



Predicción de la Resistencia a la Compresión y Determinación de Propiedades Estructurales a partir de Ensayos no Destructivos.

Ricardo A. Casali⁽¹⁾, Maria A. Caravaca⁽²⁾,
Carolina Acevedo⁽²⁾, Julio C. Miño⁽²⁾, Marcela Bizzotto⁽²⁾, Roberto Torra⁽²⁾

¹ *Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura -UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE- Av. Libertad- 5600 Corrientes, Argentina*

² *Facultad de Ingeniería -UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE- Av. Las Heras 727- 3500 Resistencia, Argentina*

Resumen

En este trabajo se muestran las ventajas de la utilización del método de Espectroscopia de Resonancias Acústicas (RAS) para determinar con precisión y eficiencia los módulos de elasticidad, de corte y el coeficiente de Poisson en morteros y hormigones. A diferencia de las técnicas extensiométricas aplicando la norma *ASTM C469*, se halla que RAS distingue claramente la evolución del módulo de elasticidad con la edad, según la relación agua/cemento y el tipo de cemento empleado. Asimismo se halla que la variación del módulo de elasticidad de los materiales, controlada mediante la velocidad de propagación de los pulsos ultrasónicos, tampoco alcanza la precisión de RAS.

A partir de una precisa medición de módulo de elasticidad se predice la resistencia a la compresión utilizando relaciones empíricas publicadas en distintos reglamentos. Basado en los resultados obtenidos, el mejor estimador para la resistencia a la compresión en morteros y hormigones con piedra basáltica resultó ser el del Reglamento Europeo incluido en el *CEB 90*.

Se sugiere que esta técnica puede contribuir, dentro del nuevo criterio de durabilidad de la ingeniería moderna, al riguroso control de la calidad en los materiales que se emplean en obras.

INTRODUCCIÓN

El Módulo de Elasticidad es importante desde el punto de vista del diseño en hormigones, puesto que controla el comportamiento del mismo, como también lo hace la resistencia a la compresión, particularmente en elementos estructurales sujetos a flexión

Una buena implementación del ensayo no destructivo que se propone en este trabajo, ofrece ventajas adicionales porque se adapta a la probeta estándar de 15 por 30 cm, puede realizarse en cualquier momento de la obra o producción en repetidas ocasiones con rapidez. Un material defectuoso puede ser detectado precozmente antes de los 7 días y

ante la duda permite que se compare el resultado con otros ensayos. El test temprano (aproximadamente a la edad de 2 días), rápido y preciso de la evolución de propiedades estructurales como el Módulo de Elasticidad (E), Corte y Coeficiente de Poisson, desde la temprana edad de 2 días permiten inspeccionar el material desde que ingresa a la obra una vez terminada y durante toda su vida útil, contribuyendo a un riguroso control de calidad de los materiales que se emplean dentro del nuevo criterio de la ingeniería moderna para asegurar la durabilidad del hormigón.

En el caso de ser requerido un conocimiento mas profundo de árido grueso, los ensayos acústicos son imprescindibles; puesto que con ellos se caracterizan y ponen en manifiesto discontinuidades en los materiales, pudiendo quedar determinada su naturaleza con ayuda de un análisis geológico de tipo megascópico y petrográfico.

En nuestro caso se analizaron rocas basáltica, del grupo Serra Geral (cretacico inferior) de yacimientos alumbrados que son empleados por la planta elaboradora.

Los principales yacimientos o afloramientos en explotación de estas capas de rocas basálticas presentan arquitectura regional tabular horizontal a sub-horizontal. En algunos casos puntuales y/o locales, pero no regionales, las condiciones estructurales pueden variar ligeramente como en la meseta central de Mercedes y Curuzú Cuatiá donde algunas estructuras de capas de basaltos aparecen inclinadas con una disposición de tipo cómica (Popolizio 1972).

En el ámbito de los yacimientos de basaltos alumbrados en la Región NEA pueden citarse, a manera de ejemplos, el yacimiento de Jofré (Mercedes, Corrientes) y el estudiado en nuestro caso, denominado Cementera El Alto (Ituzaingó), sito a pocos kilómetros de la represa de Yacyretá y próximo al límite con la Provincia de Misiones (27° 25' 04'' - 56° 02' 09'').

Los áridos obtenidos a partir de la explotación de estas capas basálticas fueron empleados en la construcción de la represa Yacyretá y del puente interprovincial Gral. Manuel Belgrano, ambas obras de ingeniería civil construidas sobre el valle fluvial del río Paraná. Este último une las ciudades de Corrientes y Resistencia.

La explotación tradicional de estas rocas se lleva a cabo por medio de “rajos” a cielo abierto, previo destape y limpieza de las capas superficiales de suelos edafizados y rocas regolitizadas, los cuales pueden variar en espesor de uno a tres metros (Torra, 1997).

La roca basáltica así expuesta luego es perforada con barrenos especiales y volada de manera tal de obtener desprendimientos de bloques de 0,25 a 1,0 m. en el frente de avance. Los bloques de 1,0 m. o mayores son generalmente reducidos con “tiros” controlados pequeños y acciones manuales de destrucción. Posteriormente estos bloques son cargados y transportados a sistemas de triturado y molienda para así generar diferentes tamaños de “áridos”, extrayéndose para nuestro estudio trozos de 20 por 30 cm de aquellos desprendimientos que muestran sus bondades con ensayos los ángeles: Se estudia a modo de comparación las propiedades elásticas de trozos provenientes de capas que han sido desestimadas por los ensayos de desgaste.

Por otra parte, en el caso de hormigones colapsados, las técnicas aquí empleadas permiten determinar las propiedades estructurales a la fecha de extracción de testigos,

valores que al extrapolarse, pueden ser comparados con los valores presentados en cálculos del proyecto original, a modo de peritaje.

Finalmente, se conoce que las grandes obras de ingeniería, que han sido desarrolladas en los años 70, tienen una edad avanzada en cuanto a la vida útil en servicio. En la actualidad empiezan a imponerse controles más severos para conocer el grado de envejecimiento natural, por agentes externos, etc. Este control implica, aplicar métodos de la física ya conocidos pero ahora más específicamente para la detección del estado de los materiales y proponer acciones correctoras. Para prevenir el problemas de tratar con grandes volúmenes de desechos de hormigón no reciclable y difícil de manejar por su peso.

Ejemplo de las aplicaciones de END en este trabajo son la Espectroscopia de Resonancias Acústicas y la Propagación de Pulsos Ultrasónicos. Estas se aplican al

Control de calidad de morteros y hormigones provistos por plantas elaboradoras.

Control de las propiedades estructurales de rocas basálticas como un complemento al análisis megascópico y petrográfico.

Control de calidad de hormigones con agregados como polipropileno multilaminado u otros.

Control de testigos de obras.

MATERIALES Y MÉTODOS

Técnicas

Espectroscopia de Resonancias Acústica (RAS)

Constituye un ensayo no destructivo y se aplica en morteros y hormigones para reconocer velocidades de propagación del sonido en los modos longitudinales y transversales. Esta técnica consiste, a grandes rasgos, en medir la velocidad de propagación del sonido en un sólido elástico (velocidad longitudinal para el Modulo Elástico y velocidad transversal para el modulo de Corte), en forma indirecta y con la aplicación de la teoría de propagación de ondas en medios materiales, obtener el Módulo de Young o de Elasticidad (E); el de Corte (G) y el Coeficiente de Poisson. Esta detección también es una condición previa al monitoreo de las propiedades de los hormigones si se emplea otra técnica la de transmisión de pulso ultrasónicos.

Una vez conocidas las velocidades longitudinales (v_L) y transversales (v_T) se puede determinar las densidades del material en forma indirecta y conocida esta hallar:

$$E = v_L^2 \cdot \rho \cdot \frac{(1 + \sigma) \cdot (1 - 2\sigma)}{(1 - \sigma)}$$

$$G = v_T^2 \cdot \rho$$

$$\sigma = \frac{1 - 2 \cdot (v_T/v_L)^2}{2 - 2 \cdot (v_T/v_L)^2}$$



Pulsos ultrasónicos

Es una técnica donde se mide los tiempos de retardo en la propagación de pulsos a través de un espécimen de longitud finita. Conocida la longitud recorrida y el tiempo empleado se puede hallar con precisión la velocidad de propagación en el modo longitudinal. En este trabajo los tiempos de retardo fueron determinados con un equipo marca PUNDIT, producido por CNS Farnell y provisto por el Dpto. de Estabilidad. Se utilizaron traductores de 54 kHz. Se aplicaron trenes de ondas (pulsos) de 500 Voltios con anchos de pulso menores a 1 microsegundos, con un receptor de una sensibilidad de 250 μ V y una impedancia de 500 k Ω . Los tiempos fueron medidos (del orden de 70 microsegundos) aplicando emisor y detector en los extremos de las barras de caras paralelas, previa calibración con el patrón provisto con el equipo.

RESULTADOS

Morteros

Para esta primera etapa del trabajo se elaboraron morteros de cemento Portland Normal CP 40 con arena silíceo natural del Río Paraná ($M_f = 2$) y relaciones agua/cemento variables ($a/c = 0.35 - 0.38 - 0.40$). Por cada tipo de mortero se moldearon tres probetas prismáticas de sección cuadrada (25 mm x 25 mm x 285 mm) para las determinaciones por resonancia y cuatro probetas cilíndricas (100 mm de diámetro y 200 mm de altura) para los ensayos mecánicos a distintas edades. Estas muestras fueron curadas por inmersión en agua con cal, tal como se indica en la Norma IRAM 1534.

La Fig 1 muestra la variación del modulo de elasticidad en función de la edad y para distintos morteros según la relación agua/cemento. Se puede observar una clara distinción entre las muestras. En la Fig 2 esta representado el Modulo de Elasticidad en función de la edad para dos tipos de cementos y determinados con la técnica de resonancia acústica. Se representan determinaciones sobre tres muestras de cada uno de los pastones correspondientes a los cementos tipo 1 y tipo 2 con una relación agua cemento de 0,40. Se puede notar que las muestras correspondientes al cemento tipo 1 tiene muy poca dispersión lo que asegura una homogeneidad en la distribución de los componentes. El cemento tipo 2 contiene filler calcáreo y presenta una ligera dispersión en las determinaciones si se compara con el tipo 1.

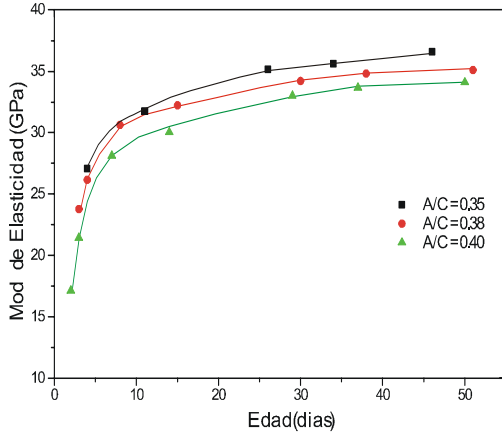


Fig. 1: Modulo de Elasticidad en función de la edad, medidos a partir de la técnica de resonancia acústica.

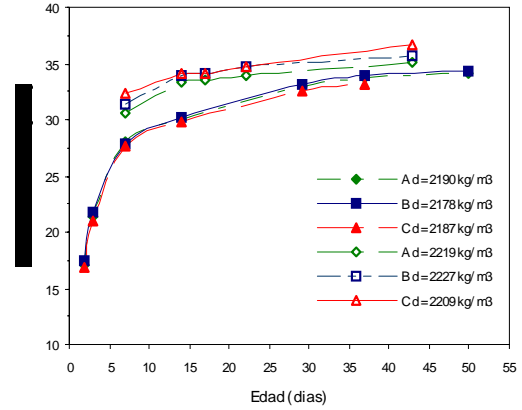


Fig. 2: Modulo de Elasticidad vs edad, medidos a partir de la técnica de resonancia acústica, para tres muestras de un mismo pastón con una relación agua cemento de 0,40 y para dos tipos de cementos 1 y 2

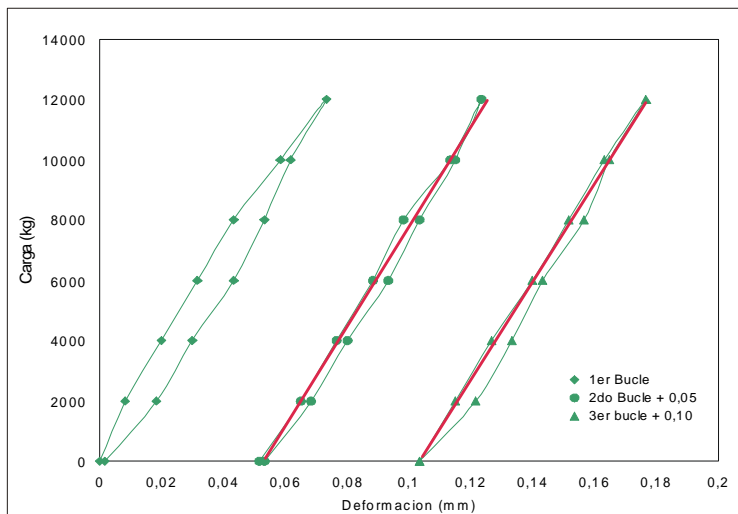


Fig. 3: Curvas carga - deformación donde el Módulo de Elasticidad esta dado por el promedio de las ramas ascendentes del segundo y tercer ciclo de carga

En la Fig. 3 se muestran curvas carga – deformación. Los desplazamientos en el eje de las deformaciones son solo para una mejor visualización de las curvas y no deben interpretarse como si fuesen deformaciones residuales. El módulo de elasticidad es determinado promediando las pendientes de las ramas ascendentes del segundo y tercer ciclo de carga aplicando la norma ASTM C 469.

Tabla 1: Módulo de elasticidad determinado por distintas técnicas para muestras de cemento tipo 2 con a/c = 0,40.-

Edad (días)	Módulo de elasticidad (GPa)	
	ASTM C 469	Resonancia
7	29,92	31,42
14	31,06	34,06
17	29,26	33,94
22		34,72
30	30,13	
42	28,46	35,80
49	29,70	

Tabla 2: Características distintivas del ensayo aplicando resonancias acústicas comparadas con las respectivas de los ensayos extensiométricas.

	RAS	Técnica Extensiométrico	
Geometría de la probeta	Definida	Definida	
Tiempo de Ensayo	1 minuto	15 a 20 minutos	
Precisión	0,1 – 3%	6 – 30 %	
Relación Agua/Cemento	Distingue variaciones	No Distingue variaciones	
No de muestras ¹	3	> 10	
Primera medida después del fraguado	Mortero	1 hora	7 días
	Hormigón	2 días	7 días

Tabla 3: Comparación entre los valores experimentales y teóricos de la resistencia a la compresión.

Características de la Probetas ⁰				E ¹	σ _c			
Probeta a/c nro	Edad Días	A/C	GPa		Teórica ²		Experimental ³	
				MPa	Kg/cm ²	MPa	Kg/cm ²	
0,38	1	11	0,38	30,63	20,73	211,51	22,02	224,67
0,38	1	29	0,38	34,22	32,07	327,26	40,24	410,61
0,40	2	10	0,40	30,05	19,12	195,14	19,56	199,55
0,40	2	29	0,40	32,94	27,74	283,07	32,95	336,27
0,35	4	34	0,35	35,62	37,19	379,45	30,25	308,66
0,35	4	48	0,35	36,59	41,00	418,36	44,99	459,13
0,40	2	7	0,40	31,42	23,02	234,93	30,06	306,75
0,40	2	14	0,40	34,06	31,50	321,46	32,77	334,38
0,40	2	17	0,40	33,94	31,10	317,31	39,32	401,25
0,40	2	42	0,40	35,8	37,88	386,56	38,19	389,68

⁰ Probetas de cemento con filler

¹ Donde el valor de el módulo de elasticidad E , es el obtenido por Resonancia Acústica (RAS)

² Los valores de σ_c son obtenidos en función a la siguiente ecuación propuesta por el CEB 90

$$E = 10 * (\sigma_c + 8)^{1/3} \Rightarrow \sigma_c = (Ec/10)^3 - 8 \quad \text{donde E esta en GPa y } \sigma_c \text{ en MPa}$$

³ Obtenido a partir de las carga de rotura del ensayo Mecánico de Compresión (sin estadística) $\sigma_c = \frac{P_{rot}}{\Omega_{prob}}$

Árido

Descripción megascópica

Para la realización del estudio se coleccionaron “2” muestras, una de aspecto megascópico fresco sin necesidad de realizar particiones y una segunda muestra de otra capa superior con cierto grado de alteración epigenética manchada por óxidos de hierro y arcillas, megascópicamente reconocible en la cantera “Cementera El Alto”.

Las muestras de los bloques basálticos muestreados fueron de distintas capas de basaltos y se los denominó Basalto 1 o “**basalto inalterado**” y Basalto o 2 o “**basalto alterado**”.

Basalto 1 (inalterado):

La muestra coleccionada presenta textura superficial plana a levemente irregular, con fractura de característica prismática, compacta, de color gris oscuro y textura mineralógica afanítica. La partición de la roca es columnar pentagonal bien definida. Los planos de fractura están inalterados.

La composición de los minerales petrogenéticos corresponde a la familia de las plagioclasas (andesina-oligoclasa) y piroxenos (diópsido, augita). Como minerales accesorios aparecen olivino y magnetita.

No se aprecia alteración secundaria o epigenética (silicificación, caolinización, propilitización, argilización, carbonatación, oxidación, etc.)

Basalto 2 (alterado):

La textura superficial es irregular, de forma sub-angulosa. Compacta en estado fresco y de color castaño oscuro. En fractura fresca es de color gris oscuro. La textura mineralógica es afanítica.

La composición mineralógica está constituida por plagioclasas (andesina-oligoclasa) y piroxenos (diópsido, augita). Como minerales accesorios aparecen olivino y magnetita. Algunos productos de alteración reconocibles son arcillas y óxidos de hierro (limonita) que manchan la superficie de la muestra con tonalidades castaño medio a castaño oscuro.

Se observa un incipiente a moderado proceso de **alteración propilítica**, el cual se manifiesta principalmente por productos de oxidación y deferrización de los piroxenos con neoformación de óxidos de hierro hidratados de la familia de las limonitas (goethita, hidrogoethita, lepidocroita, estilnopsiderita, entre otros).

La presencia de material arcilloso, escaso a moderado (10 %), **indica** cierto grado de alteración de las **plagioclasas** con probable liberación y formación de compuestos cálcicos solubles y arcillas (probablemente montmorillonitas y caolinitas).

Tabla 4: Valores obtenidos de las propiedades estructurales por propagación de pulsos ultrasónicos y para dos calidades de basaltos. Se comparan con valores publicados.

Muestra	V _L (m/s)	V _T (m/s)	Densidad (Kg/m ³)	E (GPa)	G (GPa)	σ
Basalto 1 (*)	5880	3207	2840	73	28	0.29
	5920	3140	2720	69	26	0.31
Basalto 2	5400	2770	2493	48	18	0.32

(*) A. GALAM (1990)

Basaltos tipo 1 y alterados tipo 2 muestran diferencias sustanciales en sus propiedades elásticas. La diferencia mayor es en el modulo de corte un 30% menor en el basalto 2 (alterado) respecto al basalto 1 (Tabla 4). La diferencia en el modulo elástico es solo de 10 %. Estos resultados muestran que un ensayo de compresión es insuficiente para la caracterización del comportamiento del árido en el hormigón. Ensayos de compresión pueden distinguir la influencia del arido, pero siempre ante sollicitaciones que lo comprimen, pudiendo quedar enmascarada la disminución mas pronunciada del modulo de corte y el coeficiente de Poisson, de incidencia en el creep.

Si se compara los valores aquí obtenidos en el basalto 1 (inalterado) con valores publicados, podemos decir que en este yacimiento existe una capa que presenta disyunción columnar que en fractura fresca no muestra signos de alteración megascópica y que posee propiedades estructurales tan buenas como las publicadas en literatura especializada.

Hormigones

En las muestras utilizadas se emplearon los siguientes materiales: cemento Pórtland con filler calcáreo con los agregados que se detallan en la Tabla 5.

PRODUCTO	Agua (m ³)	Cemento (Tn)	Arena (Tn)	Piedra 2 6-19 (Tn)	ADT WRDA-D17 (Kg)
H170-K10-P2	0.177	0.275	0.9520	1.036	0.58
H300-K10-P2	0.177	0.403	0.894	0.985	0.81

- El Modulo de Elasticidad de hormigones con la dosificación indicada., fueron obtenido con la técnica de pulsos ultrasónicos asistida por resonancia acústicas Normas IRAM 1683 y 1693.

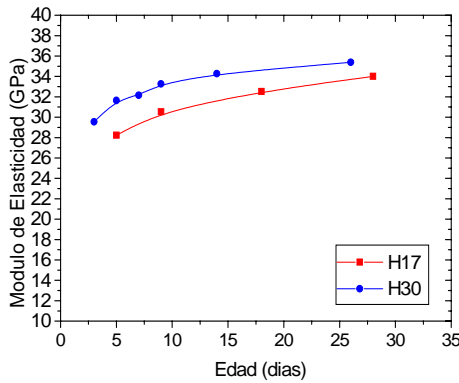


Fig. 4: Dependencia del Módulo de Elasticidad con la edad en hormigones con agregados de piedra basáltica.

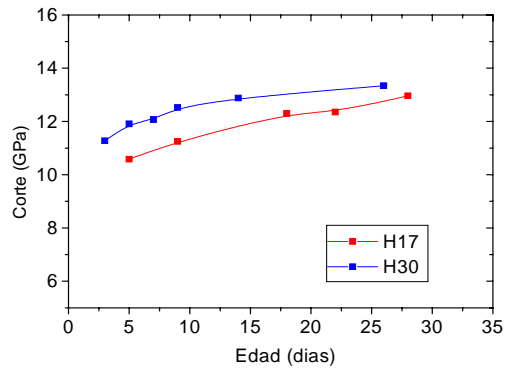


Fig. 5: Módulo de Corte

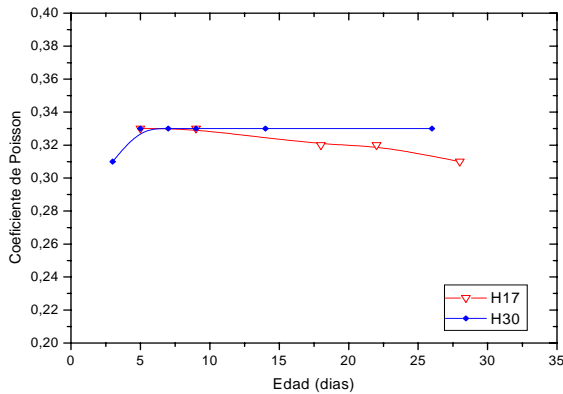


Fig.6: Variación del Coeficiente de Poisson con la edad.

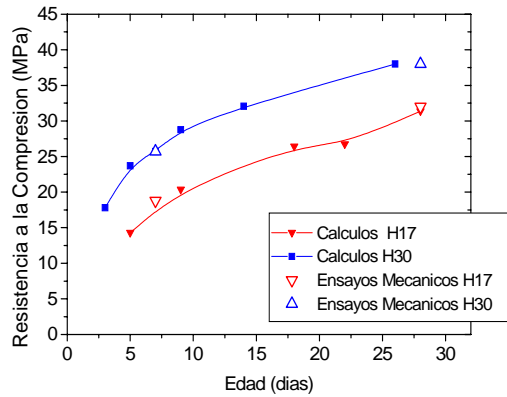


Fig.7- Variación de la Resistencia a la Compresión con la edad.

Es interesante notar la diferencia en el comportamiento del coeficiente de Poisson en el caso del H30 (Fig. 6). Este permanece constante con la edad en su máximo valor.

La resistencia a la compresión fue estimada a partir del modulo de elasticidad (Fig. 5). obtenido con la técnica de pulso ultrasónicos, asistida por resonancia acústicas como se hiciera en el caso de morteros La variación de la resistencia estimada con la edad se muestra en la Fig 7. En ella se incluyen los valores experimentales. En la Tabla 6, se

detallan valores estimados de las resistencias características comparados con valores obtenidos directamente. Basado en los resultados obtenidos, el mejor estimador para la resistencia a la compresión tanto en morteros (Tabla 3) . como en hormigones, resulto ser el del Reglamento Europeo incluido en el *CEB 90* En la Fig. 8, se muestra como un ejemplo en hormigones la forma funcional del estimador usado.

TABLA 6: RESISTENCIA CARACTERISTICA DE HORMIGONES PROVISTA POR PLANTA ELABORADORA								
FORMULA H17-K10-P2								
Ensayo	Edad	Tensión Media "σ _{bm} "	Nº de Ensayos	Coefficiente "k"	Desviación Normal "S"	Tensión Característica Kg/cm ²	Coefficiente de Variación "V"	Grado de Uniformidad del Hormigón
Practico	7	210.43	4	2,13	20,45	166,87	0,10	Excelente
	28	262.67	6	1,94	30,29	203,91	0,12	Excelente
Teórico	7	187.98	4	2,13	24,6	135,58	0,13	Muy Bueno
	28	313.59	6	1,94	51,69	213,31	0,16	Bueno
FORMULA H30-K10-P2								
Practico	7	362,20	2	2,92	24,0	292,12	0,07	Excelente
	28	381,95	2	2,92	19,2	325,89	0,05	Excelente
Teórico	7	257.10	2	2,92	6,91	236,92	0,03	Excelente
	28	380.01	2	2,92	24,0	309,93	0,06	Excelente

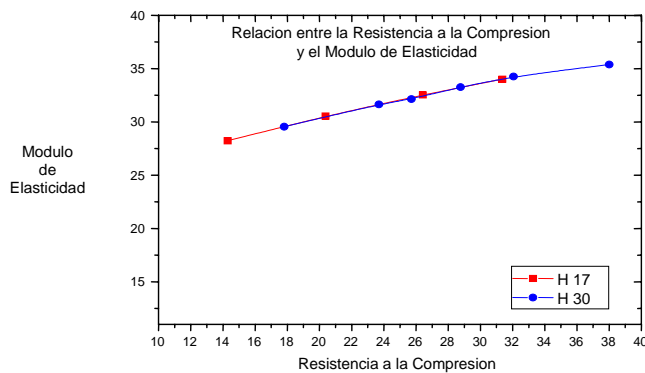


Fig. 8: Dependencia del Módulo de Elasticidad con respecto a la Resistencia predicha según en hormigones con agregados de piedra basáltica.

CONCLUSIONES

La determinación del Módulo de Elasticidad en morteros por resonancias acústicas es de muy buena precisión. Muestras del mismo pastón (Fig.2) revelan que la dispersión en los valores del mismo con la edad, está dentro de una barra de error menor al 3%.

La dependencia encontrada con la técnica Resonancias Acústicas del Módulo de Elasticidad con la edad, resulta ser una función continua y bien definida que podría ser ajustada, dado que se distingue claramente la influencia de la relación de agua/cemento, a una función analítica.(Fig. 1).

Es posible distinguir también diferencias en la dependencia del Modulo de Elasticidad según los tipos de cementos empleados como por ejemplo se presenta, para una misma relación a/c. (Fig. 2). Esta técnica (RAS) permite, determinar las propiedades elásticas desde la temprana edad de 1 día en caso de morteros y de dos días en el caso de hormigones.

Si se comparan las técnicas extensiométricos con RAS, muestran que los resultados obtenidos por esta ultima son equivalentes a ensayos normalizados, de mejor precisión y requieren, al no ser destructivo, un número mínimo de probetas.

Tanto en morteros como en hormigones la evaluación Resistencia a la Compresión por el método de propagación de pulsos ultrasónicos asistidos con Resonancias Acústicas proporciona valores en excelente acuerdo con los ensayos destructivos normalizados.

Las propiedades estructurales de hormigones normales aquí expresados como H17 y 30 provistos por la planta elaboradora siguiendo su evolución con la edad, muestran que son claramente distinguibles con este método y permitirían hacer un ajuste a una forma funcional. Con ello se podría constituir un ábaco de control de calidad para asegurar una mas larga vida en servicio de las construcciones.

Respecto a la determinación de los Módulos de Corte y Coeficientes de Poisson en hormigones, es por primera vez realizada en el ámbito de la UNNE. No se pueden comparar con valores obtenidos sobre los mismos especímenes por ensayos mecánicos normalizados. Se comparan si, con valores publicados para hormigones clasificados según la velocidad de propagación (A. Galan). Nuestros resultados muestran un excelente acuerdo con los mismos.

Sugerimos que estos ensayos pueden servir para que, dentro de los nuevos criterios de durabilidad que se imponen en la ingeniería moderna, se califique los materiales que se emplean en el hormigón con una mayor precisión. También se pueden emplear para predecir la performance que tendrá con el correr del tiempo el material, empleando la función analítica ajustada a la curva de 28 días.

En el caso de hormigones colapsados estos ensayos podría contribuir con información útil para establecer las causas del daño.

Finalmente queda de manifiesto la eficiencia que se alcanza en la determinación de calidades relativas entre distintos tipos de cementos, observando el cambio en las propiedades elásticas con la edad.



AGRADECIMIENTOS

- Al Ing. Nelson Melli de la empresa MELMIX por la provisión de probetas de hormigón normalizadas y de los resultados de ensayos mecánicos realizados en la planta elaboradora.
- A la SECYT UNNE por la ayuda económica para solventar parte de los gastos de estas actividades.
- Al Ing. Mario B. Natalini, director del Instituto de Estabilidad F.I. por la cesión del equipo ultrasónico.

BIBLIOGRAFIA

- <http://www1.unne.edu.ar/cyt/2001/cyt.htm>, EXACTAS (26)]
- A. Galan, *Combined Ultrasound Methods of Concrete Testing*, Elsevier Science Publisher,(1990)
- W. Baalbaki; P.C. Aitcin y Gerard Ballivy. ACI Material Journal – Title no. 89-M56 pag. 517. 1992.
- CEB-FIP Model Code 1990, First Predraft 1988, *Bulletin d'information*, No. 1990(a) and (b), July 1988.
- ACI Committee 363, “State – of – the - Art Report on High – Strength Concrete” ACI Journal, *Proceedings* V.81, No.4, July-Aug. 1984, pp. 364-411.
- Revised Norwegian Standard NS 3473, Proposal 12, 1985.
- NORMA IRAM 1683, Agosto de 1990, CDU690_32:620.179.16 CNA 5616
- NORMA IRAM 1693, Diciembre de 1969, CDU 693.5
- POPOLIZIO, E. 1972. Geomorfología del Relieve de Plataforma de la Provincia de Misiones y zonas aledañas. GAEA. Tomo XV. 103 p. Buenos Aires.
- TORRA, R. 1997. El Universo Geodinámico de la Provincia de Misiones. Informe Final del Proyecto de Investigación PI – 331 (SGCyT-UNNE). Centro de Geociencias Aplicadas. Informe inédito. 56 p.