la granulometría. El valor medio de Santiago es de 1400 kg/m³ con una dispersión de 170 kg/m³. El 70% de los ensayos dan resultados entre 1230 y 1570 kg/m³. El promedio de verano es de 1440 y el de invierno es de 1290 kg/m³, lo que significa que si en verano usamos una dosificación

de 400 l. de arena, en el invierno la debemos aumentar a 450 l.

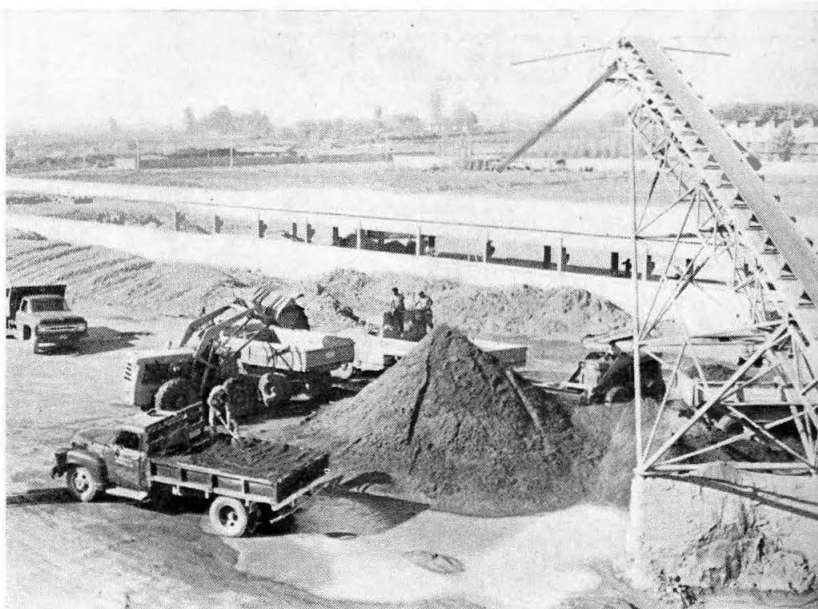
Los "finos", partículas que pasan por la malla 200, tienen un valor medio de 3,6%. En esa forma, el 62% de las muestras estudiadas no cumplen con el máximo de 3% prescrito por la norma para hormigones controlados.

Las materias orgánicas no originan mayores problemas en la zona de la capital.

Si examinamos los materiales que pasan por malla 9, llamémoslos "arenas propiamente tales", se encuentra que un 25% de las pruebas indican granulometrías fuera de la norma por exceso de finos. Es una tendencia general de las arenas de Santiago. El módulo de fineza debe estar entre 2,3 y 3,1. Un 37% de las arenas del río Maipo adolecen de este defecto, son muy finas.

El producto es irregular.

La única solución es industrializar para normalizar la calidad.



Una explotación industrial de arena permite:

- aprovechar el **total del material** del yacimiento;
- homogenizar** el producto del frente de trabajo en el pozo o la calichera;
- bonificar** las zonas de discontinuidades de la granulometría;
- normalizar** los tamaños en que se separan los diferentes tipos de granos;
- separar** en diversos tipos de granos y

—**eliminar** impurezas por procesos de lavado.

La posibilidad de mover grandes volúmenes de materiales, permite disminuir costos por concepto de mano de obra, tiempo perdido en carga de vehículos, etc. La regularidad de la calidad original ahorra en la cantidad de cemento necesaria.

Sea esta nuestra primera conclusión. Necesitamos industrializar la explotación de las arenas si deseamos regularizar la calidad de nuestros hormigones.



Permanece la duda sobre la calidad de nuestras arenas. Hemos dicho que son de calidad irregular, pero es necesario saber si podemos lograr buenas arenas para nuestras obras.

Los ensayos establecidos por las normas INDITECNOR permiten establecer ciertas calificaciones, pero unas veces son incompletas y no nos resuelven nuestro problema. Es difícil interpretar normas especialmente cuando hay diferentes variables que se superponen. Además, conviene recordar que las normas son recomendaciones que se refieren a casos generales.

En Universidad Católica, nos hemos propuesto estudiar este problema para aclarar nuestros conceptos en la medida que los recursos humanos y de equipo lo permitan.

Para obtener conclusiones, hemos seguido un proceso inverso. Determinamos las calidades que se exigen al hormigón o al mortero y tratamos de relacionarlas con las posibles causas de variación que, en este caso, serán las propiedades de las arenas.

Hemos tomado muestras de nueve yacimientos que forman un verdadero cinturón en torno a Santiago y que son representativos de los materiales disponibles.

Se confeccionaron morteros con cemento "Supermelón" en tres diferentes dosis y con tres distintas razones agua/cemento. Los ensayos se hicieron en 3 edades. Los hormigones

se hicieron con una grava común tomada del río Maipo y las nueve arenas en estudio. Veamos algunas de las conclusiones que ya se pueden ir sacando de los numerosos datos obtenidos.

La ubicación aproximada de los yacimiento es:

1.—COLINA. Río Colina, aproximadamente 1 km. aguas arriba del Estadio de Colina.

2.—LO AMOR. Río Mapocho, al norte del Cerro Navia. Calle Mapocho numeración 5000.

3.—POZO ARRIP. Lo Errázuriz, frente Aeropuerto de Los Cerrillos. Muestra extraída antes del funcionamiento de la Planta.

4.—POZO LAUTARO. Ochagavía, lado La Feria.

5.—FUNDO LEPANTO. Ribera norte del Río Maipo a la altura de Santa Rosa, Bajos de Mena.

6.—RIO MAIPO. Aproximadamente 2 km. al oriente de Las Vizcachas.

7.—PIRQUE. Fundo El Principal.

8.—ESCUELA AGRICOLA. Macul, al poniente de Villa Macul.

9.—LAS CONDES. El Arrayán, aguas abajo del Puente de San Enrique.

En el cuadro adjunto se indican algunos resultados que nos serán útiles en la discusión posterior. Estos se expresan en relación a los valores de Río Maipo indicados en la última línea.

PROPIEDADES DE LA ARENA

Nº	NOMBRE	d. lab.	H%	F%	M. F.	TEN.	ABS.	E. A.	
1	COLINA	96	91	650	99	188	418	68	
2	LO AMOR	93	103	825	97	112	426	55	
3	ARRIP	102	84	375	98	121	171	87	
4	LAUTARO	99	91	475	81	88	221	92	
5	LEPANTO	104	79	900	113	208	218	83	
6	MAIPO	100	100	100	100	100	100	100	
7	PIRQUE	95	87	775	119	346	202	88	
8	E. AGRIC.	102	83	600	98	167	307	51	
9	CONDES	95	92	575	101	146	503	87	
VALORES REALES									
DE LA ARENA		(6)	1.92	31.5	8,80	2.66	4.8	0,85	99
RIO MAIPO									

PROPIEDADES DE HORMIGONES Y MORTEROS

	C.	M.	F.	M.	C.	H.	F.	H.	CONT.	ABS.
1	54	61	70	80	183	150				
2	66	77	64	82	212	120				
3	91	88	70	91	116	112				
5	106	96	79	98	86	122				
4	88	97	68	96	81	110				
6	100	100	100	100	100	100				
7	109	105	90	101	91	132				
8	95	96	60	75	145	82				
9	97	90	71	90	110	136				
	—	—	—	—	1,22%	0,272				

NOTACION.

d. lab.	Densidad aparente del material seco y compacto.
H%	Porcentaje de huecos.
F%	Porcentaje de finos.
M.F.	Módulo de fineza de la arena propiamente tal.
TEN.	Tenacidad determinada en el ensayo de Campus modificado.
ABS.	Porcentaje de absorción según norma ASTM.
E.A.	Equivalente de arena según norma del Departamento de Caminos de California.
C.M.	Compresión morteros. Valor promedio de ensayos en 3 edades, 3 consistencias y 3 dosis de cemento.
F.M.	Flexión morteros. Iguales condiciones que C.M.
C.H.	Compresión hormigones. Iguales condiciones.
F.H.	Flexión hormigones. Iguales condiciones.
CONT.	Contracciones a 270 días de edad, expresadas en ‰ y medidas en probetas de morteros 4x4x16 cm, conservadas en ambiente de subterráneo cerrado.
DES.	Desgaste de morteros según la norma DIN 11052. Valores expresados en mm de profundidad del desgaste.

DENSIDADES.

Las arenas de que disponemos son pocas, pero cada valor de resistencia corresponde al promedio de unos 120 ensayos. Aparece en forma notable la tendencia a una mayor resistencia de compresión y flexión para los materiales más compactos, pero hay materiales que no obedecen a esta ley general.

La arena de Pirque da una resistencia más alta que la que le correspondería por su densidad. El caso de Colina es a la inversa.

En los hormigones hay una situación más confusa, pero pese a ello señala iguales tendencias. Los hormigones de Colina tienen una resistencia de compresión relativamente mejor que la de sus morteros.

Al relacionar las densidades con los valores de contracción y desgaste de los morteros se notan claramente los efectos superpuestos de las impurezas.

PORCENTAJE DE FINOS.

Llamamos finos a los granos menores que 74 micrones. Forman un polvo impalpable que pasa la malla 200 en el ensayo por lavado.

El principio general es que las arenas con más finos proporcionan morteros y hormigones menos resistentes. Sin embargo, las arenas de Pirque y Lepanto, que tienen los mayores porcentajes de finos presentan las mayores resistencias medidas. Ambas tienen más del doble de la cantidad de finos que toleran las normas para hormigones controlados. El fijar un porcentaje de finos es una medida simplificada. Bien sabemos que es necesario distinguir entre finos adheridos o sueltos, finos activos o inactivos.

Al relacionar porcentajes de finos con los desgastes y contracciones se detecta claramente la tendencia de mayor desgaste y mayor contracción con más finos. Hacen excepción las contracciones de Pirque y Lepanto.

MODULO DE FINEZA.

El módulo de fineza de Abrams equivale a la centésima parte de la suma de los porcentajes de peso retenido en las mallas normales.

Usándolo como base de comparación, encontramos una correlación muy conveniente, pero nuevamente aparecen las arenas Colina y Lo Amor con valores inferiores a los que deberían tener.

El módulo de fineza no considera los granos bajo la malla 200 y menos indicaría la mayor o menor actividad de esos finos.

Al estudiar MF/CON, vemos que la arena Lautaro da una baja contracción a pesar de su fineza. Pirque y Lepanto obedecen al MF, aunque no seguían las leyes del porcentaje de finos.

EQUIVALENTE DE ARENA Y ACTIVIDAD DE LOS FINOS.

El ensayo de equivalente de arena consiste en una determinación del % de finos sedimentados después de un enérgico lavado en una solución de cloruro de calcio, glicerina y formalina en agua destilada. Junto con el coeficiente de actividad fueron introducidos en la técnica caminera en el Departamento de Caminos de California. Posteriormente se ha generalizado su uso en el estudio de arenas para hormigones. Se recomienda no usar arenas con un E.A. menor que 80%.

Las resistencias de compresión son muy sensibles al equivalente de arena. En los resultados obtenidos hay una sola excepción con el ensayo de morteros de la Escuela Agrícola.

Es especialmente valioso el dato proporcionado por el E.A. en lo que se refiere a contracciones de las arenas con EA mayor que 90. En la comparación con desgaste hay una formación lineal, si no consideramos a las arenas que tienen mucha arcilla (Escuela Agrícola y Lo Amor).

Vemos que el problema de las impurezas es complejo. No hemos revisado las impurezas químicas y ya tenemos una serie de irregularidades que nos confunden y estimulan para reunir mayores antecedentes.

Hemos controlado la posible reactividad de los áridos con los álcalis de cemento, se estudiaron las materias orgánicas y las sales solubles. Los índices son relativamente bajos, por lo que momentáneamente no los hemos utilizado.

TENACIDAD.

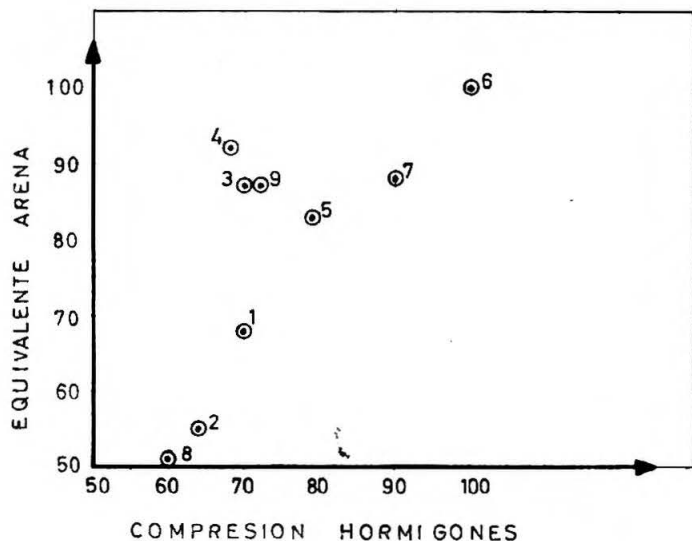
Nos queda el aspecto de la resistencia física del grano, que es bastante difícil de estudiar en una arena. Hay un ensayo propuesto por el belga Campus, que teóricamente tiene varios problemas y en la práctica proporciona valores que no están de acuerdo con la realidad.

Se colocan 500 gramos de arena en un cilindro de hierro y se les comprime a 40 kg/cm² durante 4 minutos. Campus controla la diferencia de granulometría, pero ésta a veces se hace más gruesa por granos realmente soldados por la presión aplicada. Hay zonas de mayor destrucción de acuerdo con la distribución de las tensiones en el interior del cilindro.

Hemos realizado una ligera variante que creemos ha dado un buen resultado. Hemos empleado una granulometría más estrecha, arenas entre mallas 1 y 9 (16 y 4 ASTM), con la finalidad de disminuir los puntos de contacto. Nuestro índice de tenacidad ha sido el porcentaje de finos que pasa por la malla - 11 (100 ASTM) después de la compresión.

No aparece correlación entre la tenacidad y las resistencias. No existe porque el fenómeno de resistencia se origina en proporciones de módulos elásticos de piedras y morteros, en la mayor o menor capacidad de transmitir los esfuerzos por adherencia de pasta y grano, etc. Que una arena sea blanda no quiere decir que sus morteros y hormigones sean poco resistentes a una compresión.

La arena más blanda es la que proporciona un mortero más resistente.



La tenacidad no se relaciona, según nuestros resultados, con la contracción, los valores de desgastes mayores corresponden a las arenas de baja tenacidad o que aparentemente tienen baja adherencia con la pasta de cemento.

Hemos presentado esta primera etapa de investigación con la finalidad de demostrar que hay mucho por estudiar en este aspecto. En el estado en que se encuentran nuestras inves-

De las mediciones realizadas, **en las condiciones en que hemos tomado las muestras y ejecutados los ensayos, podríamos** dividir las arenas estudiadas en tres categorías:

1.—Maipo, Pirque, Lepanto y Lautaro.

2.—Las Condes, Arrip y Escuela Agrícola.

tigaciones, solamente podemos decir que debemos buscar mucho más allá de lo que dicen las normas cuando se trata de arenas que tienen impurezas de cualquier índole.

Es difícil obtener conclusiones de un problema de tantas variables con los ensayos de nueve materiales. Al hacerlo dejamos constancia de las muchas observaciones y correcciones que seguramente aparecerán al reunir mayor número de antecedentes.

3.—Colina y Lo Amor.

Sería recomendable evitar el uso de las dos últimas arenas.

Los valores de absorción de agua y equivalente de arena aparecen como auxiliares valiosos para calificar un material. Sería conveniente tenerlo presente en futuras normas nacionales.