

ESTUDIO DE ADHERENCIA ENTRE EL ACERO DE REFUERZO Y EL CONCRETO LIVIANO ESTRUCTURAL EN VENEZUELA

Julio Vincenti¹, Ronald Torres²

¹ *Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Departamento de Estructuras. evincenti73@gmail.com*

² *Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME). ronald.imme@gmail.com*

RESUMEN

La interacción acero-concreto basada en la adherencia mecánica, es un fenómeno de vital importancia para las estructuras de concreto reforzado, al ser clave en la transferencia de esfuerzos entre el refuerzo de acero y el concreto circundante. La comprensión de dicho fenómeno ha sido objeto de muchas investigaciones y un sinnúmero de éstas se han realizado para incluir su influencia en el análisis, diseño y reglamentación de estructuras de concreto reforzado. El presente estudio tiene como propósito fundamental la evaluación experimental de la adherencia entre el acero de refuerzo y el concreto liviano elaborado con arcillas pirolíticas expandidas producidas en Venezuela con el nombre de ALIVEN, para esta evaluación se utilizó el método prescrito en la norma Venezolana COVENIN 1667-80 “Método de ensayo para la determinación de valores comparativos de la adherencia desarrollada entre el concreto y el acero usado como refuerzo (método de extracción)”, Se ensayaron probetas cilíndricas de concreto de dimensiones 15 x 30 cm, con barras de refuerzo de 1/2”, 5/8” de pulgadas y probetas cilíndricas de 20 x 40 cm, con barras de refuerzo de 3/4”, las probetas cilíndricas se diseñaron para tres tipos de resistencia a compresión diferentes: 210,250 y 280 kgf/cm² con 28 días para su ensayo. Los resultados indican que la capacidad de adherencia para el concreto liviano aumenta mientras éste posea mayor resistencia con barras de mayor diámetro. Sin embargo, es necesario destacar que la investigación realizada sirve como punto de partida para la profundización del estudio de la adherencia entre estos dos materiales, generándose de esta forma bases para desarrollar nuevas y más avanzadas investigaciones.

Palabras Clave: Concreto liviano, agregado liviano, adherencia, ensayo adherencia.

ABSTRACT

The steel-concrete interaction based on mechanical bond, is a phenomenon of vital importance for reinforced concrete structures, being key in the transfer of efforts between the steel reinforcement and the surrounding concrete. The understanding of this phenomenon has been the subject of much research and a number of these have been made to include their influence on the analysis, design and regulation of reinforced concrete structures. The main purpose of this study is the experimental evaluation of the adhesion between reinforcing steel and lightweight concrete made with expanded pyrolytic clays produced in Venezuela under the name ALIVEN, for this evaluation was used the method prescribed in the Venezuelan standard COVENIN 1667-80 was

used "Test method for the determination of comparative values of the bond developed between concrete and steel used as reinforcement (extraction method)", For this evaluation, cylindrical concrete test pieces measuring 15 x 30 cm were used, with 1/2", 5/8" inch reinforcing bars and 20 x 40 cm cylindrical test pieces, with 3/3" reinforcing bars. 4", the cylindrical specimens were designed for three different types of compressive strength: 210,250 and 280 kgf/cm² with 28 days for their test. The results indicate that the bond capacity for lightweight concrete increases while it has greater resistance with larger diameter bars. However, it is necessary to point out that the research carried out serves as a starting point for the deepening of the study of the adherence between these two materials, generating in this way bases to develop new and more advanced investigations.

Keywords: Lightweight concrete, light aggregate, adhesion, adhesion test.

INTRODUCCIÓN

El concreto u hormigón es un material estructural muy utilizado en la construcción desde sus inicios a fines del siglo XIX y sus avances tecnológicos han traído nuevas variantes en el diseño de mezclas, con fines de disminuir su peso unitario se sustituye el agregado grueso por nuevos agregados como: poliestireno expandido, pizarras y pellas de arcilla de modo natural o artesanal expandida en hornos rotatorios. En Venezuela la empresa ALIVEN, produce un agregado liviano microporoso esférico de arcilla en forma de pellas en hornos de altas temperaturas donde se expanden y ceramizan a temperaturas cercanas a 1.200 °C de que permite alivianar la densidad natural de la arcilla y así disminuir el peso unitario del concreto de 30 a un 35%. En Venezuela en cuando se refiere a concreto liviano se entiende que es preparado con agregados livianos de arcilla expandida artificialmente [1]. Para saber si este tipo de concreto se puede utilizar estructuralmente, es importante establecer el comportamiento mecánico entre el acero de refuerzo y el concreto en la transferencia de los esfuerzos entre estos dos materiales y sobre todo cuál es su resistencia límite ante su falla; es decir, a éste fenómeno de interacción física se le conoce como adherencia; objetivo principal del presente trabajo de investigación, es evaluar ésta propiedad mecánica a través del ensayo de extracción o *Pull Out Test* establecido en la norma Venezolana COVENIN 1667-80 [2] que describe bajo qué parámetros se deben elaborar los especímenes en función del diámetro del acero de refuerzo y cómo se debe realizar el ensayo. Para ello se realizaron tres grupos de cilindros de concreto en relación a tres tipos de diseño de resistencia máxima referencial o específica de 210,250 y 280 Kgf/cm² a una condición etaria de ensayo de 28 días. A cada grupo se le suministró tres barras de refuerzos de 1/2", 5/8" y 3/4" de pulgadas de diámetro y así evaluar mejor el comportamiento de éste fenómeno mecánico y garantizar una de la hipótesis básica en el cálculo de estructuras de hormigón en la suposición de la misma deformación para ambos materiales admitiendo una perfecta adherencia [3]. Cabe destacar que la elaboración de todos los especímenes y sus ensayos se efectuaron en el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela.

METODOLOGÍA

Para el análisis de la adherencia entre el acero de refuerzo y concreto liviano estructural, se

siguieron los procedimientos instituidos en la Norma COVENIN 1667-80 [2]. Se ensayaron probetas cilíndricas de concreto de dimensiones 15 x 30 cm, con barras de refuerzo de 1/2", 5/8" de pulgadas y probetas cilíndricas de 20 x 40 cm, con barras de refuerzo de 3/4", las probetas cilíndricas se diseñaron para tres tipos de resistencia a compresión diferentes: 210, 250 y 280 kgf/cm² estas ensayadas a los 28 días de curadas. Las barras fueron colocadas verticalmente a lo largo del eje central de la probeta, sobresaliendo 11 cm hacia la parte de abajo desde la cara inferior del cilindro, cumpliendo con el mínimo de 5 cm requeridos por la norma. En la parte superior de las probetas las barras sobresalen 50 cm aproximadamente, lo cual fue suficiente para permitir el agarre de las mordazas de la máquina de ensayo. Para colocarlas se elaboró una base de madera de 95 x 95 cm, con las medidas del diámetro del cilindro y agujeros en el centro que permitieran el paso de las barras, ver figura 1a.



Figura 1 (a) Base molde de las conchas (b) Obtención de parafina (c) Parafina sobre base

Se calentaron velas hasta derretirlas para obtener parafina líquida y cubrir la base de madera, con la finalidad de que no absorbiera el agua de la mezcla y se limpiaron y aceitaron las probetas para mejorar el desencofrado de las mismas ver figuras 1.b y 1.c.

Se colocaron mangueras plásticas en las barras de refuerzo, esto debido a que la relación entre la longitud de adherencia de la barra y su diámetro, debe ser igual a 15, por lo tanto las mangueras se ubicaron de manera que impidieron la adherencia con el concreto en el resto de la barra. Adicionalmente, se colocó un refuerzo transversal helicoidal a modo de zuncho a lo largo de toda la probeta, que permitió darle mayor confinamiento a las mismas. Este refuerzo tiene forma de hélice con un paso de aproximadamente 6 cm, formado por barras de 1/4" y cuyo diámetro fue de 12 cm para las probetas de 15 x 30 cm y de 17 cm para las de 20 x 40 cm, procediendo posteriormente al vaciado de cada una de las mezclas de diseño preestablecidas, tal como se ilustra en la figura 2



Figura 2. Colocación de manguera y refuerzo helicoidal

Luego de desencofrar todas las probetas se llevaron a la piscina de curado por 28 días, se colocaron las bases de madera, para que le sirviera de apoyo a las probetas y luego se le agregó cal y agua a las piscinas. (Figura 3).



Figura 3. Curado de las probetas cilíndricas

Una vez sacados y preparadas las probetas del curado, se llevaron a la máquina de ensayo, tomando en cuenta que la superficie del cilindro de la cual sobresale el extremo largo de la barra, este en contacto con la plataforma de apoyo del cabezal superior de la máquina. Se colocaron gomas de hule entre la plataforma y la superficie de contacto del cilindro, que permitieran mejor alineamiento en la cara donde estaba apoyada la probeta. Para el registro de datos del ensayo, se utilizó un transformador diferencial de variable lineal “LVDT” de su acrónimo en inglés (figura 4).



Figura 4. Colocación del LVDT

Seguidamente se aplicó la carga a la barra de refuerzo a una velocidad no mayor de 2.250 kgf/minuto y se tomaron las lecturas del deslizamiento entre las barras de refuerzo y el concreto en el indicador del LVDT, a intervalos de tiempo suficientes para proporcionar por lo menos 10 lecturas antes de alcanzar el deslizamiento de 0,10 mm en el extremo libre de la barra. Se hicieron ciclos de aplicación de cargas, tomando lecturas con intervalos apropiados hasta que se alcanzara el límite elástico de las barras de refuerzo observándose en algunos casos el comienzo de la deformación del concreto (figura 5).



Figura 5. Deslizamiento de las barras en el concreto.

Con uso de los registros proporcionados por el LVDT, se realizan curvas esfuerzos versus desplazamientos, con ellos se obtienen los esfuerzos en el acero correspondientes a los desplazamientos de 0,1 mm. Con esto se calculan los esfuerzos de adherencia correspondientes a

un esfuerzo en el acero capaz de producir un deslizamiento de 0,1 mm en el extremo libre de la barra a través de la siguiente expresión (01) prescrita en la Norma COVENIN 1667-80 [2]:

$$\mu_{0,1} = \frac{\emptyset}{4} \left(\frac{\sigma_{0,1}}{La} \right) \quad (01)$$

Donde: \emptyset = diámetro de la barra a usada, $\sigma_{0,1}$ = esfuerzo en el acero capaz de producir un deslizamiento de 0,1 mm en el extremo libre de la barra y La = Longitud de adherencia

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados obtenidos por los ensayo de arrancamiento o *Pull Out Test* de todos los especímenes en cuanto a los tres grupos de resistencia y tres tipos de barras de refuerzos establecidas, mediante curvas esfuerzo de adherencia vs deslizamientos, pero hay que mencionar que para las probetas de resistencia a compresión de 300 kgf/cm² con acero de refuerzo de ½ pulgada de diámetro no hubo registro debido a que falló por adherencia, bajo una falla denominada como *pull out* [3] por el científico Morsch en 1908 por deslizamiento de la barra por una ruptura cónica de poca profundidad en el interfaz de adherencia. En la figura 6 muestra que el acero de refuerzo a mayor diámetro mayor esfuerzo de adherencia, esto se debe a que existe mayor superficie de contacto entre las barras y el concreto, produciendo mayor trabazón en las mismas.

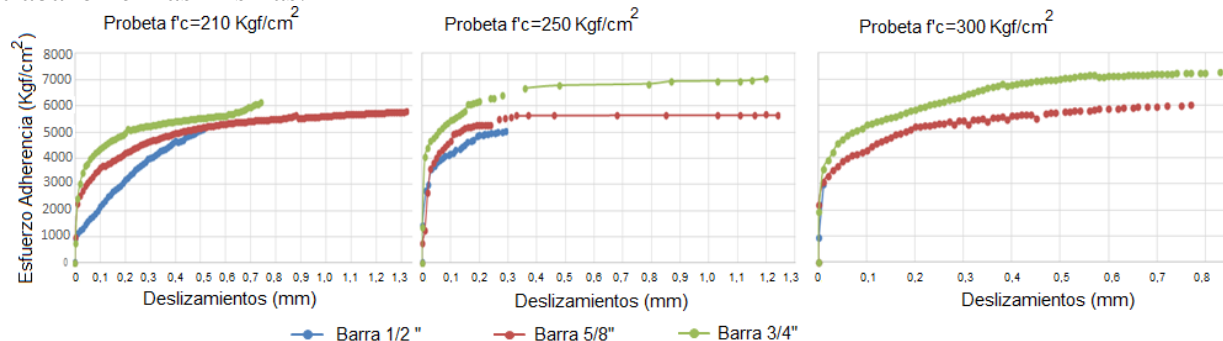


Figura 6. Curvas Esfuerzo de Adherencia Vs Deslizamientos por Resistencia del Concreto

En la figura 7 se puede evidenciar en estas curvas de adherencia-deslizamiento analizándolas por diámetro en acero de refuerzo, que la barra de ½ pulgada no presenta un buen comportamiento de resistencia de adherencia, tanto que se le puede atribuir a un comportamiento tipo falla de *Pull Out* o falla por deslizamiento, esto afirma que la resistencia de adherencia es función del deslizamiento como lo señaló con sus estudios el científico Abramsin en 1913. Nótese además que a mayor resistencia y diámetro de acero de refuerzo existe mayor resistencia adherente con un comportamiento similar.

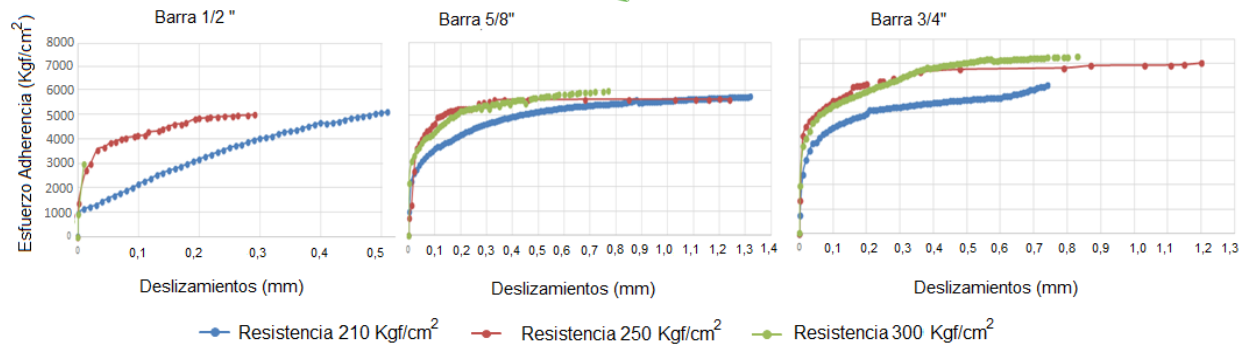
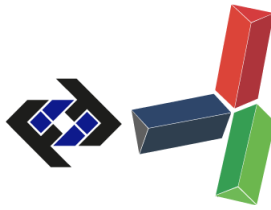


Figura 7. Esfuerzo de Adherencia Vs Deslizamientos por Tipo de Barra

La tabla 1. Muestra los cálculos de los esfuerzos de adherencia promedio de todos los especímenes ensayados para un deslizamiento de un milímetro.

Tabla 1. Esfuerzos promedios de Adherencia por resistencia del concreto y tipo de barra

Ø	Cilindro	f'c= 210 Kg/cm ²			f'c= 250 Kg/cm ²			f'c= 300 Kg/cm ²		
		σ _{0,1} Kg/cm ²	μ _{0,1} Kg/cm ²	μ _{0,1} (Prom) Kg/cm ²	σ _{0,1} Kg/cm ²	μ _{0,1} Kg/cm ²	μ _{0,1} (Prom) Kg/cm ²	σ _{0,1} Kg/cm ²	μ _{0,1} Kg/cm ²	μ _{0,1} (Prom) Kg/cm ²
1/2 "	A	2143,28	35,82	53,72	4385,54	73,28	69,23			
	B	2505,25	41,86		3900,27	65,18				
	C	1780,98	29,76							
5/8 "	A	3635,63	60,61	60,33	4847,82	80,81	77,18	4327,73	72,14	71,4
	B	3666,16	61,12		4297,36	71,64		4244,28	70,75	
	C	3554,34	59,25		4744,94	79,10		4277,82	71,31	
3/4 "	A	4755,60	79,19	66,28	4501,71	74,96	85,77	4991,85	83,13	86,12
	B	3197,20	53,24		5452,20	90,79		5544,42	92,33	
	C	3988,54	66,42		5498,95	91,57		4979,08	82,91	

Se puede apreciar incrementos de resistencia por adherencia de 6kgf/cm² para los especímenes de resistencia 210 kgf/cm² al aumentar el diámetro del acero de refuerzo, para los especímenes de 250 Kg/cm² los incrementos por diámetro de barra fueron de 8 kgf/cm² y para los de 300 kgf/cm² de casi 15 kgf/cm², lo que demuestra categóricamente siempre un aumento de adherencia al aumentar la superficie de contacto y resistencia del concreto liviano.

CONCLUSIONES

El concreto liviano con agregados livianos ALIVEN, en todas las curvas realizadas de esfuerzo de adherencia-deslizamiento, mostró comportamientos acordes a los esperados en cuanto refleja mayor resistencia de adherencia, tanto al aumentar la resistencia del concreto como al aumentar el diámetro del acero de refuerzo, por ejemplo en la resistencia del concreto de 210 kgf/cm², el aumento de adherencia por diferencia porcentual entre las barras de 1/2" y 5/8" fue 12,30% mientras de 5/8"-3/4" fue del 10%; para la resistencia del concreto de 250 kgf/cm² el aumento fue similar 11,48% para las barras 1/2"-5/8" y 11,13% entre 5/8"y 3/4", y por último para el acero de

refuerzo entre 5/8” y 3/4” alcanzó un incremento por adherencia por diferencia porcentual del 20%, exceptuando la barra de refuerzo de 1/2-5/8” que no se pudo registrar con el uso del LVDT por haberse presentado un deslizamiento de la barra, por lo que se debe exhortar o realizar más ensayos de *Pullo Out Test* para cotejar la falla que se presentó en el presente o efectuar otro tipo de ensayo como el *Beam Test* y evaluar más exhaustivamente su comportamiento, pero para mejorar este tipo de falla diferentes investigadores recomiendan extender más la longitud de adherencia.

REFERENCIAS

- [1] J. Porrero, R. Salas, C. Ramos, J. Grases y G. Velazco, Manual del Concreto, Caracas: Ediciones SIDETUR, 1996, p. 247.
- [2] Comisión Venezolana de Normas Industriales, «(COVENIN 1667-80) Método de ensayo para la determinación de valores comparativos de la adherencia desarrollada entre el concreto y el acero usado como refuerzo (método de extracción).,» Fondonorma, Caracas, 1980.
- [3] M. Molina Huelva, «Comportamiento de Estructuras de Hormigón Armado con una deficiente Transferencia de Tensiones Hormigón-Acero. Análisis Experimental y Propuesta de un Modelo de Evaluación Estructural,» Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2005.
- [4] Comisión Venezolana de Normas Industriales , «(COVENIN 339-78). Método la medición de asentamiento con el cono de Abrams,» Fondonorma, Caracas, 1978.
- [5] Comisión Venezolana de Normas Industriales, «(COVENIN 354-79). Método para el mezclado de concreto en el laboratorio,» Fondonorma, Caracas, 1979.
- [6] Comisión Venezolana de Normas Industriales, «(COVENIN 338-79). Método para la elaboración, curado y ensayo de probetas cilíndricas de concreto,» Fondonorma, Caracas, 1979.
- [7] C. Angulo Vincenzi y A. Malavé, «[1] . Evaluación Experimental de las Propiedades Mecánicas: Resistencia, Módulo de Elasticidad y Esfuerzos de Adherencia entre el Acero de Refuerzo y el Concreto Liviano Estructural,» Universidad Central de Venezuela, Caracas, 2015.