

HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRA BENEFICIOS Y CONTRATIEMPOS

Marcelo Cadima Pino¹ & Francisco Aguirre Torrico²

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo presentar la influencia de diferentes cuantías de fibras sintéticas y de acero en las propiedades físicas y mecánicas de hormigones. Los ensayos basados en los procedimientos de la Norma ASTM, muestran que la inclusión de fibras trae beneficios en la ductilidad, en la resistencia a la tracción por flexión, retracción del hormigón, durabilidad y espesor en losas de pavimento rígido.

Por otro lado, la adición de fibras puede traer contratiempos como los nidos de fibra, puede afectar la trabajabilidad, la resistencia a la compresión y la utilización de agregado grueso canchado. Sin embargo, todos estos contratiempos pueden ser controlados utilizando diferentes métodos de control.

Palabras claves: Hormigón reforzado con fibras, cuantías de fibras, revenimiento, resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, módulo de rotura.

¹ MSc. por la Pfeiffer University, Licenciado en Ingeniería Civil por la Universidad Privada Boliviana, marcelocadima@gmail.com

² Profesor Doctor de la Carrera de Ing. Civil de la Universidad Privada Boliviana, faguirre@upb.edu

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la utilización de hormigones reforzados con fibras (HRF) ha ido creciendo en la construcción de pavimentos rígidos, pisos industriales, contención de túneles, etc. La incorporación de fibras al hormigón mejora las propiedades mecánicas del mismo, aumentando su ductilidad, lo cual mejora la calidad de la obra aumentando su vida útil controlando la fisuración, (Hope, 2003).

La incorporación de fibras metálicas, sintéticas en el hormigón, ha demostrado ser un medio útil para mejorar su capacidad de controlar la propagación de fisuras aumentar su resistencia a la tracción y su capacidad de deformación.

Desafortunadamente, a pesar del uso cada vez más creciente de los hormigones con fibras no existe, a nivel normativo, una instrucción que permita establecer un marco de referencia para la adición apropiada de fibras en los hormigones para poder evitar contratiempos durante la preparación, manejo y colado.

2. TÉCNICAS PARA LA PRODUCCIÓN DE HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS

Durante la producción de hormigones reforzados con fibras, el principal problema que se presenta es cómo garantizar que las fibras se dispersen uniformemente dentro de la matriz de hormigón, sin que exista la formación de nidos de fibra. Los nidos de fibras se forman en el momento de la mezcla, básicamente debido a los siguientes problemas:

- Las fibras ya formaron nidos antes de ser adicionadas en el hormigón. Los procesos tradicionales de producción de hormigón son incapaces de deshacer estos nidos.
- Las fibras fueron adicionadas muy rápidamente a la mezcla, impidiendo que se dispersen eficientemente.
- Un volumen muy grande de fibras fue adicionado a la matriz de hormigón.
- El equipo está muy desgastado o es ineficiente para dispersar las fibras eficientemente.
- Las fibras fueron introducidas en la mezcladora antes de los demás componentes del hormigón, lo que, ciertamente, causará el surgimiento de nidos.

Se tiene algunas instancias en que las fibras pueden ser añadidas:

La mejor forma de preparación de la mezcla in situ es colocar el agregado grueso y fino dentro de la mezcladora; luego, poner a mano las fibras en forma de lluvia y, por último, introducir el cemento en proporción al agua. Se debe dar un tiempo de por lo menos 4 minutos de mezclado para su correcta dispersión y para evitar la formación de nidos.

Otra forma es añadir a la mezcla en bolsas pre-pesadas que se desintegran con la acción de mezclado. Las bolsas pueden ser colocadas directamente en el sistema de mezclado para asegurar un porcentaje de mezclado adecuado.

2.1. Influencia del porcentaje de fibras incorporado

El porcentaje de fibras incorporado tiene una influencia muy grande en el comportamiento del compuesto, pues define el número de fibras presentes en la sección de ruptura, que actúan como puente de transferencia de tensiones. Cuanto mayor sea el porcentaje, mayor será la probabilidad de que las fisuras intercepten un mayor número de fibras.

El porcentaje de fibras presenta un efecto muy difícil de controlar, ya que a mayor cantidad de fibras, menor la trabajabilidad. Para poder aumentar la trabajabilidad se debe aumentar agua, pero a mayor cantidad de agua, menor resistencia.

El porcentaje de fibras de influencia, o el denominado volumen crítico de fibras, fue idealizado por Aveston (Oliveira, 2001). El volumen crítico de fibras es aquel para el cual el compuesto mantiene una resistencia residual (post-cracking) igual al de la matriz.

Designación de nombres a los hormigones

La designación de nombres codificados a los hormigones se realizó en función de la resistencia, el tipo y cuantía de fibra que se utilizó. En la Tabla 1, se muestra la asignación de letras a cada tipo de fibra y la asignación de siglas por material, en las Tablas 2 y 3 se muestra un resumen de la designación para hormigones con resistencia de 21 y 28 N/mm², respectivamente. Se ensayaron 304 especímenes a compresión y 220 a flexión, los mismos que contemplan los diferentes tipos de hormigones ensayados, con y sin fibra.

Tabla 1 – Asignación de letras y siglas.

TIPO DE FIBRA	LETRA ASIGNADA	MATERIAL DE LA FIBRA	SIGLA
Stealh	A	Sintética	HRF
Inforce	B	Sintética	HRF
Novomesh	C	Metálica	HRFM

Tabla 2 – Resumen de designaciones para hormigones con resistencia de 21 N/mm².

Designación	Resistencia (N/mm ²)	Tipo de fibra	Cuantía y porcentaje de fibras
HRF ₂₁ – A1	21	Stealth	0,60 kg/m ³
HRF ₂₁ – A2	21	Stealth	1,00 kg/m ³
HRF ₂₁ – A3	21	Stealth	1,80 kg/m ³
HRF ₂₁ – B1	21	Inforce	0,90 kg/m ³
HRF ₂₁ – B2	21	Inforce	1,35 kg/m ³
HRF ₂₁ – B3	21	Inforce	1,80 kg/m ³
HRFM ₂₁ – C1	21	Novomesh	0,20 %
HRFM ₂₁ – C2	21	Novomesh	0,25 %
HRFM ₂₁ – C3	21	Novomesh	0,50 %
HRFM ₂₁ – C4	21	Novomesh	0,75 %

Tabla 3 – Resumen de designaciones para hormigones con resistencia de 28 N/mm².

Designación	Resistencia (N/mm ²)	Tipo de fibra	Cuantía de fibras (kg/m ³)
HRF ₂₈ – A1	28	Stealth	0,60
HRF ₂₈ – A2	28	Stealth	1,00
HRF ₂₈ – A3	28	Stealth	1,80
HRF ₂₈ – B1	28	Inforce	0,90
HRF ₂₈ – B2	28	Inforce	1,35
HRF ₂₈ – B3	28	Inforce	1,80

3. TRABAJABILIDAD

La prueba que se utiliza para medir esta propiedad fue la del Cono de Abrams o la prueba del Slump ASTM C 143, con la cual se mide la consistencia, que es la capacidad del hormigón fresco para deformarse.

Según ACI 318-02, los principales factores que afectan a la trabajabilidad son considerados como internos y externos:

Factores internos:

- La consistencia que puede ser identificada por la relación agua/cemento o por el porcentaje de agua/materiales secos.
- Proporción entre cemento y agregado (trazo).
- Proporción entre agregado fino y grueso, que corresponde a la granulometría del hormigón.

- Forma del agregado, dependiendo de su modo de obtención que puede ser natural o chancado.

- Aditivos con la finalidad de influir en la trabajabilidad.

Factores externos:

- Tipo de mezclado (manual o mecánico).
- Tipo de transporte.
- Tipo de lanzado.
- Tipo de compactación.

Los resultados obtenidos durante el estudio muestran que la pérdida de trabajabilidad es proporcional a la concentración o cantidad de fibras en una mezcla de hormigón, independientemente del tipo de fibra, ya sea ésta de metal o de sintética.

3.1. Trabajabilidad de las mezclas con la adición de una cuantía mínima de fibras de plástico

En la Tabla 4 se muestra un resumen del revenimiento encontrado durante el proceso de preparación de la mezcla con la adición de cuantías mínimas de fibra de plástico.

Tabla 4 – Resumen del revenimiento con cuantías mínimas.

Designación	Cuantía mínima de fibra (Kg/m ³)	Promedio del revenimiento (mm)
H – 21	0,00	80
HRF ₂₁ – A1 HRF ₂₈ – A1	0,60	60
HRF ₂₁ – B1 HRF ₂₈ – B1	0,90	65

La Figura 1 muestra una comparación del revenimiento entre hormigones normales con los reforzados con una cuantía mínima de fibras de plástico.



a) H – 21 b) HRF₂₁ - A1, HRF₂₈ – A1 c) HRF₂₁ – B1, HRF₂₈ – B1

Figura 1 – Comparación del revenimiento con cuantías mínimas.

3.2. Trabajabilidad de las mezclas con la adición de una cuantía media de fibras de plástico

En la Tabla 5 se muestra un resumen del revenimiento encontrado durante el proceso de preparación de la mezcla con la adición de cuantías medias de fibra de plástico.

Tabla 5 – Resumen del revenimiento con cuantías medias.

Designación	Cuantía media de fibra (Kg/m ³)	Promedio del revenimiento (mm)
H – 210	0,00	80
HRF ₂₁ – A2 HRF ₂₈ – A2	1,00	45
HRF ₂₁ – B2 HRF ₂₈ – B2	1,35	55

En la Figura 2 se compara el revenimiento entre hormigones normales con los reforzados con una cuantía medias de fibras de plástico.



a) H – 21 b) HRF₂₁ – A2, HRF₂₈ – A2 c) HRF₂₁ – B2, HRF₂₈ – B2

Figura 2 – Comparación del revenimiento con cuantías medias.

De la comparación de los promedios obtenidos del revenimiento y como lo demuestran las anteriores figuras, la reducción del revenimiento es mayor a la que se provocó con la adición de cuantías mínimas. Las mezclas sufrieron una pérdida de 2,5 – 3,5 cm en el revenimiento, pero esto no significa que las mezclas estén fuera del rango de ser plásticas. Por ende, la mezcla todavía puede ser trabajable para su colocado y compactado.

3.3. Trabajabilidad de las mezclas con la adición de una cuantía máxima de fibras de plástico

La Tabla 6 muestra un resumen del revenimiento encontrado durante el proceso de preparación de la mezcla con la adición de cuantías máximas de fibra de plástico.

Tabla 6 – Resumen del revenimiento con cuantías máximas.

Designación	Cuantía máxima de fibra (Kg/m ³)	Promedio del revenimiento (mm)
H – 210	0,00	80
HRF ₂₁ – A3 HRF ₂₈ – A3	1,80	35
HRF ₂₁ – B3 HRF ₂₈ – B3	1,80	35

La Figura 3 compara el revenimiento entre hormigones normales con los reforzados con una cuantía máxima de fibras de plástico.



a) H - 21 b) HRF₂₁ – A3, HRF₂₈ – A3 c) HRF₂₁ – B3, HRF₂₈ – B3

Figura 3 – Comparación del revenimiento con cuantías máximas.

De la comparación de los promedios obtenidos del revenimiento y como lo demuestran las anteriores figuras, la reducción del revenimiento es grande. Las mezclas sufrieron una pérdida de 4,0 – 4,5 cm en el revenimiento, lo que demuestra que las mezclas están secas. Esto significa que la mezcla es difícil de ser trabajable para su colocado y compactado.

3.4. Trabajabilidad de las mezclas con la adición de diferentes porcentajes de fibras de metal

La Tabla 7 muestra un resumen del revenimiento encontrada durante el proceso de preparación de la mezcla con la adición de diferentes porcentajes de fibra de metal.

Tabla 7 – Resumen del revenimiento con diferentes porcentajes de fibra de metal.

Designación	Porcentajes de fibra de metal (Kg/m ³)	Promedio del revenimiento (mm)
H – 210	0,00	80
HRFM ₂₁ – C1	15,81 (0,2 %)	63
HRFM ₂₁ – C2	19,76 (0,25 %)	45
HRFM ₂₁ – C3	39,57 (0.5 %)	37
HRFM ₂₁ – C4	59,39 (0,75 %)	36

La Figura 4 muestra una comparación del revenimiento entre hormigones normales con los reforzados con diferentes porcentajes de fibra de metal.



a) H - 21

b) HRFM₂₁ - C1

c) HRFM₂₁ - C2



d) HRFM₂₁ - C3



e) HRFM₂₁ - C4

Figura 4 – Comparación del revenimiento con diferentes porcentajes de fibra de metal.

Comparando los promedios obtenidos del revenimiento y como lo demuestran las anteriores figuras, la reducción del revenimiento es proporcional a la concentración de fibras de metal. Es evidente que un porcentaje de fibras entre 0,2 (15,81 kg/m³) – 0,25 (19,76 kg/m³) es la opción que conviene elegir ya que el rango del revenimiento de estos porcentajes está dentro de una mezcla plástica. Otros porcentajes más elevados provocan revenimientos menores, lo que significa que la mezcla es seca y difícil de trabajar.

3.5. Trabajabilidad de las mezclas con agregado Grueso Chancado

Debido a las características de forma, tamaño y granulometría del agregado grueso chancado, no se lo recomienda para la producción de hormigones reforzados con fibra. Estas características de este tipo de agregado afectan demasiado a la trabajabilidad.

La Figura 5 muestra el revenimiento obtenido de mezclas con agregado chancado.



Figura 5 – Revenimiento de mezclas con agregado chancado.

4. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ESPECIFICADA DEL HORMIGÓN

La principal medida de la calidad estructural del hormigón es su resistencia a la compresión. Los ensayos para medir esta propiedad, deben seguir el procedimiento especificado por las normas ASTM C 172 (1991) y la ASTM C 31 (1991). La resistencia a la compresión obtenida de estos ensayos se conoce como la resistencia del cilindro f_c . Considerando los resultados obtenidos de todas las muestras, se realiza un procedimiento estadístico para obtener un valor característico del lote de cilindros f'_c , que es la principal propiedad estipulada para propósitos de diseño y se determina por medio de ensayos de cilindros estándar de $150 \times 300 \text{ mm}$ fabricados y ensayados de acuerdo con las especificaciones ASTM C 39 (1991) y ASTM C 192 – 90a (1991).

La resistencia a la compresión se puede ver afectada al tratar de controlar otros contratiempos que se presentan durante el proceso de producción del hormigón. Es por esta razón, que se debe tener cuidado en la elección del porcentaje de fibras.

A mayor porcentaje de fibras, menor propagación de fisuras, pero la trabajabilidad se reduce. Para mejorar la trabajabilidad se aumenta la cantidad de agua, provocando una caída de la resistencia a la compresión.

La mejor forma de controlar este efecto domino, es hacer una serie de iteraciones con la relación agua/cemento en la dosificación hasta encontrar un valor adecuado que no afecte mucho a la resistencia a la compresión.

5. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR FLEXIÓN

La resistencia a tracción fue determinada por flexotracción. Para este efecto, nos regimos con la norma ASTM C 78 (Método de Ensayo Estándar para Resistencia a la Flexión del Hormigón), ya que esta norma establece los procedimientos para efectuar el ensayo de tracción por flexión de probetas prismáticas de hormigón simplemente apoyadas con cargas a un tercio, ensayadas según la norma ASTM C 192 – 90a (Práctica Estándar para Hacer y Curar Especímenes de Ensayo para Laboratorio).

En las tablas 8 y 9 se presenta un resumen de los resultados obtenidos experimentalmente del módulo de rotura y su porcentaje de incremento de hormigones H-21 y H-28, con y sin fibras.

Tabla 8 – Resumen del módulo de rotura para resistencias de 28 N/mm².

Designación	Módulo de ruptura promedio a los 28 días (N/mm²)	Porcentaje de incremento del módulo de rotura
H – 28	5,65	0,00
HRF ₂₈ – A1	5,71	1,06
HRF ₂₈ – A2	5,92	4,78
HRF ₂₈ – A3	5,82	3,01
HRF ₂₈ – B1	5,87	3,89
HRF ₂₈ – B2	5,77	2,12
HRF ₂₈ – B3	5,74	1,59

Tabla 9 – Resumen del módulo de rotura para resistencias de 21 N/mm².

Designación	Módulo de ruptura promedio a 28 días (N/mm²)	Porcentaje de incremento del módulo de rotura
H – 21	4,99	0,00
HRF ₂₁ – A1	5,05	1,20
HRF ₂₁ – A2	5,20	4,21
HRF ₂₁ – A3	5,15	3,21
HRF ₂₁ – B1	5,01	0,40
HRF ₂₁ – B2	5,05	1,20
HRF ₂₁ – B3	5,02	0,60
HRFM ₂₁ – C1	5,12	2,61
HRFM ₂₁ – C2	5,31	6,41
HRFM ₂₁ – C3	5,07	1,60
HRFM ₂₁ – C4	5,06	1,40

Evidentemente la resistencia a tracción crece a medida que la cuantía o el porcentaje de fibras aumentan hasta llegar a los porcentajes máximos que es cuando disminuye. Esto significa que cuanto mayor sea el contenido de fibras en una mezcla, su resistencia a la tracción aumenta, pero se llega a un punto donde la cuantía de fibras es demasiado grande, causando bajas resistencias.

Se observa que la presencia de las fibras provoca un incremento en la resistencia y ductilidad hasta un cierto porcentaje de fibras, que sería el máximo admisible. A mayor adición de porcentaje de fibras la resistencia del hormigón disminuye.

Este incremento en la resistencia a tracción puede ser uno de los mayores beneficios obtenidos con la adición de fibras, ya que con estos incrementos se puede disminuir el espesor en pavimentos rígidos. Con lo cual se puede disminuir los costos de un proyecto.

En la figura 6 se muestra el tipo de rotura que sufren las vigas hechas de hormigón normal en comparación a las vigas hechas con hormigón reforzado con fibras durante el ensayo a flexión.



Figura 6 – Rotura de viga después del ensayo a flexión: a) sin fibra y b) con fibra

Se puede observar que la rotura que sufrió la viga hecha de hormigón normal fue brusca, es decir, se partió en dos pedazos. En cambio, las vigas hechas con hormigón reforzado no sufrieron roturas bruscas, simplemente se fisuraron debido a su mayor capacidad para deformarse.

6. DURABILIDAD

El hormigón debe ser capaz de soportar exposiciones que puedan privarlo de su eficacia: congelamiento y deshielo, humedad y secado, calentamiento y enfriamiento, sustancias químicas y otros. Puede mejorarse su resistencia a algunos de estos factores mediante la aplicación de fibras. Parece que el hormigón reforzado con fibras posee una excelente durabilidad cuando ésta bien compactado, curado y mientras las fibras permanezcan protegidas por la mezcla.

La figura 7 muestra una parte de una viga hecha con hormigón reforzado con fibras de hace seis años y expuesta a la intemperie, comparándola con una fotografía de la misma viga cuando recién se la fabricó. Como se puede observar la viga no presenta fisura alguna y se ve igual que cuando se la fabricó.

La única parte que sufrió un deterioro fueron las fibras expuestas por la rotura de la viga que no estaban protegidas por la mezcla, sin embargo las fibras que estaban dentro de la mezcla no sufrieron ningún deterioro, figura 8.



Figura 7 – Viga de HRF a) Actual y b) hace seis años.

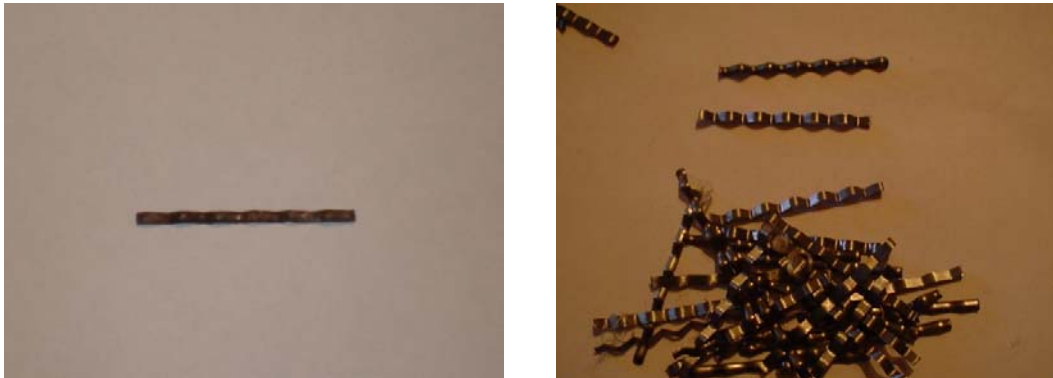


Figura 8 – Fibras Metálicas a) Actual y b) hace seis años.

7. CONCLUSIONES

Dentro las técnicas para la producción de hormigón reforzado con fibras, la que produce mejores resultados en la fabricación de mezclas in situ es lanzar las fibras en forma de lluvia después de haber colocado el agregado grueso y fino. Este método evitara la formación de nidos de fibras.

La incorporación de un porcentaje medio de fibras, mostró ser la mejor dosificación para el control de fisuras y para obtener un revenimiento que permita que la mezcla pueda ser colocada y compactada sin tener problemas. Los hormigones confeccionados con este porcentaje, también, presentan un incremento en su módulo de rotura de 1,20 a 4,21 % para una resistencia de 21 N/mm² y de 1,06 a 4,78 % para una resistencia de 28 N/mm² en comparación a los hormigones normales.

El agregado chancado no es una buena opción en la producción de hormigones reforzados con fibras, debido a sus características de forma, tamaño y granulometría perjudica a la trabajabilidad de la mezcla, haciendo de esta muy difícil de ser utilizada.

Para que la resistencia la compresión no se vea afectada al tratar de mejorar la trabajabilidad aumentando agua, se debe hacer una serie de iteraciones con la relación agua/cemento en la dosificación hasta encontrar un valor y una cantidad adecuada de cemento que no afecte a esta resistencia.

Como lo demuestran los resultados obtenidos de módulo de ruptura, la introducción de una cuantía media de fibras de plástico aumenta su valor, lo que resulta en una reducción en el espesor de una losa de pavimento rígido. Esta reducción del espesor disminuye el volumen de hormigón a ser utilizado, por tanto, los costos también se ven reducidos a pesar del costo de las fibras.

Con la incorporación de fibras a la mezcla se mejoran las propiedades mecánicas, se controla la fisuración por retracción, de esta manera se mejora la calidad del hormigón incrementando su durabilidad.

8. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo, si bien ha requerido de esfuerzo y mucha dedicación por parte de los autores, no hubiese sido posible su finalización sin la cooperación desinteresada de todas y cada una de las empresas que a continuación citaré, COBOCE HORMIGÓN, al Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón (IBCH) y a la importadora VEZLA S.R.L., las cuales aportaron su experiencia, equipos de laboratorio, información bibliográfica y materiales para la realización de la presente investigación.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Association of State Highway and Transportation Officials. *Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimento*, 444 Nort Capitol Street, Washington, D.C., USA, (1997).

Aashto-Agc-Artba Joint Committee. *The Use and State-of-the-Practice of Fiber Reinforced Concrete USA*, v 1, s/e, (Aug. 2001), pp. 1-50.

H. Abrishami and D. Mitchell, *Influencia de las Fibras de Metal en el Refuerzo a Tensión*. ACI Structural Journal USA, v 1, s/n, (Nov.-Dic. 1997), pp. 769-776.

American Concrete Institute. ACI 318. Ed. Arq. Heraclio Esqueda, México, (2002), pp. 349.

American Society for Testing and Materials, **ASTM C 29/C 29M - Standard Test Method for Unit Weight and Voids in Aggregate**. Ed. Roberta a. Storer, Philadelphia, (1991), pp. 1-4.

American Society for Testing and Materials, **ASTM C 31 - Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field**. Ed. Roberta a. Storer, Philadelphia, (1991), pp. 5-9.

American Society for Testing and Materials, **ASTM C 33 – Standard Specification for Concrete Aggregates**. Ed. Roberta a. Storer, Philadelphia, (1991), pp. 10-16.

American Society for Testing and Materials, **ASTM C 39 - Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens**. Ed. Roberta a. Storer, Philadelphia, (1991), pp. 20-24.

American Society for Testing and Materials, **ASTM C 40 – Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregate for Concrete**. Ed. Roberta a. Storer, Philadelphia, (1991), pp. 25-26.

American Society for Testing and Materials, **ASTM C 78 – Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)**. Ed. Roberta a. Storer, Philadelphia, (1991), pp. 33-35.

American Society for Testing and Materials, **ASTM C 127 – Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Course Aggregate**. Ed. Roberta a. Storer, Philadelphia, (1991), pp. 65-69.

American Society for Testing and Materials, **ASTM C 128 - Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate**. Ed. Roberta a. Storer, Philadelphia, (1991), pp. 70-73.

American Society for Testing and Materials, **ASTM C 143 - Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete**. Ed. Roberta a. Storer, Philadelphia, (1991), pp. 87-89.

American Society for Testing and Materials, **ASTM C 150 - Standard Specification for Portland Cement**. Ed. Roberta a. Storer, Philadelphia, (1991), pp. 92-96,

American Society for Testing and Materials, **ASTM C 172 - Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete**. Ed. Roberta a. Storer, Philadelphia, (1991), pp. 109-110.

American Society for Testing and Materials, **ASTM C 192-90a – Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory**. Ed. Roberta a. Storer, Philadelphia, (1991), pp. 115-121.

American Society for Testing and Materials, **ASTM C 330 - Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete**. Ed. Roberta a. Storer, Philadelphia, 1991, pp. 193-195.

American Society for Testing and Materials, **ASTM C 470 - Standard Specification for Molds for Forming Concrete Test Cylinders Vertically**. Ed. Roberta a. Storer, Philadelphia, 1991, pp. 246-249.

American Society for Testing and Materials, **ASTM C 595 - Standard Specification for Blended Hydraulic Cements**. Ed. Roberta a. Storer, Philadelphia, 1991, pp. 291-295.

American Society for Testing and Materials, **ASTM C 617 – Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens**. Ed. Roberta a. Storer, Philadelphia, 1991, pp. 299-302.

American Society for Testing and Materials, **ASTM C 1116 - Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete and Shotcrete**. Ed. Roberta a. Storer, Philadelphia, 1991, pp. 578-585.

J. Hop and P. C. Tatnal, *Mitos y Realidades sobre el Concreto Reforzado con Fibras de Metálicas*. México (Netscape Hypertext Document), (Jan. 2003), Disponible en internet: <http://www.imcyc.com/cyt/agosto03/metalicas.htm>.

P. Jimenez Montoya, A. Garcia Meseguer y F. Moran Cabre, *Hormigón Armado*. España: ed. Gustavo Gili, (1991), pp. 710.

A. H. Nilson and G. Winter, *Diseño de Estructuras de Concreto*. Undécima edición. Colombia: Ed. Martha Edna Suárez R., (1993), pp. 770.

Oliveira, de Pinto Júnior, Newto. *Relatos de Ensayos Tecnológicos*. Zeferino Vaz: s/e, (Junio 2001), pp. 1-47.

F. Rocha, R. Toledo and E. Fairbairn, *Concreto de Alto Desempeño Reforzado con Fibras*, Ingeniería Estudio e Investigación. Ed. Juiz de Fora, v3, (2000), pp. 87-98.

C. Valdivieso, R. Valdivieso y O. Valdivieso, *Estadística para Ciencias Empresariales*, Bolivia, (2003), pp. 272.

M. Cadima, *Características Mecánicas de Hormigones Reforzados con Fibras*, TFG No. UPB-LIC-009/2004, Cochabamba - Bolivia, (2004).

N. Blacud, *Estudio de Factibilidad Asfaltado Tramo Vial Villamontes – IBIBOBO – HITO BR94*. TFG No. UPB-LIC-004/2002, Cochabamba - Bolivia, (2002).

