

---

## NOTAS TECNICAS

---

### UN CASO DE CONTROL DE PIEZAS ESTRUCTURALES DE HORMIGON PRETENSADO

Ernesto GOMEZ G.

En la recepción de obras suele presentarse una situación que constituye un problema de ingeniería de carácter general. Corresponde a la siguiente cuestión: ¿Qué debe hacerse cuando se constata que una obra o partes de una obra no cumplen con las especificaciones?

Habría que separar dos aspectos fundamentales en este asunto.

Uno, es la responsabilidad que le cabe al fabricante o contratista por entregar un producto de calidad inferior a la especificada. Esa responsabilidad debiera hacerse efectiva, sea aplicando una multa en proporción al daño, sea exigiendo la reparación del daño. En las prácticas chilenas de contratación y recepción de obras de ingeniería no parece existir un criterio claro de acción frente a la situación expuesta y por ello siempre se producen conflictos cuando se presenta. De todas maneras es ese un aspecto legal y debe estudiarse y resolverse en ese contexto.

El otro, es establecer si la seguridad de la obra ha quedado afectada y en qué proporción. Este es el aspecto que realmente interesa desde el punto de vista de la ingeniería y de él depende la decisión que se tome respecto a la obra.

No existe un criterio uniforme, taxativo, para decidir ante esa situación, pese al gran interés que tiene el tema y pese a habersele dedicado muchos esfuerzos y estudios en diversos países; esto se debe a la complejidad del problema, que tiene facetas diferentes en cada caso, y por tanto no da lugar a un criterio único. Al respecto, sólo se encuentran algunas directivas de carácter general en ciertas normas, y en todas ellas, en definitiva, se entrega el asunto al buen juicio y criterio del proyectista.

Un caso que se produjo hace algún tiempo tuvo relación con piezas estructurales pretensadas a las cuales se les toma muestra en fábrica dos o tres veces por semana. Se trata de hormigones que, según especificaciones, deben alcanzar una resistencia mínima de  $450 \text{ kgf/cm}^2$  a los 28 días en probeta cúbica; la dosis de cemento que se emplea para lograr este objetivo es de 450 ó 500 kg por  $\text{m}^3$  de hormigón; según el tipo de cemento empleado; el hormigón se compacta por vibración.

Las resistencias que se obtuvieron en estas muestras desde enero de 1972 hasta marzo del presente año, tanto a 7 como a 28 días, aparecen en la Fig. 1. Allí se ve

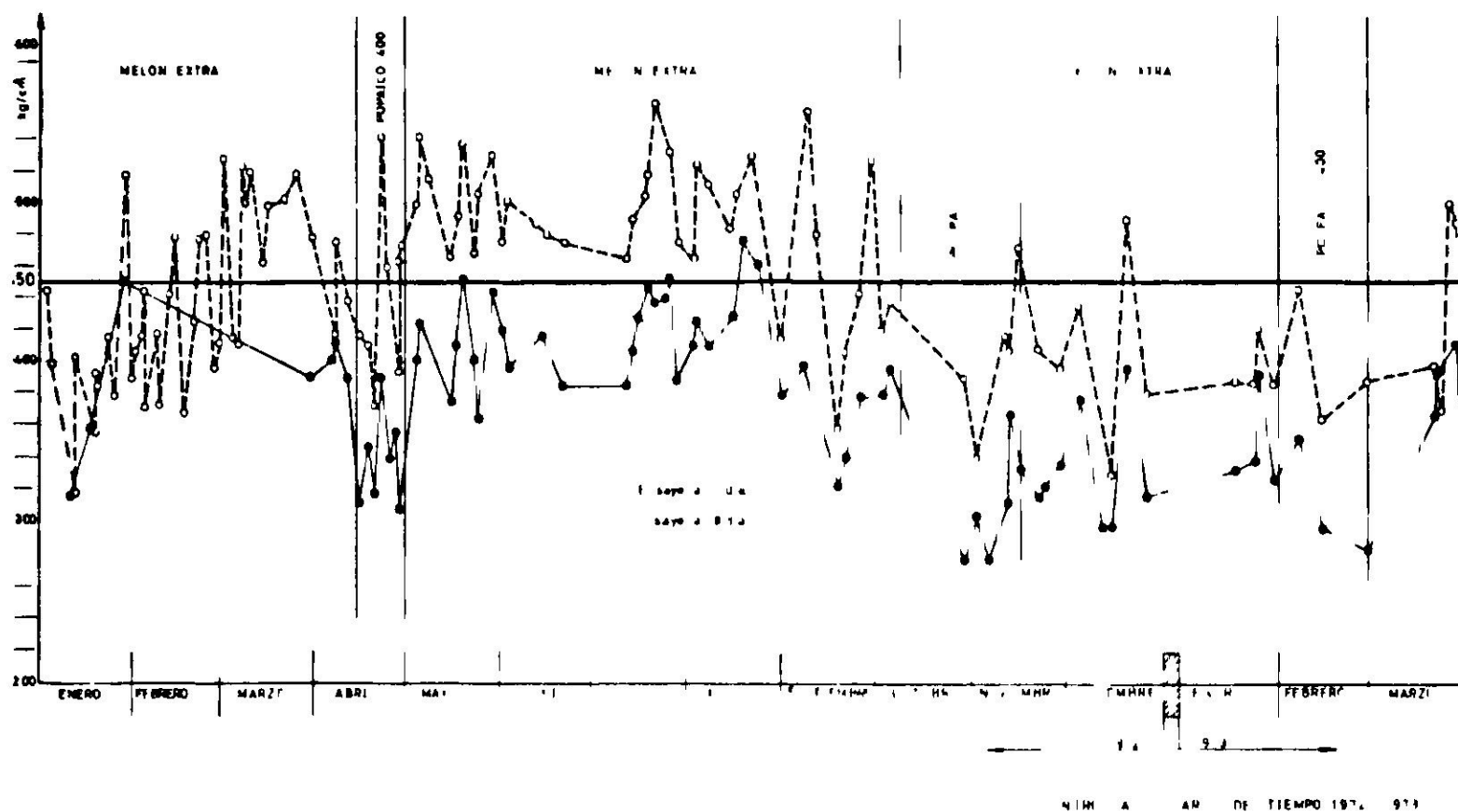


Fig. 1. Resistencias de las muestras de control tomadas entre septiembre de 1972 y marzo 1973.

que en varios períodos ellas fueron más bajas que las especificadas. En especial, en el intervalo de 7 meses entre septiembre de 1972 y marzo de 1973 las resistencias fueron sistemáticamente bajas. Recién en marzo se detectó el incumplimiento y entonces se adoptaron medidas para mejorar las resistencias, lo cual se logró con relativa facilidad. En cambio se presentó el problema de decidir qué se iba a hacer con las piezas fabricadas en ese período, más o menos 250, las muestras de cuyo hormigón tenían resistencia inferior a la especificada a los 28 días de edad.

Se discutió el problema en reuniones en que participaron representantes del propietario de la obra, de los constructores, de la oficina de cálculo y de IDIEM. Se estableció un procedimiento operatorio que consistió en tomar testigos de las piezas a las cuales correspondían las muestras de resistencias bajas y medir su resistencia actual, y hacer en esas mismas piezas ensayos de rebote con martillo Schmidt y medir la velocidad de transmisión de ondas, para detectar posibles relaciones entre éstos y las resistencias.

Por otra parte se decidió hacer una verificación experimental en laboratorio de las resistencias que se podían alcanzar con la dosificación empleada en la obra. Los resultados de estas experiencias aparecen en la Fig. 2 y muestran que se alcanza la resistencia media de  $495 \text{ kgf/cm}^2$  a 28 días en hormigones compactados por vibración; este valor es levemente inferior al necesario para asegurar en obra una mínima de  $450 \text{ kgf/cm}^2$  con fracción defectuosa de 20%. Por ello se produjeron resistencias bajas con relativa frecuencia. La resistencia que se obtiene a 60 días es de  $520 \text{ kgf/cm}^2$  y después sube muy poco.

En lo que se refiere a los testigos, hay diversas opiniones respecto a la relación

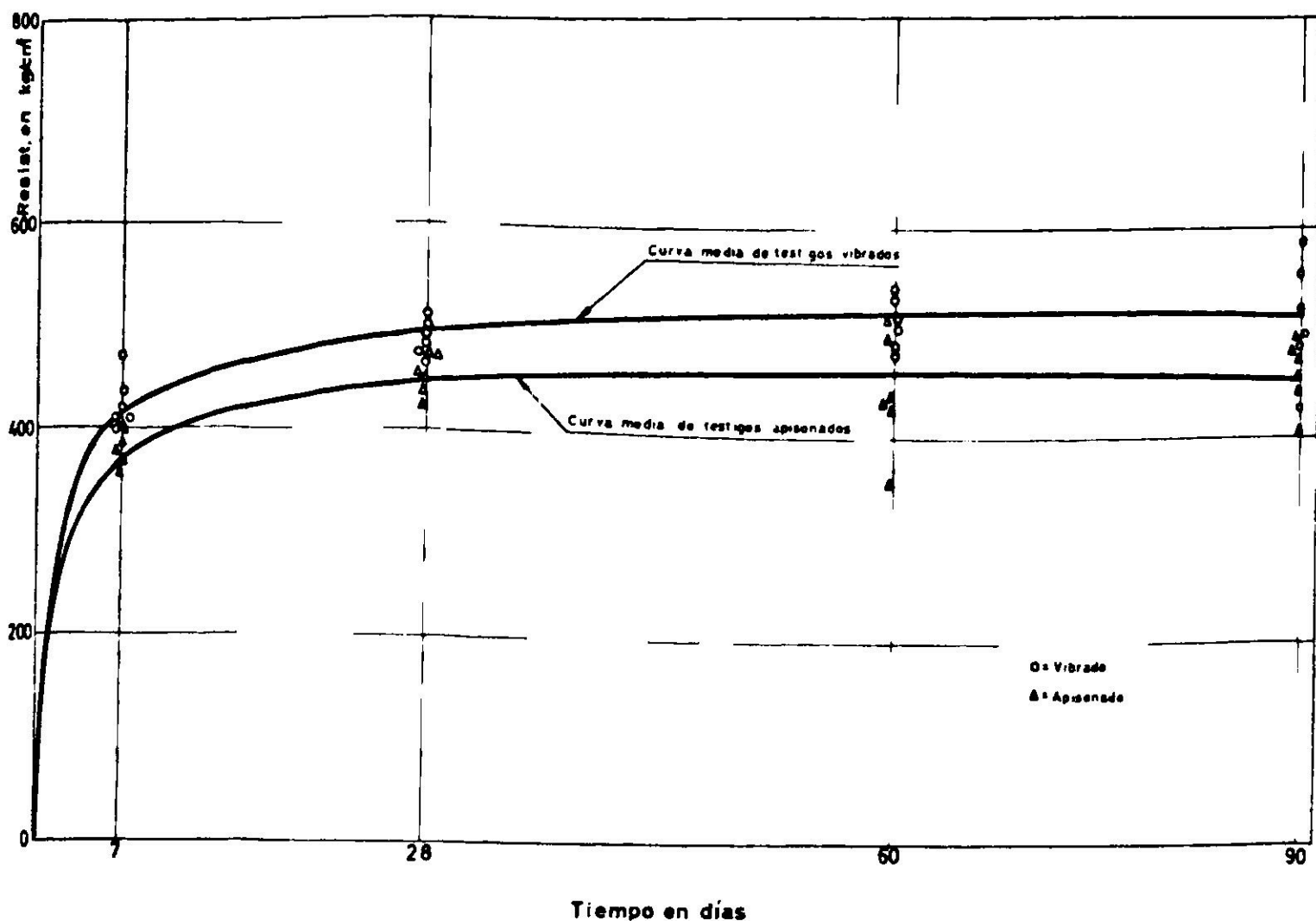


Fig. 2. Resistencias a la compresión de los hormigones preparados en laboratorio.

entre las resistencias que se obtienen con ellos y con muestras tomadas del mismo hormigón fresco, ensayados ambos a la misma edad: algunas, en el sentido de que los testigos dan menos resistencia que las muestras y otras, que manifiestan que no hay diferencias entre ambas. Después de analizar y discutir las diferentes ideas, se decidió aceptar como buenos aquellos testigos que tuvieran 90% o más de la resistencia especificada; es éste un criterio bastante razonable, puesto que la aceptación o rechazo se hace depender del conocimiento de la resistencia real que tiene el hormigón de la obra a la fecha de la recepción, de manera que cabe algún margen de disminución con relación al hormigón procedente de muestras, que puede, este último, ser diferente al que en definitiva se coloca en la estructura.

Los resultados obtenidos en los testigos, los correspondientes de las muestras a 28 días, los valores de impacto con martillo Schmidt y los de velocidad de onda, aparecen en la Fig. 3. Allí se ve que de 24 testigos provenientes de sendas piezas, 22 quedaron por sobre la resistencia elegida como aceptable, es decir, 405 kg/cm<sup>2</sup>. Todas esas piezas fueron, por supuesto, automáticamente aceptadas.

También se ve en ese mismo gráfico que las resistencias de los testigos y la de los cubos se relacionan muy bien entre sí, lo que es índice de un buen muestreo. Aparece además una correspondencia de carácter general bastante clara entre las resistencias de los hormigones y el índice de rebote con martillo Schmidt. Tal correspondencia es sin perjuicio de que el valor del impacto aumenta sistemáticamente con la edad, independientemente de la resistencia, lo cual también es notorio en la Fig. 3. Las velocidades de transmisión de onda no muestran ninguna rela-

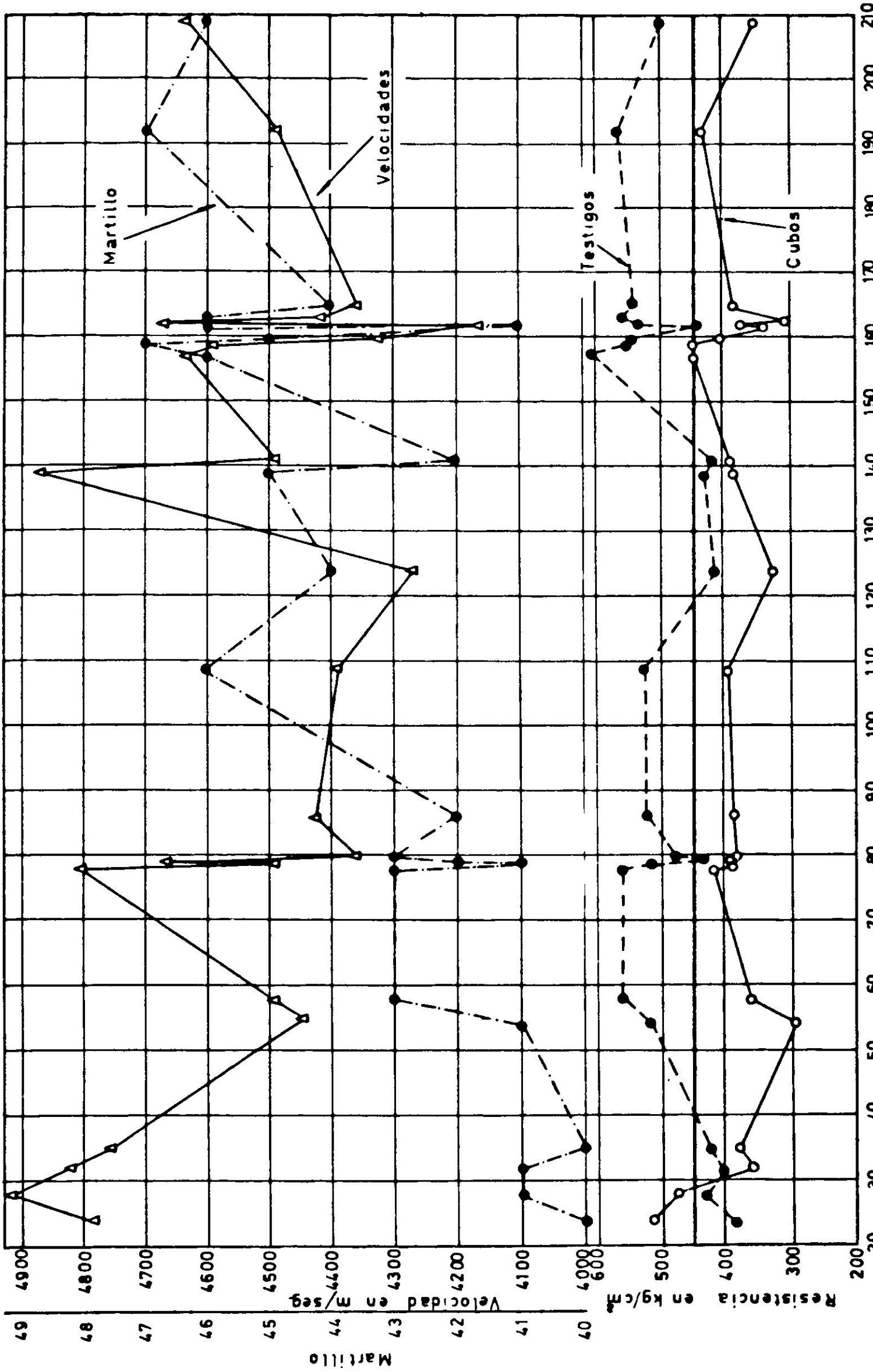


Fig. 3. Resultados de resistencias de testigos y de cubos y valores de impactos y de velocidades de onda.

ción con las resistencias.

Quedaba todavía abierto el problema de las otras piezas que se fabricaron en ese período y de las cuales no se tomaron muestras directas.

Desde un punto de vista estadístico estricto, una muestra proporciona información sobre la calidad del lote muestreado y no de una unidad de él, de modo que, en este caso, todas las piezas compañeras de una misma línea de hormigonado debieron haber quedado calificadas por el testigo extraído. Sin embargo, para mayor seguridad, se estimó necesario allegar datos complementarios de ellas.

Aprovechando la correlación bastante buena entre el impacto con martillo Schmidt y la resistencia de los testigos, se decidió hacer determinaciones con aquél en grupos de piezas y se fijó previamente un valor límite, variable con la edad, que determinaba la aceptación inmediata para las piezas que lo superaban y para las que no lo alcanzaban imponía extracción de testigos. En total se hizo esta determinación en 173 piezas y a 16 de ellas se les extrajo testigo.

El resultado final fue que se rechazaron dos piezas del total y a otras dos se les modificó las condiciones de trabajo. Todas las demás fueron aceptadas.

No hay dudas de que la solución adoptada tuvo como inspiración llegar al convencimiento de que la seguridad de la obra no estaba comprometida y dentro de esa meta se resolvió plenamente el aspecto de ingeniería del problema.

Como último comentario hay que hacer notar que la información obtenida del control de esta obra fue muy mal aprovechada, ya que la reacción frente a los resultados bajos fue tardía. Es de mucha importancia que las informaciones que se obtienen en el control de una obra surtan efecto inmediatamente. Viene al caso citar al presidente del American Concrete Institute quien en un número reciente de la revista de esa institución (vol. 70, n° 5) califica como un absurdo de la tecnología del hormigón la demora con que se conocen los resultados de los controles. Refiriéndose al caso del Hotel Hilton de St. Petersburg, Florida, cuyos muros interiores y exteriores estuvieron hormigonados en 8 días, dice: "El primer resultado a 7 días llegó justo cuando los muros estaban por completarse. Pero lo que es más serio, el informe a 28 días, que es el que cuenta, llegó 3 semana después. Durante 3 semanas, con los muros colocados y las terminaciones en trabajo, el proveedor del hormigón no sabía si se lo iban a pagar y el calculista no sabía si la estructura construída era la que él había proyectado. En los 3 años que siguieron, ASTM ha adoptado un método acelerado para obtener la resistencia a 24 horas\*, pero hasta ahora no se ve ninguna tendencia clara en ACI para acoger este ensayo como aceptación del hormigón".

Si es absurdo que no se adopten métodos para obtener la información al filo del avance de la producción, cuanto más absurdo es que, obtenida la información, se la tome en cuenta varios meses después.

---

\*Un método acelerado de ensayo se describe en la Revista del IDIEM vol. 11, n° 2.