

ENSAYOS DE LABORATORIO EN PASTAS DE CEMENTO REFORZADAS CON FIBRAS PLÁSTICAS

Gladys Maggi Villarroel

RESUMEN

En el comportamiento del mortero reforzado con fibras plásticas, una de las variables fundamentales la constituye el volumen de fibras incorporado a la matriz de cemento.

En este artículo se presentan los resultados de la primera fase del programa experimental correspondientes a los ensayos de laboratorio en pasta de cemento reforzados con fibras de nylon, poliéster y polipropileno. Todo ello con el fin de seleccionar el tipo de fibra y los porcentajes de fibra más adecuados para los ensayos en mortero.

ABSTRACT

On studying the behavior of concrete reinforced with plastic fibers, one of the fundamental variables is the volume of fibers to incorporate to the cement mixture. This article presents the results of the first stage of the experimental programme corresponding to the first tests on cement paste reinforced with nylon, polyester and polypropilene fibers. This by means of selecting the adequate type and percentage of fiber for the tests on concrete.

INTRODUCCIÓN

En la última década se ha incrementado el uso del concreto reforzado con fibras plásticas para utilizarlo en elementos y/o estructuras de concreto armado. Existe un amplio rango de aplicaciones potenciales del refuerzo con fibras plásticas que cubre nuevas construcciones, restauraciones, miembros pretensados, construcción en sitio y prefabricación.

El interés en la utilización del refuerzo con fibras plásticas parece ser un fenómeno mundial con algunas connotaciones geográficas particulares. Por ejemplo, en Japón, el interés ha estado orientado al desarrollo de materiales y métodos de construcción que pueden ser utilizados en la prefabricación, automatización, disminución de mano de obra y en general una mayor efectividad en los procesos de construcción. En Norte América la mayor atención ha estado dirigida a encontrar soluciones a los problemas de durabilidad causados por la corrosión del acero de refuerzo, particularmente en la infraestructura. En Europa ha sido una combinación de los intereses mencionados, acoplado con la rehabilitación y/o restauración de edificaciones como resultado de la cantidad de estructuras con un valor histórico que necesitan ser reparadas.

La motivación fundamental de la utilización de materiales compuestos de cemento reforzados con fibras plásticas ha sido el uso eficiente de la resistencia y propiedades de rigidez de una fibra de diámetro pequeño, por la incorporación de la fibra en la matriz de cemento. La ductilidad de la matriz permiten una buena transferencia de carga de una fibra a otra (atributo beneficioso para cualquier tipo de esfuerzo pero particularmente para los esfuerzos de compresión y de corte). De igual manera para cargas a tensión, la ductilidad de la matriz permite cargar para suavizar la transferencia de una fibra rota a una fibra

DESCRIPTORES:

Pasta de cemento; Refuerzo con fibras; Fibras plásticas.

completa, de este modo decrecen las concentraciones de esfuerzos locales, permitiendo altas resistencias unidireccionales de la mezcla.

Adicionalmente, la utilización de las fibras como refuerzo del concreto constituye una de las vías para prolongar su durabilidad. Entre los principales factores que controlan el comportamiento del material compuesto, podemos mencionar las propiedades físicas de las fibras y de la matriz, así como la resistencia de unión entre ellas. Asimismo, la capacidad de la fibra para actuar como refuerzo dependerá del grado en que los esfuerzos son transmitidos a través de la matriz, y a su vez, este grado de transferencia estará gobernado por las características propias de las fibras.

Dado este contexto, se plantea como objetivo general de la investigación analizar el comportamiento del mortero reforzado con fibras plásticas, mediante la evaluación de la influencia de las fibras en la capacidad resistente del mortero.

Con este fin se establece un programa experimental de ensayos que contempla:

- Caracterización de los materiales:** Corresponde a la determinación de las características de todos los materiales que se utilizan en la elaboración de las probetas a ser sometidas a ensayos de laboratorio: cemento, agregados, fibras.
- Ensayos de pastas de cemento:** Los ensayos de pasta se realizan en estado fresco (trabajabilidad de la mezcla en función del incremento del volumen de fibras) y en estado endurecido (ensayos de tracción, absorción y observación superficial). Todo ello con el fin de seleccionar el tipo de fibra y los porcentajes de fibras más adecuados para los ensayos en mortero.

- Ensayos de mortero reforzado con fibras:**

Ensayos de resistencia a flexión y a compresión correspondiente a los 7, 14 y 28 días.

El presente documento constituye un avance de la investigación que cubre los aspectos correspondientes a los puntos a y b del programa de ensayos, y cuyos resultados permiten definir los parámetros específicos en cuanto al tipo y porcentaje de fibra a utilizar en los ensayos de mortero.

1. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

Los materiales a utilizar en la elaboración de las probetas son: cemento, arena natural, agua de chorro y fibras plásticas de nylon, poliéster y polipropileno.

Cemento: Cemento Portland tipo I según norma COVENIN 28 (ASTM C 150). Homogeneización del insumo por cuanto los sacos comprados no son del mismo lote (misma empresa pero diferente fecha). El proceso se realiza mediante el mezclado de porciones iguales en cada volumen vertido en la máquina de desgaste Los Ángeles, 100 vueltas. Posteriormente, el cemento homogeneizado es guardado en bolsas plásticas y almacenado para evitar su dispersión.

Arena natural: Los agregados comerciales son analizados granulométricamente en sus condiciones iniciales, y se decide su procesamiento en el laboratorio. Se procede al lavado y tamizado de la arena para eliminar el exceso de finos y las impurezas orgánicas presentes. Secado al sol por 24 a 48 horas para lograr la condición seco al aire.

Un segundo análisis granulométrico indica la necesidad de descomponer el agregado lavado en tres fracciones, para luego recomponerlas a fin de obtener la curva promedio establecida en norma COVENIN 277 (ASTM C 33).

Los resultados de la caracterización del agregado son: peso unitario suelto 1.576 Kg/m³, peso unitario compacto 1.802 Kg/m³, peso específico aparente 2.650 Kg/m³.

La distribución y ajustes del agregado preparado se indican en las tablas 1 y 2. La curva de distribución de tamaño se muestra en la figura 1.

TABLA 1
Ajuste del agregado preparado

Cedazo	Peso (g)	Porcentaje
mayor # 4	40	8 %
# 4 - # 16	185	37 %
Menor # 16	275	55 %
	500	

TABLA 2
Distribución del agregado preparado

Cedazo número	Cedazo (mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje rasante
# 4	4,75	37	7,6	7,6	92,4
# 8	2,36	103	21,2	28,8	71,2
# 16	1,18	67	13,8	42,6	57,4
# 30	0,60	94	19,4	62,0	38,0
# 50	0,30	80	16,5	78,5	21,5
# 100	0,15	70	14,4	92,9	7,1
# 200	0,075	23	4,7	97,6	2,4
Faltante		11	2,3	99,9	0,1
		485			

Fibras: Se adquieren tres tipos de fibras plásticas de distribución nacional: nylon, poliéster y polipropileno. Su caracterización se realiza teniendo en cuenta las propiedades más resaltantes con respecto a su utilización en las mezclas con cemento: forma, dimensiones, aspecto, peso específico, cantidades recomendadas por los fabricantes.

Las características generales de las fibras se indican en la tabla 3.

TABLA 3
Características de las fibras plásticas

Tipo de fibra	Longitud (mm)	Peso específico (Kg/m ³)	Peso unitario (Kg/m ³)	Dosificación (**)
Nylon	13 - 15	1.160 (*)	152,7	0,35
Poliéster	19 - 21	910 - 935	129,7	1,0
Polipropileno	22 - 42	900 - 910	49,5	1,0

(*) Tomado de etiqueta de la muestra

(**) Especificada por fabricante

- Las fibras de nylon: son del tipo monofilamentos, de color blanco, con una longitud aproximada de 13-15 mm. Embalaje en paquetes de 500 g.
- Las fibras de poliéster: monofilamentos con una longitud aproximada de 19-21 mm, de color gris claro y se obtiene en embalajes de 350 g. Este tipo de fibras está disponible en la industria para los compuestos de cemento, pertenecen al grupo de los termoplásticos, los cuales se caracterizan por ser sensibles a las temperaturas.
- Las fibras de polipropileno: presenta forma de red, que al ser abierta muestra una estructura reticular característica de su proceso de producción. Son de color negro y su longitud varía entre 22 y 42 mm. Disponibles en paquetes de 500 g. La caracterización de las fibras de polipropileno según norma española UNE 83-500-89/2: clasificación tipo II, láminas fibriladas.

El enlace de estos tres tipos de fibras con la matriz de cemento es mediante una interacción mecánica, no enlace químico. La adición de fibras a la mezcla se realiza por peso, y previamente se aceptan los valores reportados en la literatura.

2. ENSAYOS DE PASTAS

Los ensayos de pasta se realizan en estado fresco y en estado endurecido. El objetivo de los primeros es analizar la variación de la trabajabilidad de la mezcla en función del incremento del volumen absoluto de fibras; y los segundos corresponden a ensayos de tracción, absorción y observación superficial.

Mezcla utilizada para la pasta de cemento:

Volumen de mezcla: 340 cm³

Cemento: 500 g

Agua: 182 ml

Relación agua / cemento = 0,364

Peso específico fibras de polipropileno: 900 g/cm³

Peso específico fibras de poliéster: 918 g/cm³

Peso específico fibras de nylon: 1.160 g/cm³

Resistencia especificada = 250 Kg/cm²

2.1. Ensayos de pasta en estado fresco

La trabajabilidad de la mezcla se analiza mediante los ensayos de fluidez (ASTM C 230). En los ensayos se utilizan mezclas con una relación agua/cemento entre 0,7 y 1,0 y los tres tipos fibras: nylon, poliéster y polipropileno.

Los porcentajes de fibras a utilizar en los ensayos se definen en función de los rangos establecidos en la literatura consultada y de los rangos recomendados por los suplidores. Los volúmenes absolutos prefijados de fibra corresponden a los indicados en la tabla 4. La combinación de estas dos variables, tipo y porcentaje de fibra, produce un total de veintisiete mezclas, incluyendo la mezcla patrón.

TABLA 4
Peso de los porcentajes de fibras para las mezclas

Porcentaje de fibra	Peso de la fibra (g)		
	Nylon	Poliéster	Polipropileno
0,01	116	92	91
0,05	580	462	445
0,10	1.160	920	910
0,20	2.320	1.640	1.820
0,50	5.800	4.600	4.550
0,75	8.700	6.900	6.825
1,00	1.160	9.200	9.100

Método de ensayo: Para el ensayo de fluidez de pasta se trabaja con un rango de relación agua/cemento de 0,3 - 0,4, resultando una mezcla patrón para fluidez de 200 (tabla 5).

TABLA 5
Parámetro de fluidez

a/c	Volumen de agua (ml)	Fluidez
0,30	150	130
0,36	180	175
0,363	181	200
0,375	188	220
0,40	200	240

El proceso seguido para los ensayos de fluidez correspondiente a cada mezcla, consta de los siguientes pasos:

- Diseño de mezcla: pesos de los materiales y volumen de pasta a utilizar por probeta.
- Peso de los diferentes porcentajes de fibra utilizando balanza electrónica (precisión 0,1 mg).
- Peso de la proporción de cemento, empleando balanza electrónica (precisión 0,1 mg).
- Medición del volumen de agua.
- Preparación de moldes y equipos: limpieza, armado y antiadherente (gasoil).
- Mezclado manual de la pasta: fibra más agua, luego se agrega cemento para obtener la pasta.
- Colocación de la pasta en la mesa de caída.
- Realización del ensayo de fluidez, mesa de caída a 25 golpes y medición correspondiente.

Para las cantidades de fibras utilizadas en la preparación de las mezclas, no se observa ningún tipo de problemas con relación a la formación de grumos o incorrecta dispersión de las fibras. La distribución de fibras es aleatoria, existiendo tendencia a ocupar la superficie y el fondo del molde donde ella se prepara. A medida que se incrementa el porcentaje de fibra aumenta la segregación, y a partir de 0,2% la mezcla tiende a deslizar sobre el plato de la mesa de caída, al inclinarlo.

La variación de la fluidez obtenida para las tres pastas se presenta en la figura 2, observándose valores ligeramente superiores para la pasta con fibras de polipropileno.

- Las pastas con fibras de polipropileno presentan un valor promedio de fluidez del orden de 210, observándose su disminución a medida que se incrementa el porcentaje de fibra en

la mezcla.

- Las pastas de poliéster y nylon presentan un comportamiento similar, manteniendo la fluidez promedio en el orden de 190.

Generalmente, el porcentaje recomendado por los distribuidores de fibras está en el orden de 0,01 a 0,1, por cuanto esas cantidades no afectan significativamente la trabajabilidad de la mezcla, lo cual conlleva a no tener que tomar precauciones diferentes a las consideradas en el concreto normal en los procesos de preparado y vaciado de la mezcla de cemento. Sin embargo, la evaluación del comportamiento de la mezcla para los porcentajes mayores permite evidenciar la reducción de la trabajabilidad de la misma.

2.2. Ensayos en pasta en estado endurecido

Con la pasta elaborada para los ensayos de fluidez se producen las briquetas para ensayos de tracción a 7 días y los cubos para la determinación de absorción y observación superficial, produciéndose una briqueeta y un cubo por mezcla y por porcentaje de fibra, para un total de cincuenta y cuatro probetas (figura 3).

El proceso seguido incluye las siguientes actividades:

- Preparación de moldes y equipos: limpieza, armado e incorporación del antiadherente.
- Vaciado de mezclas en moldes metálicos: briquetas y cubos estándar de 50,8 mm (2 pulg) de arista.
- Desmolde de probetas a las 24 horas.
- Colocación en depósitos de agua para el curado.
- Ensayos de tracción de briquetas.
- Corte de cubos para observar en la superficie interior: 1) la distribución y orientación de las fibras de las pastas de cemento, y 2) apreciar la dispersión de los espacios vacíos en la sección, así como la presencia de fisuras.
- Ensayos de absorción a los cubos.

Ensayos de tracción

Los ensayos de tracción constituyen un estudio exploratorio del comportamiento de la pasta de cemento, ya que aunque existe una gran dispersión en los resultados, hasta ahora no explicables, se puede observar la tendencia de dicho comportamiento (figura 4).

Se observa un comportamiento similar en las tres mezclas al incrementar el porcentaje de fibra, obteniéndose valores superiores de resistencia a la tracción en la pasta con fibra de polipropileno. Adicionalmente se observa en las probetas ensayadas, que al incrementar el

porcentaje de fibras, una vez ocurrida la falla, las partes no se separan totalmente, quedando cosidas por una trama que se forma con las fibras (figura 5).

Observación superficial

En las superficies de los cubos se observa una distribución aleatoria de las fibras, incrementándose la cantidad de los espacios vacíos con el aumento del porcentaje de fibra. A simple vista no se observan fisuras en las superficies analizadas.

Adicionalmente se realizan observaciones por microscopía electrónica de barrido (MEB) de probetas con porcentaje de fibra de 0,50. A algunos cubos se le realizó un corte paralelo a una de sus caras para la observación de la superficie obtenida (figuras 6, 7 y 8), donde se aprecia la distribución homogénea y aleatoria de la fibra dentro de la matriz. También se realiza observación de las briquetas luego de ser sometidas al ensayo de tracción (figuras 9 y 10), donde se aprecia el grado de adherencia entre la matriz de mortero y la fibra.

De estas observaciones se reafirma la buena distribución de la fibra dentro de la matriz de cemento y se observa una buena adherencia entre la fibra y la matriz. Sin embargo, sería importante profundizar en el estudio de la zona de transición entre la matriz y la fibra.

Absorción

Sobre la base de los datos experimentales (ASTM 642) se determina la absorción de la pasta para los tres tipos de fibra y para los porcentajes superiores a 0,10 %. Se elaboran las curvas absorción-tiempo; a manera ilustrativa en la figura 11 se presenta la correspondiente a la mezcla con fibras de polipropileno.

Se seleccionan las curvas de tendencia logarítmica y se obtienen los valores definitivos de la absorción para cada porcentaje de fibra, los cuales se indican en la tabla 6.

TABLA 6
Absorción en pasta de cemento

Porcentaje	Tipo de fibra		
	Nylon	Poliéster	Polipropileno
0,10	20,40	21,95	20,00
0,25	20,70	22,30	21,00
0,50	21,10	23,90	20,90
0,75	21,30	21,95	22,30
1,00	21,70	21,15	20,10
Rango	20 - 22	21 - 24	20 - 22

Con estos nuevos valores se elaboran los gráficos absorción-porcentaje de fibra. Se analizan las diversas tendencias y se calcula el coeficiente de determinación, factor R², para definir la tendencia más aceptable (tabla 7).

Aunque la tendencia polinómica estadísticamente parece ser la más adecuada, porque abarca con una

TABLA 7

Tendencia	Tipo de fibra		
	Nylon	Poliéster	Polipropileno
Lineal	0.9922	0.0924	0.059
Logarítmica	0.9416	0.0173	0.1516
Polinómica	0.9922	0.6864	0.5689

mejor aproximación los puntos experimentales (figura 12), sin embargo se selecciona la tendencia logarítmica (figura 13) por cuanto es la que refleja la estabilización del valor de la absorción, como ocurre en la práctica.

En relación con estas curvas podemos comentar lo siguiente:

- Para la pasta con fibras de nylon y de polipropileno se observa un comportamiento similar, con un incremento de la absorción con el aumento del porcentaje de fibra. Rango: 20,4 – 21,5 %. Incremento lineal promedio de 0,33.
- Para la pasta con fibras de poliéster se observa una absorción promedio del orden de 22,1%.
- La menor absorción la experimentó la pasta con fibras de polipropileno.

CONCLUSIONES

Tomando como base los resultados de los ensayos realizados en pasta de cemento se decide utilizar, para los ensayos de mortero reforzado con fibras, la fibra de polipropileno y en cuanto a los porcentajes de fibra a evaluar se seleccionan los valores correspondientes a 0,10 - 0,25 - 0,50 y 0,75 en porcentaje de volumen.

Se elaborará un plan de trabajo para la preparación de las probetas y ejecución de los ensayos correspondientes, los cuales permitirán evaluar las propiedades elásticas y mecánicas del mortero reforzado con fibras, entre ellas, trabajabilidad basada en el asentamiento, peso unitario del concreto fresco, resistencia a la flexión, resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, tenacidad. Para cada uno de ellos se realizarán para edades del concreto de 7, 14 y 28 días.

AGRADECIMIENTO

Se agradece al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela, el financiamiento y apoyo al desarrollo de esta investigación. Proyecto de investigación N° 02.32.4114.98

BIBLIOGRAFÍA

BALAGURU, P. N. (1994). "Fiber contribution to crack reduction of cement. Composites during the initial and final setting period". *ACI Material Journal*, may-june, vol. 91, N° 3, pp. 280-288.

BAYASI, Ziad and ZENG Jack (1993). "Properties of polypropylene fiber reinforced concrete". *ACI Material Journal*, november-december, vol. 90, N° 6, pp. 605-610.

COVENIN, Comisión Venezolana de Normas Industriales. Ministerio de Fomento.

CHATAINY, Ivan y GUERRERO, Carmen (1987). "Estudio del material compuesto fibro-cemento (fibro-concreto)". UCV, junio, Trabajo Especial de Grado.

GRZYBOWSKI, Mirosław MEYER, Cristian (1993). "Damage accumulation in concrete with and without fiber reinforced". *ACI Material Journal*, november-december, vol. 90, N° 6, pp. 605-610.

ISSA, Mohsen A; SHAFIQ, A. B. and HAMMAD Ahmad M. (1996). "Crack arrest in mortar matrix reinforced with unidirectionally aligned fibers". *Cement and Concrete Research*, vol. 26, N° 8, pp. 1245-1256.

KULLAA, Jyrki (1996). "Dimensional analysis of bond modulus in

fiber pullout". *Journal of Structural Engineering*, ASCE, July, vol. 122, N° 7, pp. 783-787.

NANNI, Antonio (1993). "Fiber-reinforced plastic (FRC) reinforcement for concrete structures. Properties and applications". Elsevier Science Ltd, august.

Norma Española UNE 83 (1988-1989). "Hormigones con fibras de acero y/o polipropileno.

PARRA COLMENARES, Edwin (1993). "Influencia de la puesta en sitio y dosificación de fibras, en la respuesta mecánica de concretos reforzados con fibras metálicas". Instituto Universitario de Tecnología Dr. Federico Rivero Palacio, Región Capital. Trabajo de ascenso, categoría asistente.

SEGRE, N.; TONELLA, E. and JOEKES, I. (1998). "Evaluation of the stability of polypropylene fibers in environments aggressive to cement-based materials". *Cement and Concrete Research*, vol. 28, N° 1, pp. 75-81.

STEVENS D. J. (1995). "Testing of fiber reinforced concrete". *American Concrete Institute*. June.