

## **Evaluación Del Comportamiento De Vigas De Hormigón Armado Reforzado Con Fibras Utilizando Técnicas Dinámicas No Destructivas**

N. L. Ercoli, M. H. Peralta

Docentes- Investigadores Área Estructuras- Departamento de Ingeniería Civil – Facultad de Ingeniería- UNCPBA- Olavarría- Bs As- Argentina, 7400- nercoli@fio.unicen.edu.ar

N. F. Ortega

Docente Investigador Departamento de Ingeniería- UNS- Bahía Blanca- Bs As – Argentina

S. La Malfa

Profesional- CONICET- Instituto de Mecánica Aplicada – UNS- Bahía Blanca- Bs. As – Argentina

L. De Marco

Alumno Asistente Área de Estructuras- Departamento de Ingeniería Civil – Facultad de Ingeniería- UNCPBA- Olavarría- Bs. As.- Argentina-

### **Resumen**

En la actualidad son significativos los desarrollos tendientes al uso de hormigón estructural con refuerzo de fibras, HRF, en particular con fibras de acero. La incorporación de estas fibras confiere al hormigón características particulares, tanto en el estado fresco como endurecido. Es de destacar el comportamiento diferenciado al del hormigón armado referido a los aspectos de durabilidad y seguridad durante la vida útil de las estructuras, con influencia directa sobre la deformabilidad y control de la fisuración frente a las distintas sollicitaciones, dependiendo de las características de las fibras, de su esbeltez y volumen incorporado.

En el presente trabajo se expone la experiencia desarrollada en el Laboratorio de Estructuras de la Facultad de Ingeniería de la UNCPBA, con elementos de vigas de hormigón armado reforzadas con la incorporación de distintos porcentajes de fibras de acero. Se ensayaron hasta la rotura, a través de la aplicación de escalones crecientes de carga estática, efectuándose diferentes mediciones y registros relacionados con el comportamiento estructural para los escenarios de daño progresivo.

El empleo de técnicas dinámicas no destructivas, ultrasonido y medición de frecuencias propias, permitieron, por un lado, relacionar dicho comportamiento con la variación de las propiedades mecánicas, del elemento ensayado. Por otro lado, se obtuvieron conclusiones referidas a su comportamiento en comparación con elementos de hormigón armado sin fibra incorporada. Los elementos ensayados, con y sin fibras incorporadas, presentaron la misma geometría y armadura longitudinal y la misma calidad de hormigón base.

### **1. Introducción**

El hormigón estructural es muy utilizado como material de construcción. La incorporación de fibras como componente del mismo tiene por objeto el mejoramiento de algunas de sus propiedades, tanto en estado fresco como endurecido, que permita

también lograr un mejoramiento en el comportamiento de los elementos estructurales. El uso de fibras incrementa la capacidad de absorción de energía permitiendo un comportamiento más dúctil hasta la carga última. Es de destacar el comportamiento diferenciado con el hormigón armado referido a los aspectos de durabilidad y seguridad durante la vida útil de las estructuras, con influencia directa sobre la deformabilidad y control de la fisuración frente a las distintas sollicitaciones, dependiendo de las características de las fibras, de su esbeltez y volumen incorporado. Si el módulo de Poisson de la fibra es mayor que el de la matriz, se reduce la adhesión en la interfaz fibra-matriz bajo cargas de tracción<sup>(1)</sup>.

Los hormigones con fibras son más utilizados para secciones muy delgadas, donde la colocación de armadura sería muy difícil. El hormigón con fibras es ideal para la fabricación de productos con formas irregulares. Se puede disminuir considerablemente el peso con el uso de secciones menores debido al uso de hormigones con fibras, las cuales tienen resistencias equivalentes a secciones mucho más gruesas de hormigón armado convencionalmente (con barras).

La incorporación de fibras de acero ha sido muy utilizado en diversas aplicaciones tales como: pisos industriales, estabilización de taludes, tuberías, túneles, rehabilitación de acueductos, reparación y rehabilitación de estructuras marinas, tuberías de hormigón.

Las fibras se añaden al concreto durante el mezclado. Los factores principales que controlan el desempeño del material compuesto son: propiedades físicas de las fibras y de la matriz; adherencia entre las fibras y la matriz.

A pesar de que los principios básicos gobernantes en los refuerzos convencionales y en los sistemas con fibras son los mismos, hay varias características que los diferencian, tales como:

1. Las fibras se distribuyen aleatoriamente por toda la sección, mientras que las barras solo se colocan donde son necesarias.
2. Las fibras son cortas y poco espaciadas si son comparadas a las barras continuas de refuerzos.
3. No es posible lograr la misma relación de área de refuerzo-área de concreto con el uso de fibras si es comparado a la red de refuerzo con barras.

Las fibras en el Hormigón pueden aumentar la resistencia al agrietamiento (fisuración) y disminuir la abertura de las fisuras. Esta influencia depende de la distribución de las fibras en la masa de hormigón dado que las mismas se distribuyen aleatoriamente en la sección del hormigón. Esta aleatoriedad puede hacer que muchas se ubiquen en lugares inadecuados con relación a los esfuerzos de tracción.

La dosificación de las fibras oscila entre 1 y 2% en peso. Estudios realizados han demostrado que dosificaciones menores del 1 % no resultan efectivas y mayores que 2 % tampoco debido fundamentalmente a las dificultades físicas para proveer una distribución homogénea de las fibras dentro del concreto lo cual origina una disminución de la resistencia a compresión del hormigón referida a un hormigón de la misma calidad. No obstante, los porcentajes de adición óptimos para el mejoramiento del comportamiento estructural dependen de la calidad del hormigón, siendo éste un tema de interés evidenciado por desarrollos actuales<sup>(2)</sup>.

El objetivo del presente trabajo es evaluar la influencia de la incorporación de diferentes porcentajes de fibras en el comportamiento de elementos vigas de hormigón, en las que se ha provocado un daño progresivo mediante la introducción de cargas

estáticas crecientes. A tal fin, se expone la experiencia desarrollada en el Laboratorio de Estructuras de la Facultad de Ingeniería de la UNCPBA.

La evaluación mencionada se realiza mediante técnicas de ultrasonido y medición de frecuencias propias <sup>(3)</sup> <sup>(4)</sup>. Asimismo, se evaluaron las deformaciones con el incremento de carga lo que permitió valorar el aumento de ductilidad de los elementos con el incremento de fibras incorporadas.

## 2. Análisis Experimental

### 2.1 Infraestructura y Equipamiento

En Figuras 1 y 2 se indica la infraestructura y equipamiento disponible para efectuar el análisis experimental.

1. Marco de carga con una capacidad de 20 ton., sobre una losa reactiva acorde que admite ensayo de elementos de hasta 6.00 m de luz.
2. Prensa INSTRON 4485
3. Actuadores hidráulicos de doble efecto, de 20 ton, y 10 ton. de capacidad respectivamente. Ambos cuentan con consola y tablero de comandos.
4. Accesorios para materialización de apoyos simple y doble.
5. Celda de carga de 25 ton de capacidad.
6. Equipos para medición de parámetros dinámicos y seguimiento de fisuras, aportados por docentes investigadores del Departamento de Ingeniería de la Universidad Nacional del Sur que constan de:
  - Analizador espectral (FFT) modelo CSI 1900 con un rango (0-1000hz). El mismo cuenta con un acelerómetro piezoeléctrico modelo CSI 320y un rango de 2 ciclos de 10000 ciclos.
  - Equipo de ultrasonido dotado de palpadores de 54 khz.
7. Lupa autoiluminada Focus, Brinell de 20X utilizada para la visualización de fisuras.
8. Calibre marca MICRON, precisión  $1/50 = 0.02$  mm



Figura 1: Adquisidor de datos de carga y central de control de actuadores hidráulicos



Figura 2: Marco de carga y configuración de ensayo

### 2.2 Estudios Experimentales

A efectos de lograr el objetivo planteado se efectuaron los siguientes estudios experimentales:

- Del hormigón fresco y del hormigón endurecido en probetas cilíndricas (15 cm x 30 cm) a compresión para la evaluación de las propiedades resistentes.
- De probetas prismáticas (7.5 cm x 10 cm x 50 cm) a flexión bajo cargas en los tercios de la luz.
- De vigas de hormigón armado de 15 cm x 30 cm x 300 cm para la evaluación del comportamiento en el nivel estructural. Se analizaron experimentalmente<sup>(5)</sup> a flexión, bajo cargas en los tercios de la luz, los modelos cuyas características se vuelcan en la siguiente Tabla 1. El diseño de los elementos tipo viga indicados corresponde a secciones subarmadas tendiente a obtener comportamiento flexional con formación y propagación de fisuras acordes al mismo.

Procedimiento para el moldeo de los especímenes a ensayar según lo descripto: disponiendo del hormigón base en el laboratorio se procedió al moldeo de probetas cilíndricas, prismáticas y vigas de hormigón armado que se corresponden a modelo 1. Posteriormente, los modelos 2, 3 y 4 (probetas cilíndricas, prismáticas y vigas de hormigón armado para cada uno) se moldearon luego de la incorporación de las fibras correspondientes a cada dosificación considerada.

**Tabla 1. Características de los modelos**

Modelo	Luz libre [m]	b [m]	h [m]	Hormigón	Dosificación Fibras [kg/m <sup>3</sup> ]	Armadura Longitudinal	Armadura De estribos
1	3.00	0.15	0.30	H-17	0	3φ12	1φ6 c/ 24cm
2 <sup>(*)</sup>	3.00	0.15	0.30	H-17	20	3φ12	1φ6 c/ 24cm
3 <sup>(*)</sup>	3.00	0.15	0.30	H-17	20	3φ12	1φ6 c/ 24cm
4	3.00	0.15	0.30	H-17	30	3φ12	1φ6 c/ 24cm
5	3.00	0.15	0.30	H-17	40	3φ12	1φ6 c/ 24cm

(\*) Se moldearon 2 elementos de las mismas características dado que se tomaría como patrón para el análisis de elementos de HRF

### 2.3 Características del hormigón

El hormigón de base utilizado se elaboró en una planta hormigonera, siendo la calidad requerida H17, en esta etapa de estudio. Se utilizó CPN (cemento Pórtland normal) y agregado fino y grueso de la zona de Olavarría (arena granítica y piedra partida). Las fibras se adicionaron en una hormigonera de tambor horizontal y fueron mezcladas durante 5 minutos.

### 2.4 Características de las fibras

Los criterios de selección de las fibras se rigen por la resistencia, ductilidad, tenacidad y por la trabajabilidad necesaria de la mezcla.

Las pautas a considerar para atender lo antes indicado son:

- La cantidad de fibras agregadas al hormigón que varía desde 5 kg/m<sup>3</sup> a 100kg/m<sup>3</sup>.
- Por la longitud de la misma, que debe triplicar el diámetro del máximo agregado grueso.
- Por la relación más importante la de esbeltez, relación entre su longitud y diámetro que debe estar comprendido entre los valores usuales de 30 y 100. Si la longitud relativa es pequeña la fibra fallará por adherencia, mientras que si es mayor fallará por tracción.

En el presente trabajo se utilizaron fibras de acero para refuerzo de hormigón Wirand FF1 de Maccaferri con las propiedades físicas y mecánicas que se indican en Tabla 2 y Figura 3, resultando el hormigón que se muestra en Figura 4.



Figura 3: Fibras de Acero



Figura 4: Hormigón fresco con fibras incorporadas

**Tabla 2. Características de las fibras incorporadas**

<b>Material</b>	<b>Relación L/D (largo/diámetro)</b>	<b>Diámetro [mm]</b>	<b>Largo [mm]</b>	<b>Módulo de Elasticidad [MPa]</b>	<b>Resistencia a Tracción [MPa]</b>
Fibras de Acero para refuerzo de hormigón	Mayor que 50	1	50	210000	1100

### 3. Resultados y Discusiones

#### 3.1 Evaluación del Hormigón Fresco y Endurecido a compresión

Se analizan los resultados correspondientes a la ejecución de los ensayos experimentales indicados en el ítem 2.2.a.

En el *hormigón fresco* se tomaron mediciones de temperatura y asentamiento. Estos datos adquiridos se vuelcan en Tabla 3.

**Tabla 3. Características del hormigón fresco**

<b>Modelo</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Asentamiento (cm)</b>
1	24.4	12
2	24	8
3	25.5	6.5
4	25.5	5
5	25.5	4.5

Es importante observar la disminución del asentamiento con el incremento de las fibras incorporadas indicativo de la disminución de la trabajabilidad que dicha incorporación produce.

A efectos de evaluar las características del *hormigón endurecido* se moldearon probetas cilíndricas, para ensayar a compresión y evaluar el módulo de elasticidad. En Tabla 4 se indican los resultados obtenidos. En Figura 5 se observa la influencia de la dosificación de fibras en la carga última de estos ensayos.

**Tabla 4. Carga última a compresión de las probetas cilíndricas**

Modelo	Dosif. Fibras [Kg/m <sup>3</sup> ]	Pn [KN]	E [N/mm <sup>2</sup> ]	Resistencia a Compresión[N/mm <sup>2</sup> ]
1	0.00	324	15696	18.3
2 y 3	20.00	323	18676	18.3
4	30.00	288	16540	16.3
5	40.00	285	15440	16.2

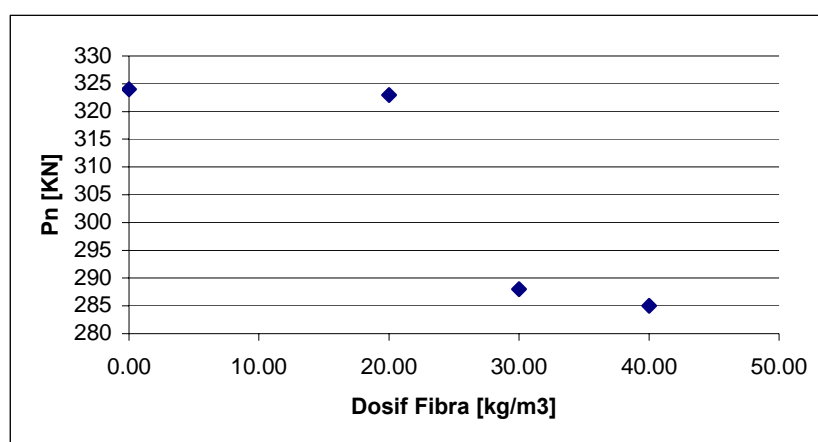


Figura 5: Carga última a compresión en función de la dosificación de fibras

Los resultados observados en Tabla 4 y Figura 5 permiten indicar, para el caso en estudio, que la resistencia a compresión no se ve afectada con la incorporación de fibras cuando la dosificación de las mismas es inferior o igual a 20 kg/m<sup>3</sup>, disminuyendo aproximadamente en un 12% para dosificaciones de fibras entre 20 y 30 kg/m<sup>3</sup>. Esta disminución es acorde con los resultados de los ensayos de la referencia (2). El módulo de elasticidad (E) aumenta apreciablemente (aproximadamente 20 %) para una incorporación de fibras de 20 kg/m<sup>3</sup>, siendo despreciable las variaciones de E para dosificaciones con incorporaciones mayores que la indicada.

### 3.2 Evaluación del Comportamiento a flexión

#### 3.2.1 En probetas prismáticas flexionadas

Se analizan los resultados correspondientes a la ejecución de los ensayos experimentales indicados en el ítem 2.2.b.

Se ensayaron a flexión bajo carga en los tercios de la luz, hasta la rotura, probetas prismáticas de 7.5 cm x 10 cm x 50 cm, según se indica en Figuras 6. Estos ensayos se efectuaron en la Prensa de desplazamientos controlados INSTRON 4485, a los 28 días, en los modelos indicados en Tabla 5 correspondientes a los hormigones con diferentes dosificaciones de fibras. En Figura 7 se observan los resultados obtenidos en términos de carga última para los modelos analizados.



Figuras 6: Configuración de ensayo a flexión, probetas prismáticas

**Tabla 5. Carga última a flexión de las probetas prismáticas**

Modelo	Dosif Fibras [Kg/m <sup>3</sup> ]	Pn [KN]	Resistencia flexional [N/mm <sup>2</sup> ]
1	0.00	3.15	1.68
2 y 3	20.00	4.17	2.30
4	30.00	5.12	2.73
5	40.00	5	2.73

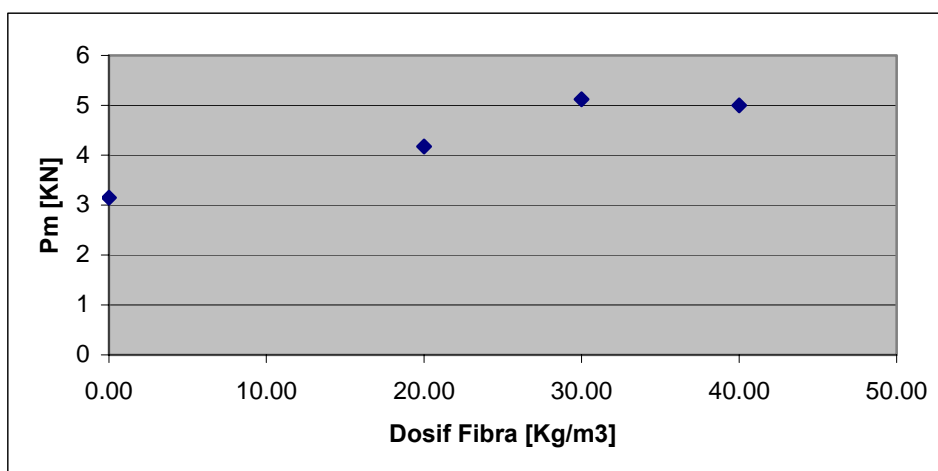


Figura 7: Carga última a flexión en función de la dosificación de fibras

Cabe destacar el incremento de la carga última a flexión y por lo tanto de la resistencia flexional de aproximadamente el 62% con la incorporación de 30 kg/m<sup>3</sup> de fibras no mostrando variaciones para mayor incorporación de fibra.

### 3.2.2 En elementos vigas de hormigón armado

Se analizan los resultados correspondientes a la ejecución de los ensayos experimentales indicados en el ítem 2.2.c.

Se ensayaron, hasta la rotura, los modelos indicados en Tabla 1. La configuración de los ensayos se observa en Figuras 1 y 2.

La instrumentación de los ensayos, que se indica a continuación, se realizó a efectos de adquirir datos relativos a cargas, deflexiones, deformación en el hormigón, velocidades



ultrasonicas y frecuencias, en cada escalón de carga preestablecido según Tabla 6. Se efectuó, asimismo, el replanteo de las fisuras generadas en los elementos ensayados.

**Tabla 6. Escalones de carga para cada modelo [kN]**

Modelo	1er.escalón	2do. escalón	3er. escalón
1	30	60	82
2 y 3	27	60	88
4	30	60	88
5	30	60	88

### 3.2.2.1 Instrumentación para medir deformaciones en el hormigón

Se colocaron dos placas de aluminio de 1 cm x 1 cm x 0.25 cm, con una marca en el centro que permitió por medio de un calibre, medir la variación de distancia y a partir de ella calcular la deformación del hormigón. Se ubicaron en la parte superior respetando el recubrimiento de los elementos a ensayar. Se tomó el último escalón de carga para calcular las deformaciones máximas en el hormigón, para cada modelo analizado, que se indican en la Tabla 7.

**Tabla 7. Deformaciones máximas en el hormigón**

Modelo	Distancia inicial [mm]	Variación de distancia [mm]	$\epsilon$ [‰]
1	146.70	0.30	2
2, 3	149.80	0.30	2
4	143.10	0.30	2.1
5	139.20	0.30	2.1

Los valores de  $\epsilon$  indicados permiten deducir que el hormigón está trabajando a deformaciones que se corresponden con valores de la resistencia a rotura de la curva  $\sigma$ - $\epsilon$  adoptada para el comportamiento del hormigón.

### 3.2.2.2 Instrumentación para mediciones de Cargas y flechas progresivas

Se tomaron las cargas y las correspondientes flechas, con celda de carga y flexímetros respectivamente para cada escalón de carga. En Figura 8 se observa la variación de la carga última medida con el incremento de fibras incorporadas.

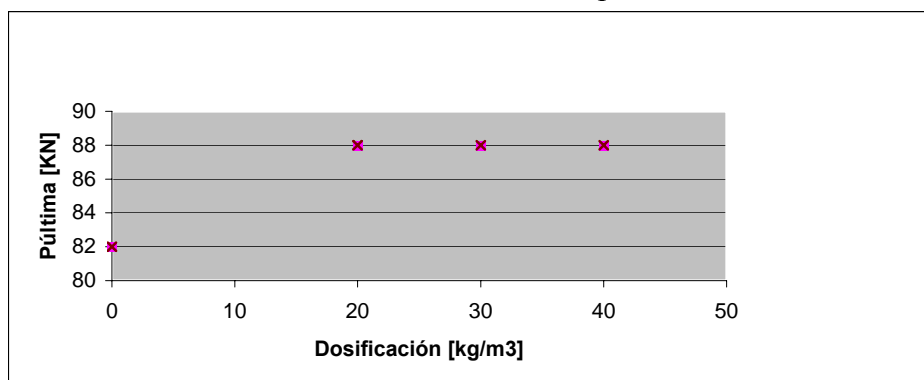


Figura 8: Relación Carga última- Dosificación



Los resultados indicados en Figura 9 muestran que para la calidad de hormigón utilizada en los ensayos motivo de este trabajo dosificaciones mayores a  $20 \text{ kg/m}^3$  no mejoran la resistencia del elemento estructural. La máxima carga obtenida para todos los modelos fue aproximadamente la misma y del orden de 88 kN observándose un leve incremento respecto al modelo sin fibras incorporadas.

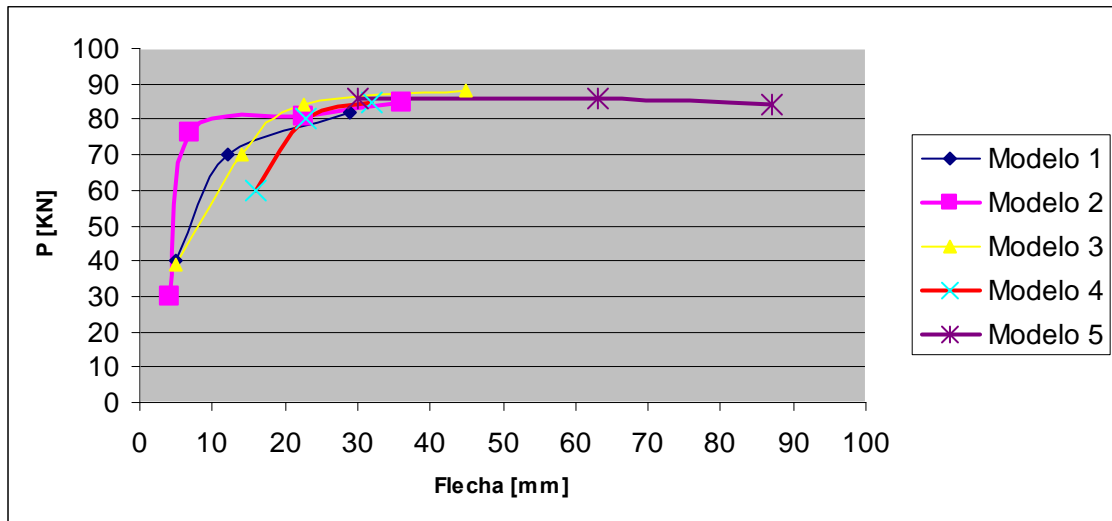


Figura 9: Relación Carga última-Flecha para las distintas dosificaciones

Las representaciones de la figura anterior demuestran el incremento de la ductilidad en el comportamiento de los elementos estudiados con el incremento de fibras incorporadas. Asimismo, queda de manifiesto que la incorporación de fibras, para la calidad de hormigón utilizada, no produce mayores diferencias en la carga última obtenida para las diferentes dosificaciones utilizadas en los modelos ensayados.

### 3.2.2.3 Replanteo de Fisuras

Se relevó el área fisurada y se procedió a la medición del ancho de las fisuras utilizando una lupa autoiluminada. Se midió con regla el desarrollo longitudinal de cada fisura en mm. Se calculó el área total fisurada como el producto del ancho de la fisura por su desarrollo longitudinal expresada en  $\text{mm}^2$  para cada modelo en la condición de daño total. En Tabla 8 se indican estos valores para los modelos 1, 2, 3 y 4. En el caso de los modelos 2 y 3 se consideró el promedio dado que se trata de vigas con la misma dosificación de fibras.

Tabla 8. Área Total fisurada para daño máximo

	Área Total Fisurada [ $\text{mm}^2$ ]
<b>Modelo 1</b>	4470
<b>Modelo 2 y 3</b>	7134
<b>Modelo 4</b>	7400

En Figura 10 se muestran las vigas luego de los ensayos a la izquierda, y el relevamiento de fisuras para cada uno de los modelos estudiados, a la derecha.

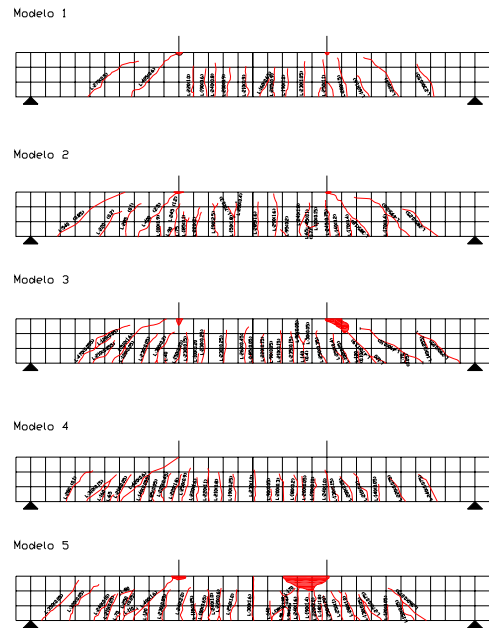


Figura 10: Cuadro de Fisuras relevadas para cada elemento ensayado

Es importante observar la diferencia entre los cuadros de fisuración de los modelos. Los modelos 2 y 3 muestran una mayor propagación de fisuras pero el ancho de las mismas comparadas con el ancho de las fisuras del modelo 1 es mucho menor. Los modelos 4 y 5 presentan también una fisuración más extendida que el modelo 1 pero menos que los modelos 2 y 3. Los anchos de fisuras relevados en los modelos 4 y 5 fueron mayores que en los primeros 3. Esto es de importancia atendiendo los aspectos de durabilidad pudiendo observarse que una incorporación de fibras mayor de  $20 \text{ kg/m}^3$  no significaría una mejora en este sentido.

### 3.2.2.4 Instrumentación para medición De Frecuencias Propias

La identificación del daño estructural a través de los cambios de las características dinámicas de un elemento estructural provee un camino de evaluación del estado global de la estructura relacionando la disminución de las frecuencias naturales con la pérdida de rigidez y de amortiguamiento provocada por el daño progresivo generado por escalones crecientes de carga estática <sup>(6)</sup>.

Las frecuencias propias se adquirieron excitando los elementos ensayados a través de una señal no medida tipo pulso provocada por un golpe de martillo. En Tabla 9 se indican las frecuencias correspondientes al primer modo de vibración para los modelos analizados y para los distintos escalones de carga.

**Tabla 9. Frecuencias correspondientes al primer modo de vibración [Hz]**

Escalón de carga	Modelo 1	Modelos 2 y 3	Modelo 4
Sin daño	37.23	36.11	37.10
1°	Sin medir	33.50	33.80
2°	Sin medir	29.00	32.00
3°	24.75	23.20	25.00
<b>Variación de la frecuencia con daño total</b>	<b>33%</b>	<b>35%</b>	<b>32%</b>

La disminución de las frecuencias fundamentales con la incorporación de fibras en los modelos analizados, se mantienen en el mismo orden, en el estado de carga última que los modelos sin fibras incorporadas. Estos modelos indican que la metodología de evaluación de daño estructural utilizando técnicas dinámicas es adecuada para la evaluación de vigas de hormigón armado con fibras incorporadas.

### 3.2.2.5 Instrumentación para mediciones con Técnicas de Ultrasonido

Estas mediciones se tomaron en la parte inferior de la viga como se muestra en la Figura 8. Se realizaron lecturas en las 3 posiciones de los palpadores indicadas en los modelos sin daño y en cada escalón de carga.

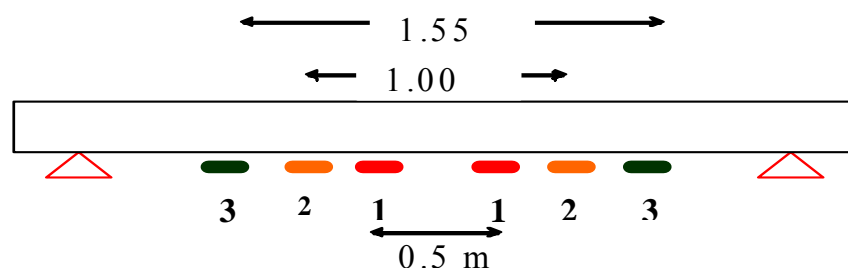


Figura 8: Esquema de Medición Mediante Técnicas de Ultrasonido

En Tablas 10, 11 y 12 se indican los valores de velocidades de ultrasonido obtenidos para los Modelo 1 (sin fibras incorporadas), Modelos 2 y 3 (con 20 kg/m<sup>3</sup> de fibras incorporadas) y Modelo 4 (con 30 kg/m<sup>3</sup> de fibras incorporadas), para las diferentes posiciones de los palpadores. En el Modelo 5 no se efectuaron estas mediciones

**Tabla 10. Mediciones con ultrasonido Modelo 1**

	Velocidad (m/s)		
	1	2	3
<b>Sin Carga</b>	1.85	2.05	2.1
<b>1° Escalón</b>	1.85	1.88	1.96
<b>2° Escalón</b>	1.72	1.63	1.43
<b>3° Escalón</b>	1.16	1.48	1.23

**Tabla 11. Mediciones con ultrasonido promedio Modelos 2 y 3**

	Velocidad (m/s)		
	1	2	3
<b>Sin Carga</b>	1.97	1.67	2.1
<b>1° Escalón</b>	1.24	1.45	1.47
<b>2° Escalón</b>	1.13	1.16	1.48
<b>3° Escalón</b>	0.95	Sin medir	Sin medir

**Tabla 12. Mediciones con ultrasonido Modelo 4**

	Velocidad (m/s)		
	1	2	3
<b>Sin Carga</b>	1.96	1.74	1.90
<b>1° Escalón</b>	1.46	1.35	1.81
<b>2° Escalón</b>	0.97	1.14	1.19
<b>3° Escalón</b>	0.80	Sin medir	Sin medir

La disminución de las velocidades medidas en las diferentes posiciones de los palpadores es indicativa de un mayor grado de fisuración en los modelos con mayor porcentaje de fibras incorporadas. La misma es más notable para la posición 1 de los palpadores lo que es indicativo de la influencia del estado flexional originado por las cargas, lo que produce mayor fisuración en el tercio medio de los elementos ensayados.

## CONCLUSIONES

La incorporación de fibras en el hormigón produce modificaciones en el comportamiento tanto a nivel material como a nivel estructural. A partir de los resultados experimentales obtenidos y presentados en este trabajo se pueden inferir las siguientes consideraciones para la calidad de hormigón utilizada (H17,  $f'_{ck}=17$  MPa):

- En el hormigón fresco es notable la disminución de la trabajabilidad.
- La resistencia a compresión, disminuye aproximadamente un 12% para incorporaciones de fibras superiores a  $20 \text{ kg/m}^3$ , mientras que la resistencia flexional aumenta considerablemente (alrededor de 62%) en especímenes prismáticos de hormigón simple en hormigones con incorporaciones de hasta  $30 \text{ kg/m}^3$  de fibras.
- En las vigas de hormigón armado ensayadas la incorporación de fibras no produjo incremento en la carga última, mostrando un comportamiento de los elementos más dúctil con el incremento de fibras incorporadas.
- La incorporación de fibras modifica la formación, propagación y tamaño de fisuras. Lo observado en los resultados de los ensayos permite indicar que para el hormigón H17 una incorporación de fibras mayor de  $20 \text{ kg/m}^3$  no produciría efectos que favorezcan el comportamiento desde el punto de vista de la durabilidad.
- El empleo de técnicas dinámicas no destructivas, ultrasonido y medición de frecuencias, resultó adecuado para evaluar el comportamiento estructural con el incremento del daño provocado por escalones de cargas estáticas crecientes.
- Se continúa trabajando en desarrollos experimentales considerando una calidad de hormigón superior a fin de establecer la influencia de este parámetro en los niveles material y estructural.

## REFERENCIAS

1. R.Zerbino, "Hormigón Reforzado con Fibras. Propiedades y aplicaciones Estructurales", Hormigones Especiales, Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, ISBN: 987-21660-0-0, Capítulo 5, pp. 143-181- Agosto 2004.
2. Altun, T.Haktanir, K.Ari, " Effects of Steel Fiber Addition on Mechanical Properties of Concrete and RC Beams" , Construction and Building Materials, article in press, available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com), accepted December 2005.
3. N.Ercoli, M.H.Peralta, N.F.Ortega, S.La Malfa, F.M.Moretti, " Empleo de Ensayos No Destructivos para la Evaluación del Daño en Vigas de Hormigón", Memorias V Congreso Regional de Ensayos No Destructivos y estructurales, V CORENDE, Sesión Especial de Aplicaciones en Estructuras Civiles, ISBN 987-1154-66-6, pp.135-141. Neuquén, Nov. 2005.
4. Wei-Xin-Ren & G. De Roeck, "Structural Damage Identification using Modal Data. II: Test verification", Journal of Structural Engineering, Vol.128, N° 1, pp.96-104, January 2002.
5. ASTM C78-84. Standard Test Method For Flexural Strength Of Concrete.
6. M.H.Peralta, N.Ercoli, "Measuring the Dynamic Properties to Detect Structural Damage", IV International ACI/ CANMET. Conference of Quality of Concrete Structures and Recent Advances in Concrete Materials and Testing, Olinda- Pernambuco – Brazil, Supplementary Proceedings, ISBN 85-98576-08-5. Sesión VII noDestructive Test, pp. 463-475, Setiembre de 2005.