

Fire effect on the tensile resistance of slabs steel reinforcement

Angel Bospin^a, Nerio Pérez^a, Edson Martínez^{*,b} y Salvador Scola^c

^aEscuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.

^bLaboratorio de Materiales y Ensayos, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.

^cInstituto Autónomo Municipal Cuerpo de Bomberos de Valencia, Valencia, Venezuela.

Abstract.- This paper resume the results of the evaluation of the slabs steel reinforcement performance under the fire action, with the variation of the bar recoverment, studying the positive reinforcement steel tensile resistance. 9 slabs models were elaborated with 50cm × 70cm × 20cm dimensions, with 1, 3 y 5 centimeters of concrete recoverment ; additionally 6 steel bars were tested, 3 of them were directly exposed to fire, and the rest were non fire exposed and were used like a model reference to compare the obtained tensile resistance. Every slabs were exposed to fire for 60 minutes, heated over a 400°C temperature, after that the steel bars were extracted and tested. The results showed an excellent performance of the concrete like an isolating material, because all of the tested bars showed a similar stress-deformation diagram.

Keywords: steel reinforcement; slab; fire exposition; tensile resistance.

Efecto del fuego sobre la resistencia a tracción del acero de refuerzo en losas

Resumen.- En el presente trabajo se evaluó el comportamiento del acero de refuerzo en losas nervadas bajo la acción del fuego, variando el espesor del recubrimiento, estudiando la resistencia a tracción del acero de refuerzo positivo. Se construyeron 9 modelos de losas nervadas de dimensión 50cm × 70cm × 20cm variando el espesor de recubrimiento en 1, 3 y 5 centímetros; adicionalmente se ensayaron 6 probetas de acero 3 de ellas se sometidas a fuego de forma directa, mientras las otras 3 se dejaron de patrón con el fin de establecer comparaciones en la resistencia a tracción. Todas las losas se sometieron a fuego constante durante 60 min a una temperatura mayor a 400°C para luego extraer el acero de refuerzo y ensayarlas a tracción. Los resultados arrojaron un excelente comportamiento del concreto como aislante, ya que se obtuvieron diagramas de esfuerzo-deformación similares entre todas las probetas ensayadas.

Palabras claves: acero de refuerzo; losa; exposición al fuego; resistencia a la tensión.

Recibido: febrero 2018

Aceptado: abril 2018

1. Introducción

Los incendios pueden producir efectos no deseados en las características de los elementos tanto estructurales como no estructurales de las edificaciones de concreto armado, ya que se ven afectadas sus principales características físico- mecánicas bajo la acción de las elevadas temperaturas. De acuerdo a Vidaud [1] “Por lo general, las construcciones se proyectan y construyen de modo tal que en caso de producirse

un incendio, la capacidad resistente de la estructura se mantiene durante un periodo determinado.”

Las teorías de diseño de estructuras de concreto se fundamentan entre sus hipótesis en la adherencia existente entre el acero de refuerzo y el concreto que lo rodea; sin embargo esto puede verse afectado durante la exposición al fuego así como otros aspectos importantes que puedan comprometer el buen desempeño estructural, tales como modificación de las características mecánicas del concreto y el acero, pérdida significativa del espesor del recubrimiento del concreto, desarrollo de esfuerzos por deformaciones impuestas y por diferenciales térmicos, destrucción de juntas y sellados, entre otros.

Dentro de las estructuras de concreto uno de los elementos más vulnerables durante la

*Autor para correspondencia:

Correo-e:edsontmartinez@gmail.com (Edson Martínez)

ocurrencia de un incendio lo constituyen las losas, particularmente las nervadas, ya que en este tipo de losas el volumen de concreto es menor, por lo que existe menos aislamiento ignífugo y por consiguiente mayor riesgo de afectación al acero de refuerzo, el cual puede verse afectado si no se cumplen los requerimientos mínimos de recubrimiento de concreto, o si se genera el desprendimiento del mismo durante el incendio.

La característica principal del acero de refuerzo la constituye la resistencia a la tracción, siendo de suma importancia estudiar su comportamiento bajo cualquier tipo de acción que pudiera afectarla. En este trabajo se evaluó la resistencia a tracción de probetas de acero de refuerzo de losa nervada tradicional, con diferentes valores de recubrimiento al ser expuestas al fuego, simulando un incendio real.

2. Desarrollo de la investigación

Esta investigación se puede clasificar como experimental, ya que la metodología utilizada consiste en experimentos y ensayos sobre una muestra determinada ampliando la información que existe sobre el efecto del fuego sobre barras de acero de refuerzo en losas nervadas.

Muestra

Con respecto a la muestra de cabillas a ser evaluadas, se decidió elaborar nueve modelos de losas nervadas con dimensiones que simulan la franja de diseño de estos elementos, cumpliendo con los requerimientos establecidos en el capítulo 8 de la Norma Venezolana 1753-2006 [2], cuya sección transversal se muestra en la Figura 1

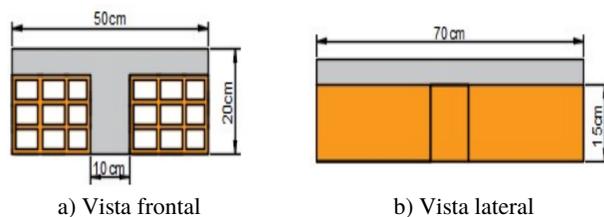


Figura 1: Vista frontal y lateral de los especímenes evaluados.

Las losas fueron reforzadas con acero longitudinal positivo consistente en una cabilla de ½” de

diámetro, fabricada en la República Dominicana, y el concreto utilizado se diseñó para una resistencia cilíndrica $f'_c : 250 \text{ Kg/cm}^2$, elaborado con agregados provenientes del sector El Playón de la población de Barbacoas, al sur del estado Aragua.

Se usaron tres valores de espesor de recubrimiento del acero inferior, a saber $e=1\text{cm}$, 3cm , 5cm , para lo cual se elaboraron 3 losas por cada valor de recubrimiento., identificadas de la siguiente manera: 1 A, 1 B, 1 C; 3 A, 3 B, 3 C; 5 A, 5 B, 5C. Cada una de las losas fue sometida a la acción del fuego, para luego extraer las probetas de acero de 60 cm de longitud que sumadas a tres probetas sin exposición (A,B y C) y tres probetas expuestas directamente sin ningún tipo de protección (AQ, BQ y CQ), constituyen la muestra de estudio, es decir quince (15) probetas de acero que fueron evaluadas a tracción pura en el Laboratorio de Materiales y Ensayos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad de Carabobo, siguiendo los procedimientos establecidos en la norma COVENIN 299-1989 [3].

Construcción de los modelos

Tal como se expuso con anterioridad, para simular de una mejor manera las losas nervadas, se construyeron modelos que asemeja la franja de diseño de este tipo de elementos, (ver Figura 2), utilizando para tal fin encofrado de madera, bloque de arcilla y cabilla estriada. Por otro lado se colocaron láminas de anime para facilitar la separación entre franjas, una vez fraguado el concreto.

Una vez colocados los bloques y el acero de refuerzo correspondiente con separadores que garantizaran el espesor de recubrimiento definido se procedió a vaciar la mezcla de concreto, enrasando a una altura predeterminada de cinco centímetros de espesor de loseta. Se desencofraron luego de 24 horas y se dispusieron en un lugar protegidas de la intemperie, hasta cumplir la edad de 28 días de vaciado.

Selección del tiempo de exposición

A la edad de 28 días, se procedió a realizar los ensayos en el Campo de Prueba de la Estación



Figura 2: Construcción de modelos de losas.

Central del Cuerpo de Bomberos de Valencia. El ensayo consistió en la exposición de los modelos de losa a fuego directo fuego, por un lapso de tiempo de 60 minutos para cada ensayo, este tiempo fue seleccionado de acuerdo a lo establecido en el documento Seguridad frente al fuego de estructuras de hormigón de Vega y Buron [4]. De acuerdo a estos autores, para 60 minutos la temperatura alcanzada para un recubrimiento de 3 cms se estima en 370°C, mientras que para temperaturas de 400°C se estima en 15 % la pérdida de resistencia del acero de refuerzo.

3. Desarrollo experimental

Caracterización de agregados

Los ensayos para determinar la calidad de los agregados, así como los parámetros necesarios para realizar el diseño de mezclas a utilizar, se rigieron bajo la normativa correspondiente a cada ensayo, establecidas en el Manual para la realización de prácticas de laboratorio en la asignatura “Materiales y Ensayos” de la carrera de Ingeniería civil en la Universidad de Carabobo elaborado por Lugo, S. [5].

Ensayo de exposición al fuego

El ensayo de exposición al fuego se llevó a cabo utilizando uno de los simuladores ubicados en el campo de prueba del Cuartel General de los Bomberos de Valencia, estado Carabobo,

alimentado por gas metano. Una vez separada cada franja de losa, se procedió a colocarla sobre apoyos de concreto, simulando un elemento simplemente apoyado, colocado a un lateral del simulador, cerca de la boca de salida del gas, como se muestra en la Figura 3.



Figura 3: Colocación de modelos en simulador de incendio.

Se utilizó una presión de treinta (30) psi, para luego inducir la llama haciendo uso de una chispa externa, (Ver Figura 4), posterior al momento de que la llama actuara de forma envolvente sobre la probeta se registró el tiempo establecido mediante la utilización de un cronómetro. Por otro lado para estimar la temperatura alcanzada por el elemento, se utilizó un termómetro digital de láser, midiendo temperatura en el concreto antes e inmediatamente después de los 60 minutos de exposición.



Figura 4: Ensayo de exposición al fuego de losas.

Luego de haber realizado cada ensayo, se procedió a la extracción cuidadosa de la cabilla, para luego llevar a cabo el ensayo de determinación de la resistencia a tracción. Este proceso se llevó a

cabo de forma manual con cuidado de no golpear el acero durante su extracción.

Ensayo para la determinación de la resistencia a la tracción del acero

Las probetas de acero extraídas de las losas sometidas al fuego, así como las probetas expuestas directamente al fuego y las barras no expuestas fueron ensayadas en la máquina de tracción universal, de acuerdo al procedimiento establecido en la norma COVENIN 299-89 Materiales metálicos ensayo a tracción, con el fin de tener un patrón de comportamiento del material a la hora de establecer las comparaciones. Con los datos obtenidos se elaboraron las gráficas esfuerzo deformación, así como la comparación de los esfuerzos y porcentajes de alargamiento evidenciados por cada una de las barras.

4. Análisis y discusión de resultados

En la siguiente grafica se muestran las envolventes correspondientes a las curvas esfuerzo deformación de las probetas ensayadas a tracción, agrupadas en muestras de 3 probetas por espesor de recubrimiento, pudiéndose observar el mismo patrón de comportamiento independientemente de la condición de recubrimiento, mientras que las probetas expuestas directamente al fuego presentaron una marcada modificación en sus propiedades traduciéndose en menor módulo de elasticidad, menor esfuerzo de fluencia y esfuerzo máximo y una reducción considerable de la tenacidad.

Tabla 1: Porcentajes de variación del esfuerzo máximo y esfuerzo de fluencia con respecto a las probetas PA, PB y PC (muestras patrones).

Probetas	F_{su} (Kg/cm ²)	F_y (Kg/cm ²)	% variación F_{su}	% variación F_y
PA-PB-PC	7696,75	4933,33		
P1A-P1B-P1C	7736,22	4983,33	0,51	1,01
P3A-P3B-P3C	7736,22	4955,00	0,51	0,44
P5A-P5B-P5C	7696,75	4983,33	0,00	1,01

En la Tabla 1 se presentan los valores promedios obtenidos para los esfuerzos máximos y de fluencia, observándose que las probetas expuestas directamente al fuego (PAQ,PBQ y PCQ) presentaron una disminución de 14,19 % del esfuerzo máximo y de un 6,96 % del esfuerzo de fluencia con respecto a la muestra patrón (probetas PA,PB y PC). Por otro lado las probetas embutidas en las losas no sufrieron ninguna variación significativa en dichas propiedades mecánicas.

Así mismo la norma COVENIN 316:2000 [6] en su sección 8.2.1.5.1. establece que el esfuerzo de fluencia real no debe exceder al esfuerzo de fluencia nominal es más de un 30 %, donde cada una de las probetas ensayadas cumplieron con el artículo. Por otra parte desde el punto de vista de la relación entre el Esfuerzo máximo real ($f_{su} *$) y el Limite fluencia real ($f_y *$), todas las barras presentaron valores mayores a la indicada por la Norma 316-2000 en su artículo 8.2.1.5.2. para este tipo de acero, ya que establece que el valor de esa relación debe ser mayor a 1,25.

Otra característica estudiada correspondió al porcentaje de alargamiento, el cual se muestra en la Tabla 2 para cada una de las barras ensayadas. Estos resultados evidencian que las probetas PB, P1A, P3A y P5B cumplen con el porcentaje mínimo de alargamiento del 12 % referido en la Norma COVENIN 316:2000, para una longitud entre marcas de 200 mm incluyendo la zona de estricción; mientras que el Reglamento técnico dominicano RTD 458 [7] establece un porcentaje mínimo de alargamiento entre 20 marcas incluyendo la estricción de la barra de 9 %, no aceptado para las barras PAQ y PCQ.

5. Conclusiones

El diagrama esfuerzo-deformación obtenido para el acero evaluado difiere del diagrama típico para un acero S-60, identificación rotulada en las cabillas. Al realizar el ensayo los diagramas reflejan el comportamiento de un acero especial y no de un acero ordinario debido a que los diagrama esfuerzo deformación no presentaron un escalón de relajamiento, además de presentar valores más altos en cuanto sus esfuerzos alcanzados.

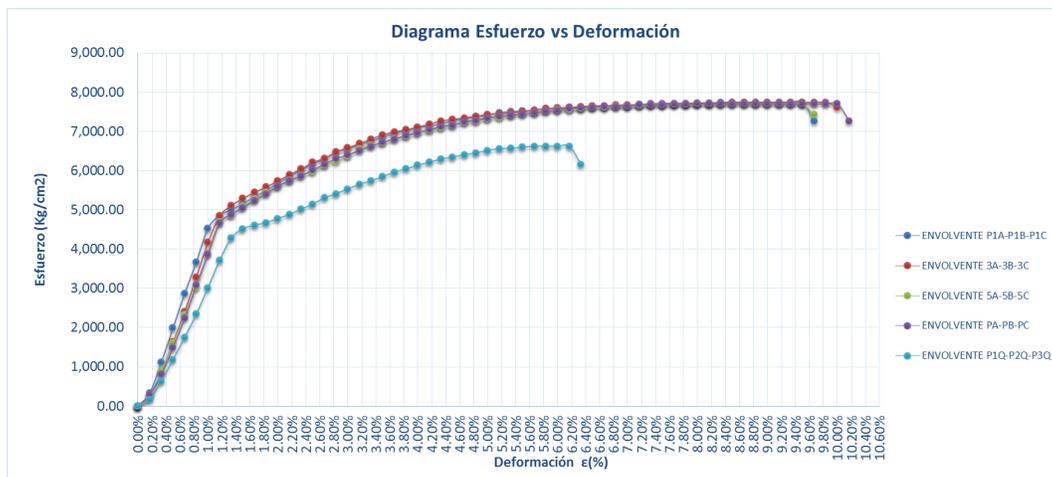


Figura 5: Curvas esfuerzo-deformación de probetas ensayadas.

Tabla 2: Porcentajes de alargamiento de cada uno de las probetas.

Probeta	L_o (cm)	L_f (cm)	ϵ_f
PA	20,00	21,90	9,50
PB	20,00	22,60	13,00
PC	20,00	21,50	7,50
P1A	20,00	22,50	12,50
P1B	20,00	21,70	8,50
P1C	20,00	22,30	11,50
P3A	20,00	22,50	12,50
P3B	20,00	22,30	11,50
P3C	NULO	NULO	NULO
P5A	20,00	21,20	6,00
P5B	20,00	22,40	12,00
P5C	20,00	22,00	10,00
PAQ	20,00	21,40	7,00
PBQ	20,00	21,80	9,00
PCQ	20,00	21,70	8,50

Como resultado del ensayo de resistencia a la tracción de las probetas extraídas de las losas sometidas al fuego, se evidencio un comportamiento muy similar al de las barras no expuestas, por otro lado en las probetas expuestas al fuego directamente se pudo apreciar un cambio notable en el diagrama esfuerzo-deformación en comparación con las barras usadas como refuerzo, observándose una caída en la curva característica de este tipo de acero.

Por ultimo de acuerdo a los resultados obtenidos se puede concluir que el concreto actuó como un excelente aislante térmico protegiendo al acero

de refuerzo de las losas nervadas, ya que una vez realizados los diagramas esfuerzo-deformación y calculados sus propiedades mecánicas más importantes no se apreció ninguna modificación con respecto a las probetas que no fueron sometidas al fuego.

Reconocimiento

Este artículo fue seleccionado por la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, como uno de los mejores Trabajos Especiales de Grado del año 2017.

6. Referencias

- [1] I. Vidaud and E. Vidaud. La acción del fuego sobre las estructuras de concreto. *Construcción y tecnología en concreto*, (5), Agosto 2011.
- [2] FONDONORMA 1753-2006, Proyecto y construcción de obras en concreto estructural. Fondo Norma, 2006.
- [3] COVENIN 299-89, Materiales metálicos. Ensayo de tracción. COVENIN, 1989.
- [4] Luis Vega Catalán and Manuel Burón Maestro. Seguridad frente al fuego de las estructuras de hormigón. *Cemento Hormigón*, (899):44–51, 2007.
- [5] Sandra M. Lugo L. Manual para la realización de prácticas de laboratorio en la asignatura ‘Materiales y Ensayos’ para la carrera de Ingeniería Civil en la Universidad de Carabobo. Trabajo de Ascenso, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad ded Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela, 2006.
- [6] COVENIN 316:2000, Norma venezolana. Barras y rollos de acero con resaltes para uso como refuerzo estructural. COVENIN, 2000.

- [7] Reglamento Técnico Dominicano RTD 458. Materiales de construcción–barra de acero corrugadas y lisas para el refuerzo del hormigón–especificaciones. DIGENOR, 2012.