

Probetas, probetas, probetas..., mejor más pequeñas

Specimens, Specimens, Specimens..., the Smaller the Better

M. I. Guerra-Romero^{1*}, D. González Martínez¹, A. Juan-Valdés¹, R. M. Alonso², D. Rodríguez-Robles¹, J. García-González¹, J. M^a. Morán-del-Pozo¹

Resumen

En muchos países se utilizan las probetas cilíndricas de 150 mm de diámetro para hacer los ensayos característicos del hormigón tales como el de compresión y el de tracción indirecta. Estas probetas tienen alrededor de 12 kg de masa y de 20 kg si se incluye el molde. Según el INSHT, el manejo de estos pesos asociado a malas posturas, puede dañar la espalda del personal de laboratorio, especialmente si son personas sujetas a medidas especiales de protección. La normativa española permite utilizar probetas de menor tamaño, por ejemplo las de 100 mm de diámetro. Esta probeta, con tan sólo 4 kg de masa, nunca provocaría daños dorsolumbares a los trabajadores.

En este estudio se compararon los resultados del ensayo de tracción indirecta entre probetas de 150 y 100 mm de diámetro. Se encontró que no había diferencias significativas entre las medias obtenidas para cada tipo de probeta. En vista de los resultados, se podrían utilizar las probetas más ligeras en lugar de las de 150 mm, mucho más pesadas. No obstante se encontró que los resultados de las probetas de menor tamaño tienen mayor dispersión.

Palabras clave: ensayo brasileño; efecto tamaño; ensayo de tracción indirecta;

Abstract

In many countries, compression and splitting tensile tests are usually performed using cylindrical specimens of 150 mm in diameter. This kind of specimen has about 12 kg mass or 20 kg if cast is included. The use of such heavy specimens associated with bad postures may hurt the back of laboratory staff, according to INSHT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo), especially if they are people entitled to special protective measures with respect to loads. Spanish standard rules let us use smaller and lighter specimens. For instance, a cylindrical specimen of 100 mm in diameter has just 4 kg mass, which never hurts the back.

In this study, results from splitting tensile test using cylindrical specimens of 150 and 100 mm in diameter were compared. It was found that there were no significant differences between the means obtained for each type of specimen. In view of the results, smaller, lighter specimens could be used rather than large ones. Nonetheless we also found that the results of the smaller specimens showed greater dispersion.

Key Words: *brazilian test; effect of size; indirect tensile test; splitting tensile strength; .*

1. INTRODUCCIÓN

Las probetas cilíndricas de 150/300 mm son las que habitualmente se utilizan en España para caracterizar la resistencia del hormigón a compresión (UNE-EN 12390-3:2003). Existen otras probetas cilíndricas normalizadas de menor tamaño, por ejemplo las de 100 mm de diámetro o las de 75 mm (100/200 y 75/150 mm), que aún siendo más manejables, no son de uso habitual en los ensayos de compresión. Parece que hoy día hay numerosas razones para que las normas propongan el uso de probetas de menor tamaño y peso, por ejemplo las de 100/200 mm.

Son numerosos los artículos científicos publicados que, no solo muestran las ventajas de utilizar probetas de pequeño tamaño (Patnaik, Patnaikuni 2002), sino que además los autores analizan las diferencias encontradas en la resistencia a compresión, asociadas al tamaño de las probetas. Para compensar estas diferencias, algunos autores sugieren el uso de coeficientes que

relacionan los resultados entre probetas de distinto tamaño (Patnaik, Patnaikuni 2002). Yazici & Sezer (2007) proponen complejas funciones de regresión que relacionan los resultados experimentales con el tamaño de las probetas. En la mayoría de los artículos publicados se toma como referencia una probeta estándar de unos 150 mm de diámetro. En general, los resultados muestran que las diferencias encontradas en el ensayo de compresión entre usar una probeta estándar y otras de menor tamaño, se mantienen dentro del 5 %. A la vista de esto, cabe pensar que también se podrían utilizar las probetas de menor tamaño para caracterizar la resistencia del hormigón a compresión (Day & Haque 1993; Yazici & Sezer 2007).

De forma análoga, la bibliografía es abundante en artículos muy variados sobre el ensayo brasileño. Este ensayo, también llamado de “tracción indirecta”, es un método para estimar experimentalmente la resistencia a tracción del hormigón y de otros materiales pétreos. Los primeros trabajos experimentales apuntan a que el tamaño y el tipo de probeta pueden influir en los resultados. Bazant *et al.* (1991) y (1994) comprueban, trabajando con probetas cilíndricas, que hay un “efecto tamaño”, es decir, que los resultados obtenidos en los ensayos de un mismo hormigón varían según sea el tamaño de la probeta empleada. Al

* Autor de contacto: miguer@unileon.es

¹ ESTIA. Universidad de León. León, España.

² Instituto de RRNN de la Universidad de León. León, España.

igual que ocurre con el ensayo de compresión, por debajo de 150 mm de diámetro, las probetas dan tensiones tanto más altas, cuanto más pequeña es la probeta. Sin embargo, ocurre lo contrario por encima de 150 mm de diámetro, la resistencia de tracción obtenida en cada ensayo aumenta al aumentar el diámetro de la probeta.

En varios trabajos experimentales con probetas cilíndricas normalizadas (Tang, Shah *et al.* 1995, Rocco, Guinea *et al.* 1999) se observa que además del diámetro puede influir el ancho de la banda de apoyo que se suele colocar bajo el pistón de carga. Carmona (2009) encuentra que con un ancho de banda igual a 1/6 del diámetro de la probeta, desaparece el efecto “ancho de banda”, con lo que los resultados procedentes de un mismo hormigón vuelven a depender solo del ancho de la probeta.

En España, la resistencia a tracción indirecta del hormigón se determina siguiendo la norma EN 12390-6_2001. Esta norma se restringe a probetas cilíndricas –sin especificar el tamaño–. Curiosamente, esta norma considera que el citado “efecto tamaño” en la tracción no es significativo, posiblemente debido a la gran variabilidad de los resultados. Conscientes de esta variabilidad, y dejando vía libre al uso de cualquier tamaño de probeta, la norma establece que en caso de litigio se debe tomar como referencia la probeta cilíndrica de 150 mm de diámetro por 300 mm de longitud.

El ensayo brasileño también ha sido objeto de trabajos virtuales, no experimentales, mediante aplicaciones informáticas basadas en métodos numéricos. Estos trabajos se han enfocado a toda clase de materiales pétreos, incluido el hormigón. Tedesco *et al.* (1994) son de los primeros en modelizar el comportamiento de las probetas de hormigón mediante el método de los elementos finitos (FEM) hasta conseguir resultados parecidos a los experimentales. En este tipo de modelización (Ruiz, Ortiz *et al.* 2000) también se observa un cierto “efecto tamaño”. Otros autores (Brara, Klepaczko, 2006) basan sus modelos en el método de las diferencias discretas, o en el método de elementos discretos (Oñate Ibáñez de Navarra, Zárate *et al.* 2005) y comprueban que hay concordancia entre sus modelos y los resultados experimentales. En general se puede decir que la Mecánica de la Fractura, unida a la simulación mediante estos programas basados en Métodos Numéricos, está permitiendo conocer en profundidad todos los parámetros de los que depende el ensayo brasileño. Conocidos estos parámetros se puede utilizar cualquier tipo de probeta y estimar con suficiente aproximación la resistencia a tracción del hormigón, independientemente de su tamaño.

En los laboratorios donde se hacen numerosos ensayos de hormigón, hay razones “de peso” para sustituir las probetas cilíndricas de 150/300 mm por otras de menor tamaño, por ejemplo por las de 100/200 mm. El peso junto con la forma cilíndrica y resbaladiza, no favorecen su manejabilidad. Las probetas cilíndricas de 150/300 mm tienen

una masa de unos 12 kg, y si se manipulan con el molde pueden llegar a los 20 kg. Las probetas de 100 mm de diámetro tienen una masa de tan solo 4 kg.

Según la “Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la manipulación normal de cargas en posturas de pie” (Arqued Fernández 1998), (*Real Decreto 487/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañen riesgos, en particular dorsolumbares, para los trabajadores.* 1997), una persona normal que tiene que coger del suelo una carga lisa, resbaladiza y colocarla en un plano horizontal, alejándola del tronco, no debería de cargar con más de 10 kg. Si además se tratase de una persona de protección especial –mujeres o personas mayores–, la carga no debiera sobrepasar los 6 kg. En estas condiciones especiales, las probetas cilíndricas de 150 mm de diámetro, con sus 12 kg, podrían causar lesiones dorsolumbares. En cambio las de 100 mm de diámetros son seguras.

Con el fin de ver la posibilidad de utilizar las probetas más ligeras en el ensayo brasileño, se han ensayado dos tipos de hormigón de uso común en España, el H-25 y H-30, utilizando probetas cilíndricas de 150 y 100 mm de diámetro. A partir de los resultados obtenidos se ha intentado cuantificar el “efecto tamaño” entre estos dos tipos de probetas. Así pues, el objetivo de este trabajo es el conocer la relación existente entre los resultados obtenidos en el ensayo brasileño utilizando probetas cilíndricas de 150 y 100 mm de diámetro.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Material

En la elaboración de todos los hormigones se ha utilizado cemento Portland (CEM I 42.5 R), sin ningún tipo de adición y una densidad de 3.12 kg/dm³. Se han utilizado áridos rodados de río, de naturaleza silíceo. El árido fino está formado por la arena de tamaño máximo 4 mm, un módulo granulométrico de 2.36 y una densidad de 2.80 kg/dm³. El árido grueso lo constituyen las gravas, de tamaño máximo 12.5 mm, inferior a un tercio del diámetro de las probetas; el tamaño máximo del árido es una de las limitaciones que tiene el uso de probetas pequeñas. El módulo granulométrico es 6.20 y su densidad 2.56 kg/dm³. La resistencia a la fragmentación de estas gravas, obtenida en el ensayo de Los Ángeles, es de 33 y el índice de lajas de 4. En los ensayos granulométricos se ha utilizado la serie de tamices UNE siguiendo la Norma UNE-EN 933-1:1998/A1 (2006). La capacidad de absorción de agua fue de 1.1 % en la arena y de 1.9 % en la grava, determinación efectuada según la norma UNE-EN 1097-6 (2001). En la tabla 1 figura la dosificación de los diferentes hormigones empleados en el ensayo. En todos los casos la consistencia fue blanda.

Tabla 1. Dosificación

Hormigón	Referencia	A/C ratio	Cemento (kg/m ³)	Agua (kg/m ³)	Arena (kg/m ³)	Grava (kg/m ³)
H-25	M1	0.60	361	215	975	882
H-30	M2	0.52	410	215	935	882

Tabla 2. Número y tamaño de las muestras

Muestra	Repeticiones	Nº probetas			Total muestras
		Tracción indirecta		Compresión	
		G 150/300	S 100/200	S 100/200	
M1	3	x3	x4	x2	27
M2	3	x3	x4	x2	27
Total:	6	18	24	12	54

Tabla 3. Resultados estadísticos en función de la dosificación (M1 y M2) del hormigón (probetas cilíndricas 100/200 mm)

Muestra		Densidad (kg/dm ³)	Resistencia a compresión (MPa)
M1	Media	2.36	43.05
	Desviación típica	0.012147	1.13411
	Varianza	0.000	1.286
M2	Media	2.37	49.18
	Desviación típica	0.011798	2.78000
	Varianza	0.000	7.728

Tabla 4. Resultados del ensayo de tracción indirecta (tensiones en MPa)

Muestra	Media	Mediana	Desviación típica	Varianza
Todas	3.70	3.68	0.31353	0.098299
G (grandes)	3.64	3.67	0.2551	0.065076
S (pequeñas)	3.74	3.71	0.34961	0.122225

Se emplearon dos tipos de probetas cilíndricas: 150/300 mm y 100/200 mm (D/h). El curado se llevó a cabo por inmersión en agua durante 28 días a una temperatura de entre 18 y 20 °C. Las probetas fueron rotas en una prensa de 200 toneladas métricas de capacidad, siguiendo la norma UNE-EN 12390-3 y UNE-EN 12390-6:2001/AC (2005). Previamente las que se ensayaron a compresión fueron refrentadas con mortero de azufre.

2.2. Metodología

En este ensayo se han hecho dos dosificaciones diferentes (M1 y M2). De cada dosificación se han hecho 3 amasadas o repeticiones; con el hormigón de cada amasada se elaboraron 3 probetas grandes (G) de 150/300 mm y 4 pequeñas (S) de 100/200 mm, para hacer el ensayo de tracción indirecta. Adicionalmente otras dos probetas pequeñas (S) del mismo hormigón fueron ensayadas a compresión. En total (véase la tabla 2) se ensayaron 54 probetas cilíndricas: 42 a tracción indirecta y 12 a compresión. El hormigón se elaboró en una hormigonera con una capacidad de 200 litros.

Los resultados obtenidos fueron analizados estadísticamente con el programa **R** (Stephens 1976).

3. RESULTADOS

El objetivo del análisis estadístico es el de comprobar si existen diferencias significativas entre las resistencias a tracción de las probetas grandes y pequeñas. En análisis estadístico se llevó a cabo con el programa **R**. En la tabla

4 se muestran los valores medios, medianas y estadísticos de dispersión correspondientes a las probetas grandes, pequeñas y en conjunto. Los datos de la resistencia a tracción vienen dados en megapascuales (MPa).

Según puede verse (tabla 4), la media y la mediana son muy parecidas, lo que hace pensar que se trata de una *distribución normal*. No obstante, se decidió hacer una prueba de normalidad para confirmarlo. El test de normalidad utilizado ha sido el de Anderson-Darling (Anderson, Darling 1952; Stephens 1974; Stephens 1976), con objeto de incidir más sobre los efectos de las colas en el ajuste de la distribución. A diferencia de las probetas pequeñas (figura 2) que apenas muestran colas, el ajuste de datos de las probetas grandes (figura 1) muestra unas colas significativas en sus extremos. En el análisis se acepta la hipótesis nula, a un nivel de confianza del 95 %, de que ambos grupos provengan de una *distribución normal*.

Tabla 5. Prueba de normalidad de Anderson-Darling

Probetas	A	p-value
G (grandes)	0.2702	0.6336
S (pequeñas)	0.3731	0.3904

A: Anderson statistical

En la tabla 6 se muestran los resultados del *F*-test, aceptándose la hipótesis nula de igualdad de varianzas, a un 95 % de confianza, resultado que se utilizará posteriormente en la comparación entre las medias de los grupos. Al ser $p > 0.05$, se puede aceptar que las varianzas de ambos grupos de probetas no presentan diferencias significativas.

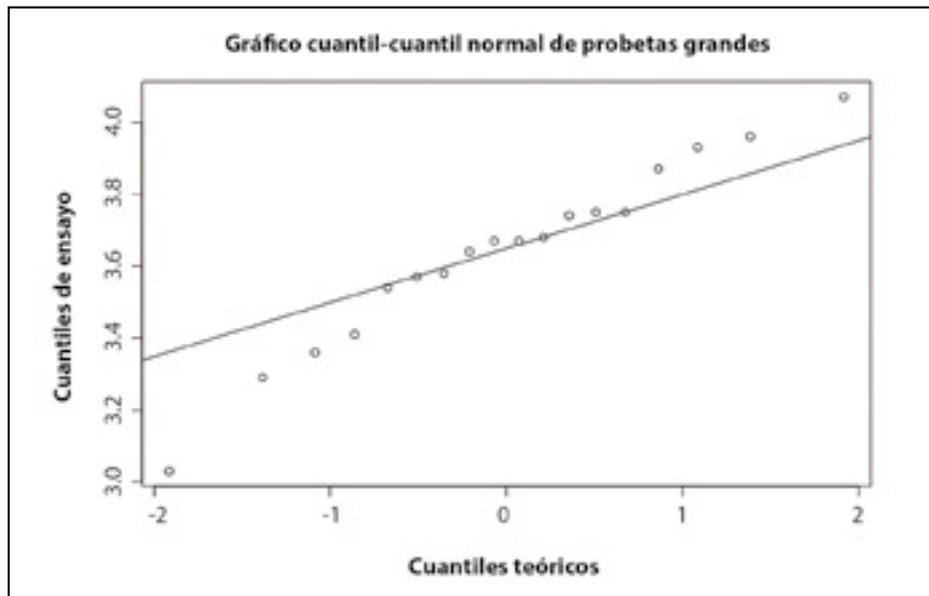


Figura 1. Ajuste de los resultados de probetas grandes (MPa) a la Distribución Normal.

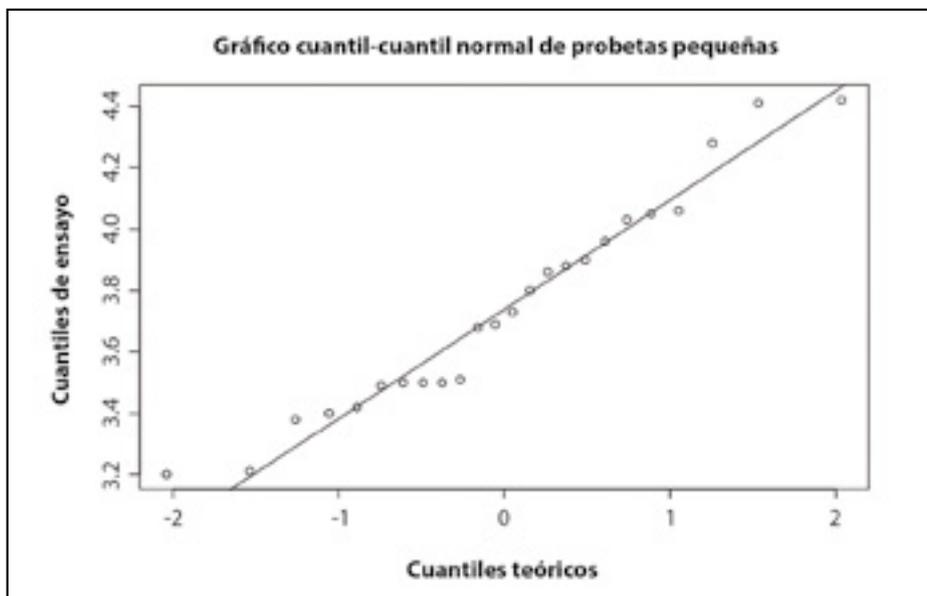


Figura 2. Ajuste de los resultados de probetas pequeñas a la Distribución Normal.

Tabla 6. F-test, de comparación de varianzas

Probetas	gl	F	p-value
G (grandes)	17	0.5324	0.1862
S (pequeñas)	23		

F (Fisher): Fisher statistical

Por último se hace un contraste de igualdad entre las medias, con un nivel de confianza del 95 %, mediante un t-test (tabla 7).

Tabla 7. t-test

Probetas	gl	t	p-value
G (grandes)	40	-1.0732	0.2896
S (pequeñas)			

t of Student

Dado que el p-value es mayor que el nivel de significación, se puede aceptar que la resistencia a tracción media de los dos

tipos de probetas analizados, no presenta diferencias significativas. Por último, la figura 3 muestra mediante un diagrama de cajas, cómo la dispersión de las probetas pequeñas, de 100 mm de diámetro, es mayor que la de las grandes, de 150 mm. Esto hace pensar que cuando se utilicen probetas pequeñas, es recomendable aumentar el número de probetas con las que se haga el ensayo brasileño para acotar así esta dispersión.

4. DISCUSIÓN

En la tabla 4 se observa que los resultados medios de las probetas grandes son ligeramente inferiores a los de las pequeñas, lo que está de acuerdo con lo observado por otros investigadores (Bazant, Kazemi et al. 1991, Bazant, Ozbolt et al. 1994). La relación entre las medias de ambos tipos de probetas (X_{100}/X_{150}) es 1.027, algo inferior al obtenido por otros autores como Carmona (2009). Al ser un valor muy próximo a la unidad, significa que no hay diferencias significativas entre estos dos tipos de probetas (de 150/300 mm y de 100/200 mm), es decir, no hay un “efecto tamaño” en el ensayo brasileño.

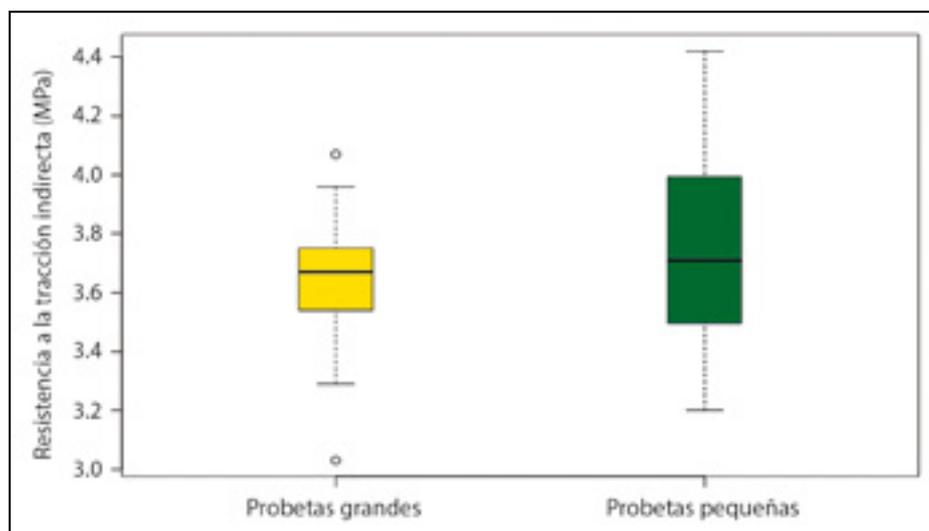


Figura 3. Dispersión de los resultados del ensayo brasileño (MPa).

Según lo anterior, desde el punto de vista estadístico se podrían utilizar indistintamente ambos tipos de probetas, con un nivel de confianza del 95 %, lo que hace innecesario aplicar el ratio de 1.027 para relacionar los resultados de las probetas grandes con las pequeñas, pues en ambos casos se trata de la misma población muestral.

Sin embargo, al observarse una mayor dispersión de los resultados de las probetas pequeñas, parece recomendable aumentar el número de muestras en los controles de calidad normalizados (ensayo brasileño) que se hacen en las obras de hormigón con el fin de acotar esta dispersión.

5. CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos en los ensayos de tracción indirecta (ensayo brasileño), la relación entre las medias obtenidas con probetas pequeñas y grandes (X_{100}/X_{150}) es de 1.027.

Según los resultados del análisis estadístico, las poblaciones de ambos tipos de muestras son normales, y las diferencias encontradas entre ambos “no son significativas”, por lo tanto se podrían utilizar indistintamente probetas de 100 y de 150 mm de diámetro en el ensayo brasileño, con la ventaja de que las pequeñas pesan 4 kg frente a los casi 12 de las grandes.

La dispersión mostrada por las probetas cilíndricas pequeñas, de 100 mm de diámetro, es mayor que la de las probetas de 150 mm.

6. BIBLIOGRAFÍA

Anderson, T. W., y Darling, D. A. (1952). Asymptotic Theory of Certain Goodness of Fit Criteria Based on Stochastic Processes. *Annals of Mathematical Statistics*, 23 (2), pp. 193-212.

Arqued Fernández, J. (1998). *Manipulación manual de cargas: prevención de lesiones dorsolumbares* (1ª ed.). Zaragoza: Departamento de Sanidad, Bienestar Social y Trabajo (Gobierno de Aragón).

Bazant, Z. P., Ozbolt, J., y Eligehausen, R. (1994). Fracture Size Effect - Review of Evidence for Concrete Structures. *Journal of Structural Engineering* (ASCE), 120 (8), pp. 2377-2398.

Bazant, Z. P., Kazemi, M. T., Hasegawa, T., y Mazars J. (1991). Size effect in Brazilian split-cylinder tests: measurement and fracture analysis. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 88 (3), pp. 325-332.

Brara, A., y Klepaczko, J. R. (2006). Experimental characterization of concrete in dynamic tension. *Mechanics of Materials*, 38 (3), pp. 253-267.

Carmona, S. (2009). Efecto del tamaño de la probeta y condiciones de carga en el ensayo de tracción indirecta. *Materiales de construcción*, (294), pp. 7-18.

Day, R. L., y Haque, M. N. (1993). Correlation between Strength of Small and Standard Concrete Cylinders. *ACI Materials Journal*, 90 (5), pp. 452-462.

Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales (1997). Real Decreto 487/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañan riesgos, en particular dorsolumbares, para los trabajadores.

Oñate Ibáñez de Navarra, E., Zárate, F., Rojek, J., Canet, J. M., Recarey Morfa, C. A., Cadoce, G., y Labra, C. A. (2005). Modelación y simulación del ensayo de tracción indirecta o ensayo brasileño, empleando el Método de los Elementos Distintos (MED). *Cemento Hormigón*, (878), pp. 42-61.

Patnaik, A. K., y Patnaikuni, I. (2002). Correlation of strength of 75 mm diameter and 100 mm diameter cylinders for high strength concrete. *Cement and Concrete Research*, 32 (4), pp. 607-613.

Rocco, C., Guinea, G. V., Planas, J., y Elices, M. (1999). Size effect and boundary conditions in the Brazilian test: Experimental verification. *Materials and Structures*, 32 (217), pp. 210-217.

Ruiz, G., Ortiz, M., y Pandolfi, A. (2000). Three-dimensional finite-element simulation of the dynamic Brazilian tests on concrete cylinders. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 48 (7), pp. 963-994.

Stephens, M. (1976). Asymptotic Results for Goodness-Of-Fit Statistics with Unknown Parameters. *Annals of Statistics*, 4 (2), pp. 357-369.

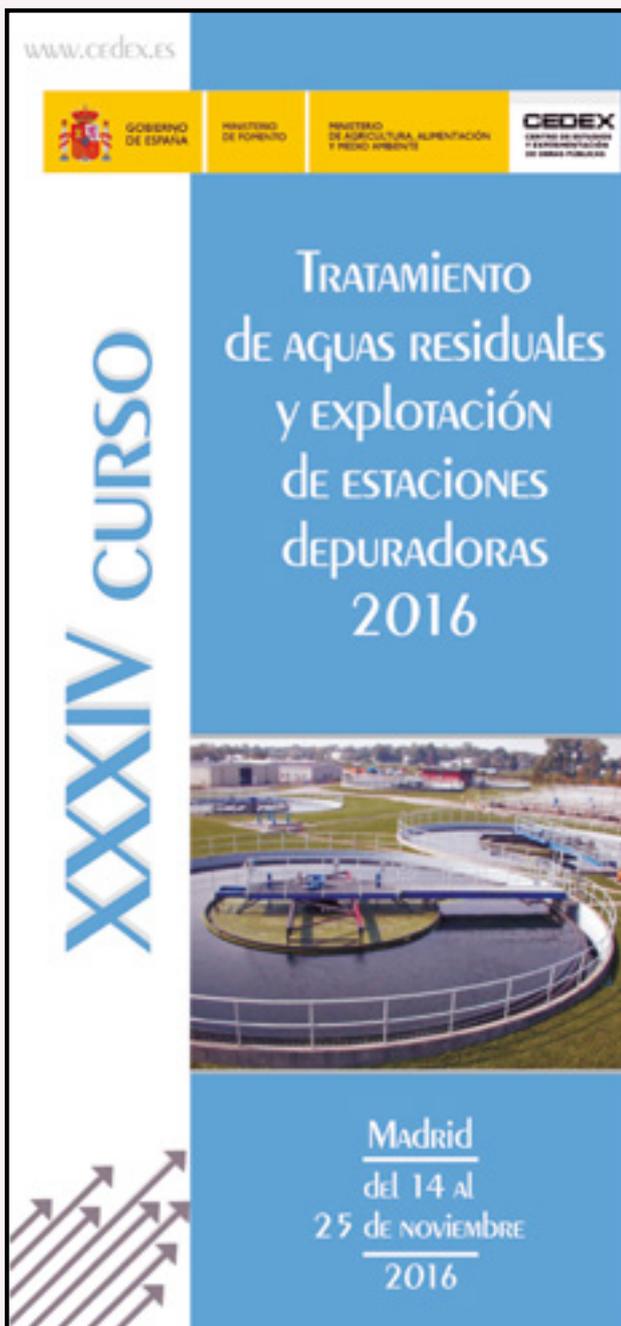
Stephens, M. A. (1974). EDF Statistics for Goodness of Fit and some Comparisons. *Journal of the American Statistical Association*, 69 (347), pp. 730-737.

Tang, T., Shah, S., y Ouyang, C. (1995). Fracture-Mechanics and Size Effect of Concrete in Tension - Closure. *Journal of Structural Engineering* (ASCE), 121 (1), pp. 151-155.

Tedesco, J. W., Hughes, M. L., y Ross, C. A. (1994). Numerical simulation of high strain rate concrete compression tests. *Computers & Structures*, 51 (1), pp. 65-77.

Yazici, S., y Sezer, G. I. (2007). The effect of cylindrical specimen size on the compressive strength of concrete. *Building and Environment*, 42 (6), pp. 2417-2420.

XXXIV CURSO TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y EXPLOTACIÓN DE ESTACIONES DEPURADORAS 2016



XXXIV CURSO TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y EXPLOTACIÓN DE ESTACIONES DEPURADORAS 2016

La recogida y tratamiento de las aguas residuales es una necesidad ineludible para la conservación y uso racional de los recursos hídricos. En España, la ejecución del Plan Nacional de Saneamiento y Depuración (1995-2005), concebido para dar cumplimiento la Directiva 91/271/CEE, nos ha dotado de un importante número de nuevas instalaciones de depuración, a la vez que se mejoraban, ampliaban y adaptaban muchas de las instalaciones existentes.

La implantación de la Directiva Marco del Agua ha establecido, a través de los planes de cuenca, unos objetivos ambientales muy exigentes y el Plan Nacional de Calidad de las Aguas, Saneamiento y Depuración (2007-2015), así como una serie de planes autonómicos, se pusieron en marcha para contribuir a alcanzar esos objetivos y finalizar la implantación de la Directiva 91/271/CEE. Si bien la crisis de los últimos años ha impedido alcanzar los desarrollos previstos.

Por otra parte, la reutilización de aguas residuales se ha consolidado como una medida que permite racionalizar el uso de los recursos hídricos y aportar nuevos recursos en las zonas costeras. Su regulación a partir de 2007 ha enmarcado el desarrollo de esta actividad, tanto en la construcción de nuevas instalaciones, como en la adaptación de las existentes para alcanzar los niveles de calidad exigidos.

A pesar de la gran evolución de los últimos años, existen todavía aspectos por mejorar como pueden ser la optimización energética de las instalaciones, la fiabilidad de los rendimientos, la gestión de pluviales, la estabilización de fangos o la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones.

Por otra parte, el importante nivel de desarrollo alcanzado en el tratamiento y gestión de aguas residuales en nuestro país está permitiendo a las empresas españolas ampliar su ámbito de trabajo a la esfera internacional, dando apoyo principalmente a los países en desarrollo.

Todas estas acciones, hacen previsible una demanda elevada de técnicos en este campo, con la adecuada formación.

Este Curso, celebrado anualmente desde 1983, se dirige fundamentalmente a profesionales relacionados con el tema de las aguas residuales y pretende aportar una amplia formación, tanto teórica como práctica, de los distintos sistemas de tratamiento, del funcionamiento y la explotación de las estaciones depuradoras, así como de otros temas relacionados, como la reutilización de aguas, la generación y control de olores y el destino y valorización de los fangos procedentes de la depuración.

El Curso será impartido por un numeroso grupo de expertos en tratamiento de aguas, tanto del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX como de otras instituciones públicas y privadas.