

Estudios sobre los esfuerzos de adherencia desarrollados entre el acero y el concreto con cabillas de diámetro 3/8", 1/2", 5/8", 3/4" Y 1".

Alexander O. Cedeño M.
Johnny González N.

RESUMEN

El concreto en masa presenta una buena resistencia a la compresión, como ocurre en algunas rocas naturales, pero ofrece escasa resistencia a la tracción por lo que resulta inadecuado para elementos estructurales que vayan a trabajar a tracción y flexión. Pero si se refuerza el concreto en masa disponiendo de barras de aceros en las zonas de tracción, el elemento resultante llamado concreto armado está en condiciones de poder absorber los distintos estados de sollicitaciones que se presenten en la construcción.

Los iniciadores del concreto armado como material de construcción fueron los Franceses Monier y Coignet dando para la fecha de **1861** reglas para la fabricación de vigas, bóvedas, etc. Desde entonces a lo largo de casi más de un siglo y medio la técnica de concreto armado ha experimentado un amplio desarrollo pudiendo decirse que en la actualidad ha llegado a ser de empleo preferente en numerosas aplicaciones, siendo estas más amplias que las de cualquier otro material de construcción.

El empleo del concreto armado resulta económico y casi siempre competitivo con el acero en perfiles, ofreciendo sobre estos la ventaja de su mayor monolitismo y continuidad.

La durabilidad y resistencia al fuego del concreto son superiores a las que presenta la madera y el acero, siempre que los recubrimientos y [a calidad de este sean acordes con las condiciones del medio que rodea las

estructura. Sin embargo comparando con las estructuras metálicas tiene el inconveniente de conducir a mayores dimensiones y pesos, así como a una menor rapidez de construcción, salvo en el caso de construcciones prefabricadas o industrializadas.

Por lo tanto uno de los fenómenos básicos sobre el que descansa el funcionamiento del concreto armado como material estructural es la adherencia entre el concreto y el acero. Si no existiera adherencia las barras de aceros o cabillas serían incapaces de tomar el menor esfuerzo de tracción ya que el acero deslizaría sin encontrar resistencia en toda su longitud y no acompañaría al concreto en sus deformaciones con lo que al fisurarse este sobrevendría bruscamente a la rotura. Por lo contrario gracias a la misma es capaz la armadura de trabajar inicialmente a la vez que el concreto. Después cuando este se fisura lo hace regularmente distribuido a lo largo de la pieza en virtud de la adherencia, permitiendo que el acero tome los esfuerzos de tracción, manteniendo la unión entre los dos (2) materiales en las zonas con fisuras.

La adherencia cumple dos objetivos, asegurar el anclaje, que está dado por la longitud de desarrollo de la cabilla y transmitir los esfuerzos tangenciales periféricos que aparecen en la armadura principal como consecuencia de las variaciones de su tensión longitudinal. Además dicho fenómeno de adherencia está originado por dos tipos de causas, una de naturaleza físico - química y otra de naturaleza mecánica donde interviene [a longitud de desarrollo.

La primera provoca la adhesión de acero y concreto a través de fuerzas capilares y moleculares desarrolladas en la interface, donde el acero absorbe pasta cementante ayudado por el efecto de retracción.

La segunda en la cual se concentra nuestro estudio, está constituido por la resistencia al deslizamiento debido a la penetración de la pasta de cemento en las irregularidades de la superficie de las barras de acero. Esta causa de origen mecánico que puede denominarse rozamiento, depende en gran parte de la longitud de desarrollo que tenga la barra sembrada dentro del concreto, así como el efecto de acuñamiento entre el concreto y los resaltes o estrías de las cabillas.

Como la longitud de desarrollo de una armadura es función de sus características geométricas de adherencia, de la resistencia del concreto, de la posición de la barra con respecto al concreto, del esfuerzo en la armadura y de la forma del dispositivo de anclaje por ello su cálculo es complicado y aún cuando el fallo del anclaje es un estado límite que debería dar origen en rigor al cálculo semiprobabilístico correspondiente en la práctica se sustituye por el empleo de longitudes de desarrollo dadas por fórmulas sencillas que tienden hacia el lado de la seguridad, pero incidiendo en forma contundente en el costo económico que la misma acarrea.

Cuando se proyecta una obra civil, uno de los aspectos en los que se tiene cuidado al momento de diseñar es la adherencia y en especial la longitud de anclaje. La razón fundamental en la determinación de las longitudes de desarrollo se debe a que las vigas sometidas a grandes sollicitaciones tienden a agrietarse si los recubrimientos son delgados; produciéndose por consiguiente grietas en el plano de las barras. La longitud de desarrollo consiste por lo tanto, en la prolongación de la cabilla una cierta distancia mas allá de las secciones de esfuerzos máximos en el acero, para así asegurarla unión acero-concreto; sin embargo el prolongar demasiado las cabillas pudiera significar un gasto innecesario.

Desde hace varias décadas se ha venido estudiando la adherencia acero-concreto siendo Baus (1965), quien realizó múltiples ensayos para aceros con distintos esfuerzos de cedencia y con diferentes longitudes de anclaje, definiendo de esta manera las expresiones que miden las longitudes prácticas de desarrollo en función de la resistencia del concreto y de las longitudes de anclajes experimentales. Más tarde en nuestro país Ramos (1967) repite la experiencia pero sólo para cabillas de límite elástico 2400 Kg/cm^2 , definiendo de esta forma una expresión que calculara la longitud práctica de anclaje para aceros con estas características. No fue sino hasta 1971 cuando las

Normas ACI introducen en forma explícita la longitud de desarrollo satisfaciendo en un todo los requerimientos de adherencia por flexión y por anclaje.

En este Trabajo Especial de grado, el estudio se realizó en cabillas de acero especial por composición química A-42, con un límite elástico convencional de 4200 Kg/cm^2 , de diámetros $3/8"$, $1/2"$, $5/8"$, $3/4"$, $1"$. y las longitudes prácticas de desarrollo fueron de 5ϕ , 10ϕ y

En total se ejecutaron 45 ensayos de extracción (Pull-Out) y 27 ensayos a compresión. A partir de los resultados se presenta una fórmula para la determinación de las longitudes de desarrollo la cual viene en función de los esfuerzos de adherencia correspondiente a una determinada longitud de desarrollo experimental y de la resistencia del concreto.

Finalmente, se hace una comparación de los resultados obtenidos en el presente trabajo, con las normas COVENIN-MINDUR, y con los resultados obtenidos por Baus en su trabajo titulado "Algunas consideraciones acerca de la adherencia acero-concreto".

Descripción del ensayo de extracción Pull-out

Consiste en someter a la cabilla embutida en el cilindro de concreto a una fuerza de compresión sobre el cilindro, ambas iguales pero de sentido contrario.

Por medio de este ensayo se busca medir los esfuerzos de adherencia que se desarrollan entre el concreto y el acero. Para determinar estos esfuerzos basta con dividir la fuerza de tracción requerida para producir un deslizamiento del extremo de la cabilla entre el área real de la sección transversal de la misma. Es importante señalar que el ensayo arroja valores de esfuerzos de adherencia superiores a los que se obtendrían en un modelo real, como por ejemplo vigas sometidas a flexión, causados por la fricción existente entre la cara inferior de la probeta y el cabezal de la máquina de ensayo, produciéndose esfuerzos de compresión que favorecen a la adherencia.

Es recomendable colocar en el modelo un refuerzo en espiral, para evitar una falla del concreto por tracción indirecta, que impediría conocer los esfuerzos máximos de adherencia que es capaz de desarrollar la cabilla.

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Una vez finalizado los ensayos, se procedió a elaborar los gráficos de esfuerzos — deslizamiento. En cada uno de los gráficos se presentan los resultados

de las tres probetas ensayadas para un diámetro y una longitud de desarrollo dada. Finalmente, en las gráficas III-1 al III-5 aparecen la curva promedio para cada diámetro y longitud de desarrollo.

En las tablas III-1 al III-5 se presentan los resultados del cálculo de 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, mediante la expresión:

$$U(0.1) = \phi * \sigma(0.1) / (4 * l_a)$$

Donde:

ϕ = diámetro de la barra utilizada.

$\sigma(0.1)$ = Esfuerzo en el acero capaz de producir un deslizamiento 0.1 mm en el extremo libre de la barra.

l_a = Longitud de adherencia.

Es de hacer notar, que un deslizamiento de 0.1 mm garantiza que no se produzca agrietamiento externo del cilindro, además se presentan resultados muy próximos a los que se obtendrían de realizar ensayos de flexión o "Beam-Test", así lo señala Ramos (1967), siendo por ende, un esfuerzo que garantiza una buena longitud de anclaje.

Dado que para una longitud de anclaje experimental de 15ϕ todas las cabillas sobrepasaron el límite elástico para un deslizamiento 0.1 mm., el valor del esfuerzo del acero a considerar es el esfuerzo de cedencia.

Con el fin de homogeneizar los resultados para un mismo concreto, los esfuerzos de adherencia $U(0.1)$ fueron corregidos por un factor el cual viene dado por la relación $\bar{\sigma}'_b / \sigma'_b$

Donde:

σ'_b = Valor medio de la resistente a compresión del concreto utilizado.

$\bar{\sigma}'_b$ = Resistencia a compresión del concreto correspondiente a los vaciados de cada diámetro y cada longitud de anclaje. Dando como resultado los valores de esfuerzos de adherencia corregidos:

$$U'(0.1) = (U(0.1) * \bar{\sigma}'_b) / \sigma'_b$$

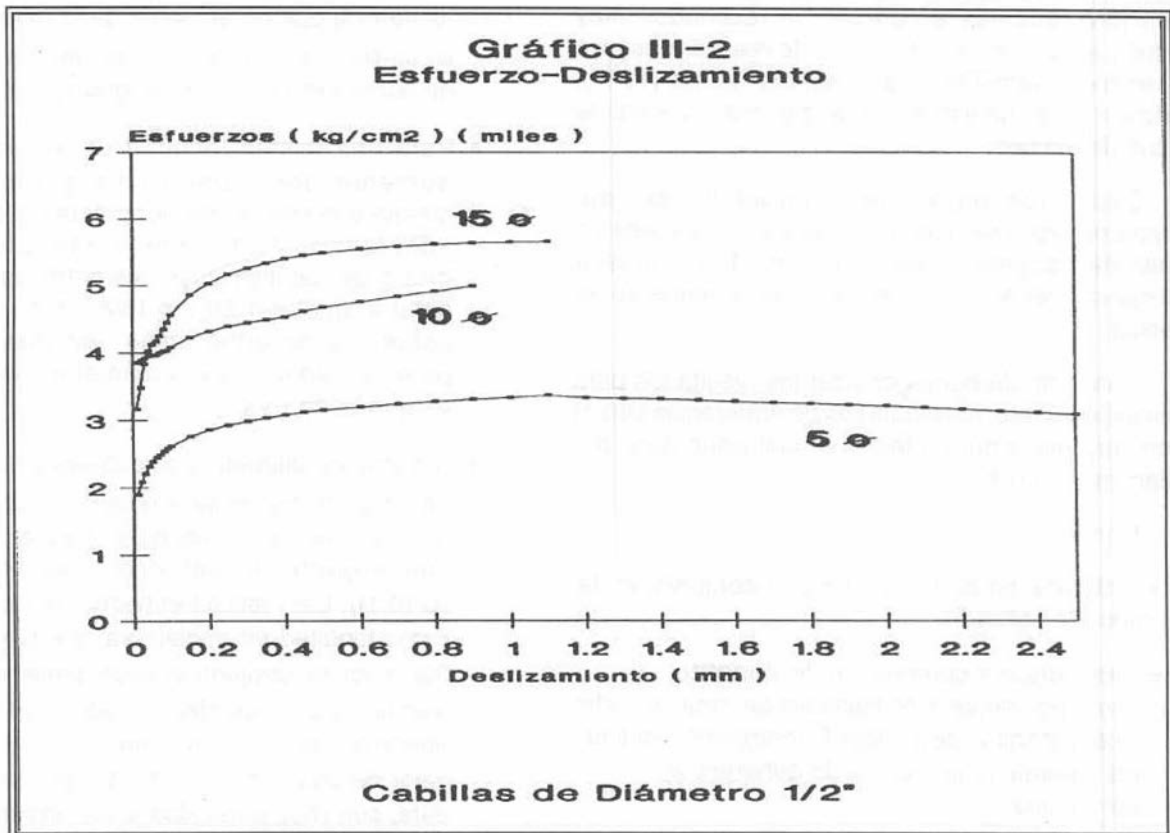
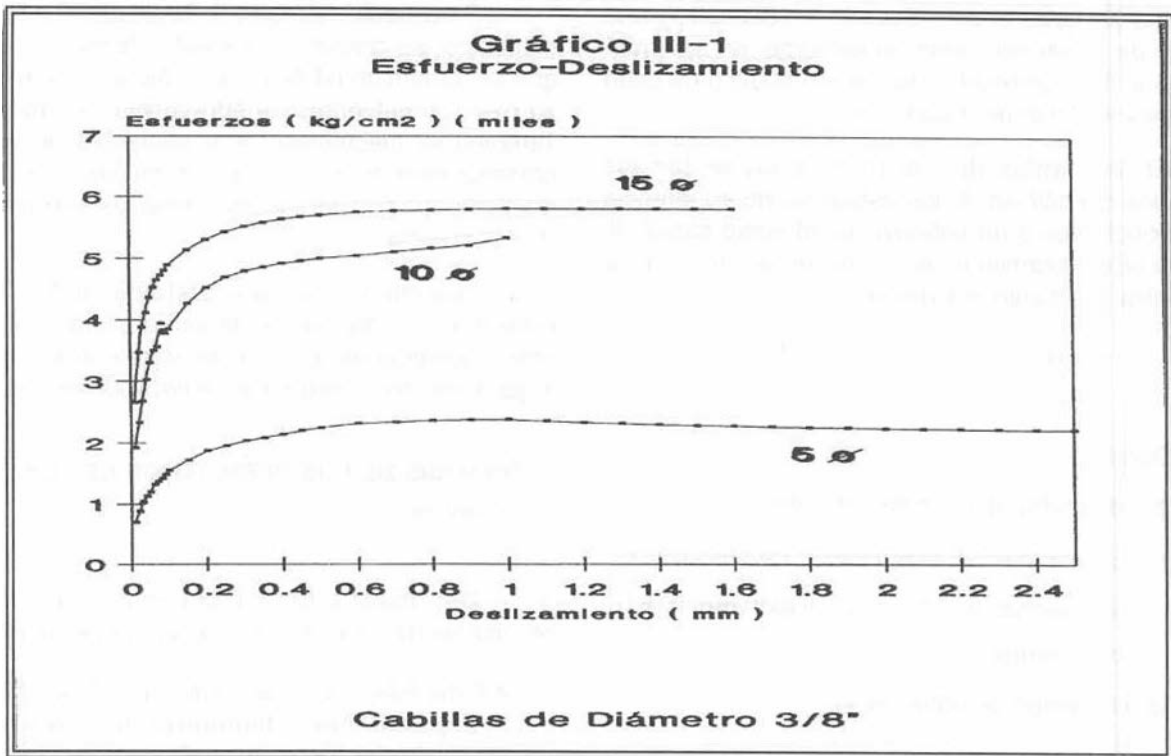
Para cada diámetro y longitud de adherencia estudiado, se calculó el promedio de los tres ensayos que se denominó ($U'(0.1)$). Un cálculo similar se realizó para los esfuerzos de adherencia máximos (U_{max}). También se calcularon los coeficientes de variación correspondiente a cada grupo de los tres ensayos manteniendo constantes los diámetros y las longitudes de adherencia.

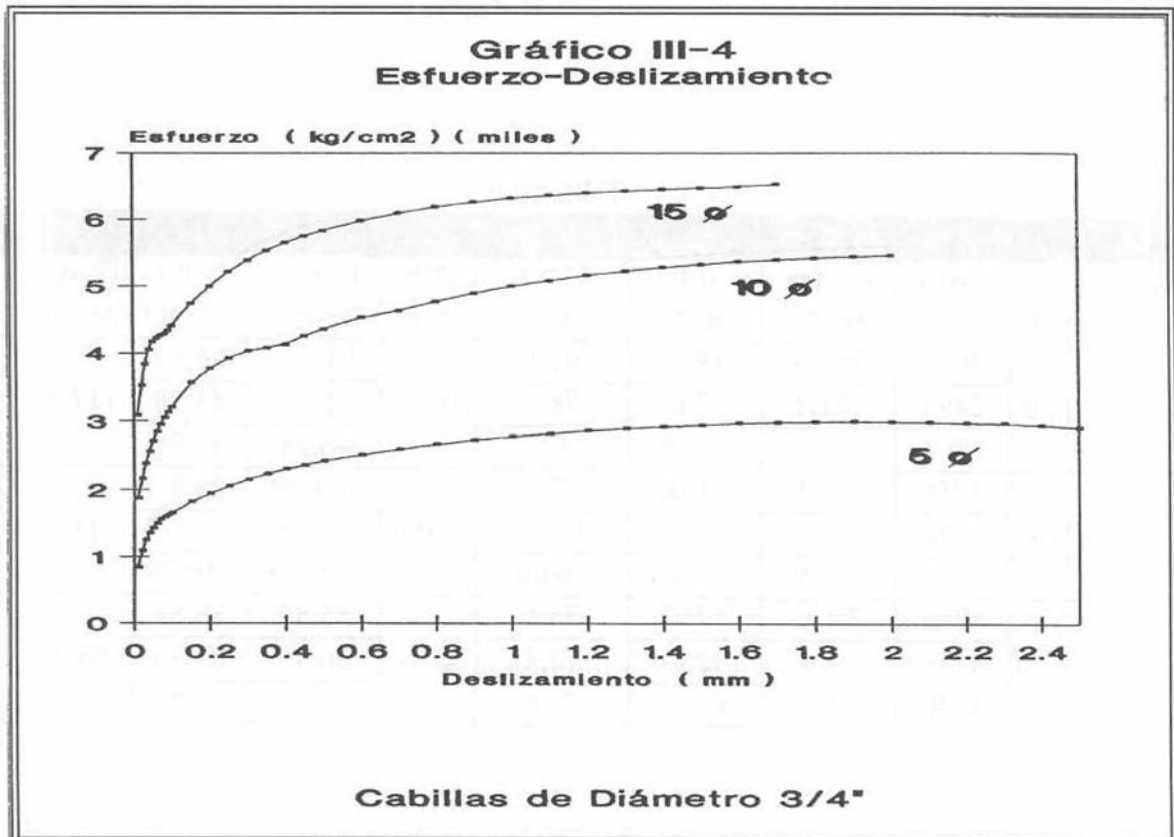
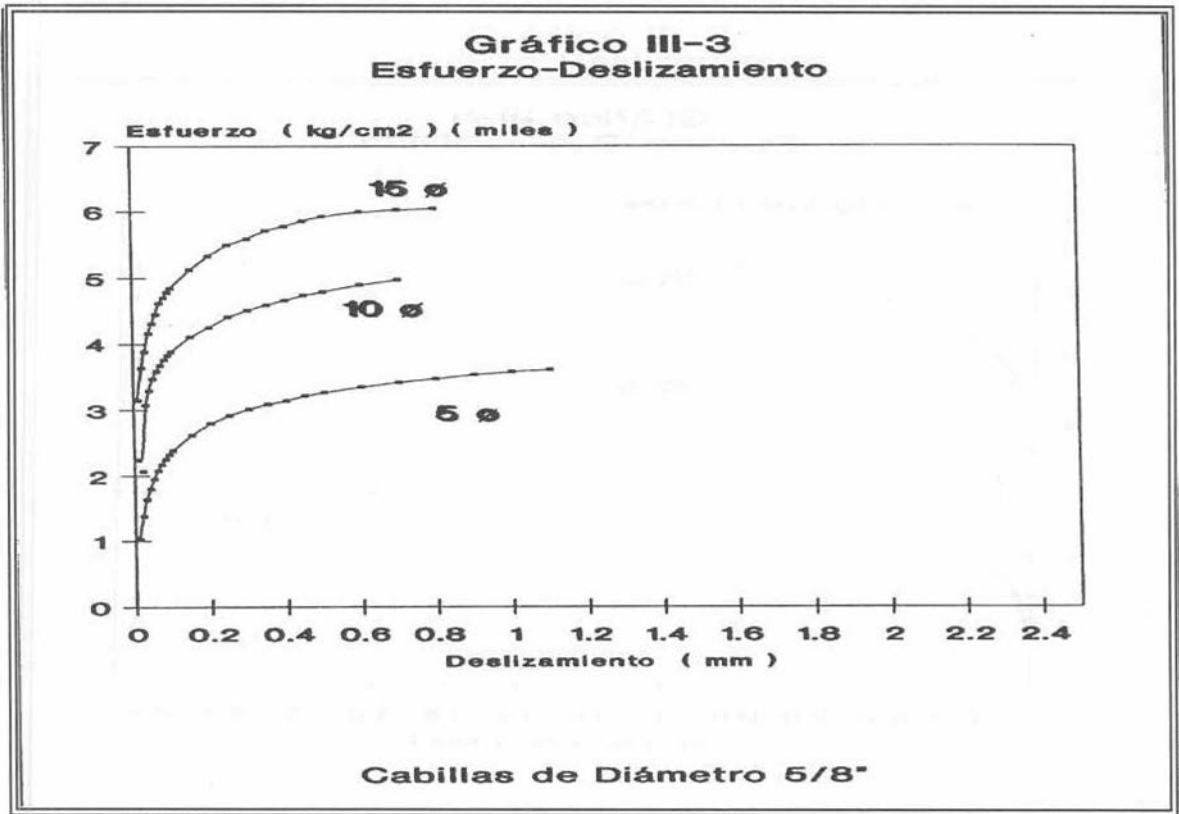
Finalmente, en los gráficos III-6 y III-7 se presentan los diagramas de esfuerzos de adherencia versus longitud de adherencia entre el diámetro (l_{adh}/ϕ) para los cinco diámetros de cabillas estudiados.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Del análisis de los gráficos III-6 y III-7, los resultados de los ensayos indicaron lo siguiente:

- A medida que se aumenta la longitud de anclaje experimental, disminuye la dispersión de resultados entre los diferentes diámetros de cabillas.
- Para todos los diámetros de cabillas estudiados, se verifica que un aumento de la relación (l_{adh}/ϕ) conlleva a una disminución en los esfuerzos de adherencia ($U'(0.1)$), al igual que los ($U_{máx}$).
- Para una misma longitud de adherencia, el aumento del diámetro no garantiza una disminución de los esfuerzos de los esfuerzos de adherencia. Pudo observarse que para el grupo de cabillas cuyo diámetro es menor o igual a 1.59 cm (5/8", 1/2", 3/8"), sus esfuerzos de adherencia son mayores que para las cabillas cuyos diámetros sobrepasan esta medida (3/4" y 1").
- En todos los diámetros de cabillas estudiados se observa que aumenta la relación (l_{adh}/ϕ), existe una evidente tendencia hacia un valor convergente de esfuerzos de adherencia ($U(0.1)$). Esto ratifica el hecho de escoger 15ϕ como longitud de anclaje ya que el ensayo de 20ϕ hubiera arrojado valores similares. Debido a un factor de seguridad tomado en este Trabajo, decidimos elegir como longitud de desarrollo el valor de 20ϕ , ya que los valores resultantes de esta, son muy parecidos a los arrojados por la de 15ϕ .





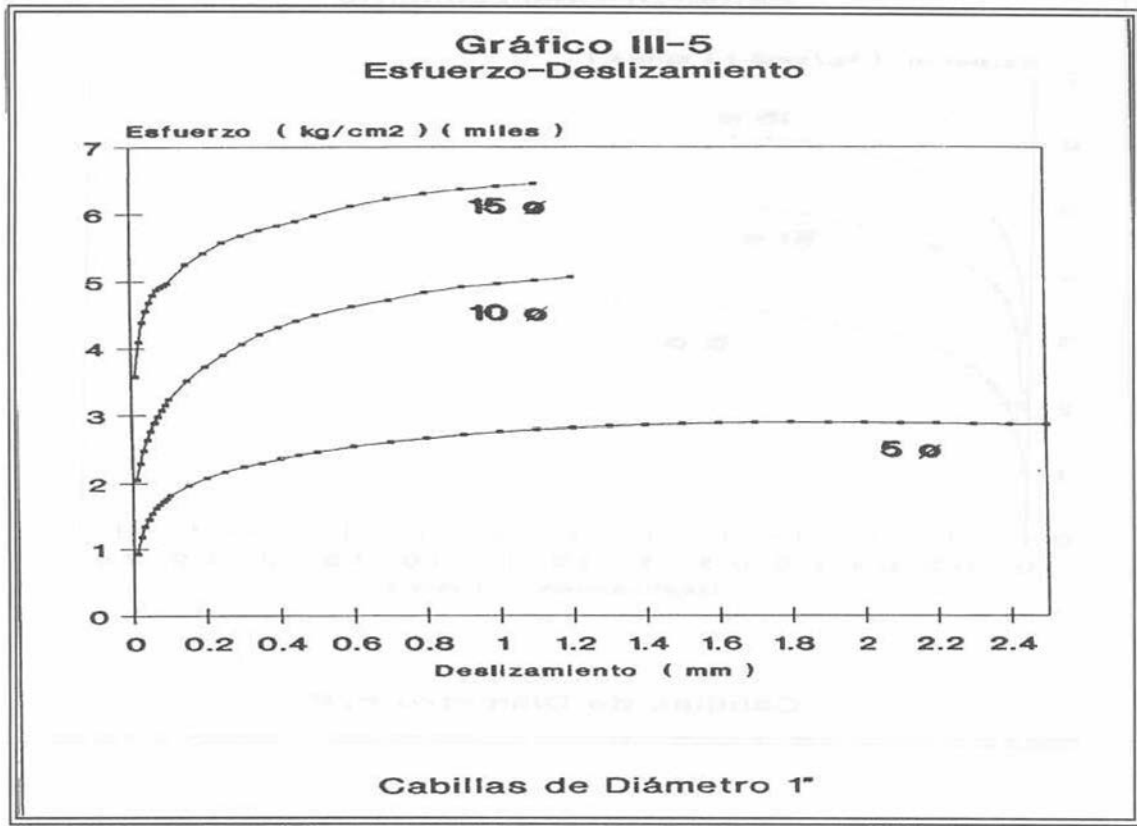


Tabla III-1

Diametro "	L adh	Max (kg/cm ²)	U Max (kg/cm ²)	0,1 (kg/cm ²)	U 0,1 (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}'_b /$ σ'_b	U' Max (kg/cm ²)	U' 0,1 (kg/cm ²)	\bar{U}' Max (kg/cm ²)	U' 0,1 (kg/cm ²)
3/8"	50	3017	151,3	1816	91,1	0,95	143,73	86,54	117,61	76,12
		2493	129,1	1706	88,3		122,55	83,88		
		1701	91,1	1138	61		86,54	57,95		
3/8"	100	4250	105,5	3138	77,9	1,09	114,99	84,91	118,59	105,69
		4250	111,1	3946	103,1		120,99	112,37		
		4250	109,9	4250	109,9		119,79	119,79		
3/8"	150	4250	74,1	4250	74,1	1,16	85,89	85,84	86,99	86,99
		4250	74,4	4250	74,4		86,36	86,36		
		4250	76,6	4250	76,6		88,85	88,85		

Tabla III-2

Diametro "	L adh	Max (kg/cm ²)	U Max (kg/cm ²)	0,1 (kg/cm ²)	U 0,1 (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}'b/$ $\sigma'b$	U'Max (kg/cm ²)	U'0,1 (kg/cm ²)	$\bar{U}'Max$ (kg/cm ²)	U'0,1 (kg/cm ²)
1/2"	50	3034	167,2	1884	103,8	0,95	158,84	98,61	176,77	137,21
		3534	194,8	2643	145,7		185,06	138,42		
		3547	196,2	3322	183,3		18604	174,61		
1/2"	100	4700	129,1	3966	108,9	1,09	140,72	118,7	139,34	120,62
		4700	127,2	4202	113,7		138,65	123,93		
		4700	127,2	4041	109,4		138,65	119,24		
1/2"	150	4700	85,1	4573	82,8	1,16	98,72	96,05	99,8	96,66
		4700	87,3	4623	85,9		101,27	99,64		
		4700	85,7	4455	81,3		99,41	94,3		

Tabla III-3

Diametro "	L adh	Max (kg/cm ²)	U Max (kg/cm ²)	0,1 (kg/cm ²)	U 0,1 (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}'b/$ $\sigma'b$	U'Max (kg/cm ²)	U'0,1 (kg/cm ²)	$\bar{U}'Max$ (kg/cm ²)	U'0,1 (kg/cm ²)
5/8"	50	3680	189	2223	114,2	0,95	179,55	109,53	178,19	116,4
		3503	180	2401	123,3		170,91	117,14		
		3785	193,8	2517	128,9		184,11	122,5		
5/8"	100	4350	113,1	4181	108,7	1,09	123,28	118,48	125,13	111,58
		4350	116,5	3811	102,1		126,99	111,3		
		4350	114,8	3648	96,3		125,13	104,97		
5/8"	150	4350	77,4	4350	77,4	1,16	89,78	89,78	88,82	88,82
		4350	75,8	4350	75,8		87,93	87,93		
		4350	76,5	4350	76,5		88,74	88,74		

Tabla III-4

Diametro "	L adh	Max (kg/cm ²)	U Max (kg/cm ²)	0,1 (kg/cm ²)	U 0,1 (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}'b/$ $\sigma'b$	U'Max (kg/cm ²)	U'0,1 (kg/cm ²)	$\bar{U}'Max$ (kg/cm ²)	U'0,1 (kg/cm ²)
3/4"	50	3024	158,7	1636	85,9	0,95	150,77	81,61	148,77	82,37
		3003	155,7	1710	88,6		147,92	84,17		
		2960	155,4	1630	85,6		147,63	81,32		
3/4"	100	4300	107,5	3024	75,6	1,09	117,18	82,4	116,52	86,98
		4300	107,2	3513	87,6		116,85	95,48		
		4300	106,7	3073	76,2		115,54	83,06		
3/4"	150	4300	69,2	4300	69,2	1,16	80,28	80,27	82,13	82,13
		4300	71,9	4300	71,9		83,4	83,4		
		4300	71,3	4300	71,3		82,71	82,71		

Tabla III-5

Diametro "	L adh	Max (kg/cm ²)	U Max (kg/cm ²)	0,1 (kg/cm ²)	U 0,1 (kg/cm ²)	$\sigma' b /$ $\sigma' b$	U'Max (kg/cm ²)	U'0,1 (kg/cm ²)	\bar{U}' Max (kg/cm ²)	\bar{U}' 0,1 (kg/cm ²)
1"	50	2700	135	1900	95	0,95	128,5	90,25	134,58	85,5
		2800	140	1800	90		133	85,5		
		3000	150	1700	85		142,5	80,75		
1"	100	4350	108,75	3700	92,5	1,16	126,5	107,3	126,15	91,83
		4350	108,75	2900	72,5		126,5	84,1		
		4350	108,75	2900	72,5		126,5	84,1		
1"	150	4350	72,5	4350	72,5	1,09	79,03	79,03	79,03	79,03
		4350	72,5	4350	72,5		79,03	79,03		
		4350	72,5	4350	72,5		79,03	79,03		

Gráfico III-7
Esfuerzo de Adherencia-Ladh/O

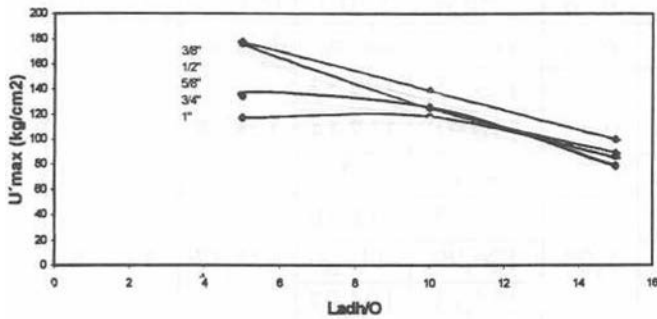
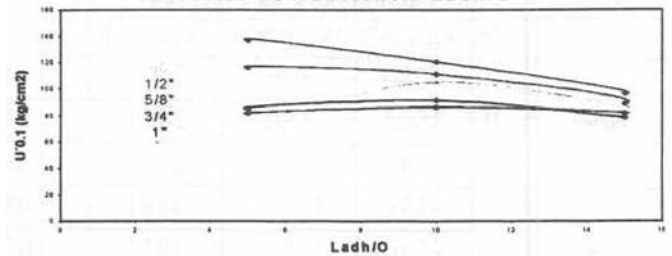


Gráfico III-6
Esfuerzo de Adherencia-Ladh/O



DETERMINACIÓN DE LAS LONGITUDES PRACTICAS DE DESARROLLO

Dado la importancia de la longitud de desarrollo, se han llevado a cabo múltiples investigaciones sobre este tópico.

La determinación de las longitudes prácticas de desarrollo que se presenta, se fundamenta en el trabajo desarrollado por Baus (1965), donde las variables empleadas fueron: resistencia del concreto, diámetro de la cabilla y aceros de diferentes calidades.

Partiendo del equilibrio existente entre los esfuerzos desarrollados por el acero y los esfuerzos de adherencia entre este y el concreto (fig. 4.1), se tiene:

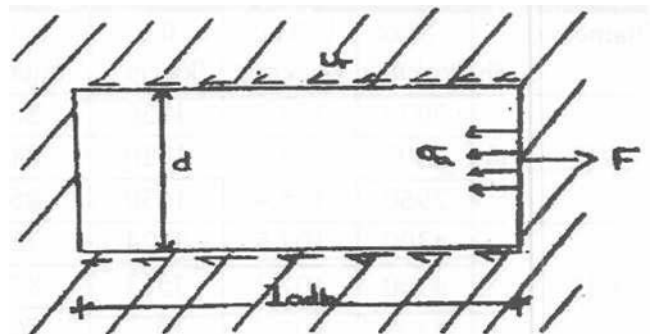


Fig. 4.1

$$F = \sigma_a * (\pi * d^2) \frac{1}{4}$$

$$F = U_r * \pi * d * l_{adh}$$

$$l_{adh} = \left(\frac{d}{4}\right) * \left(\frac{\sigma_a}{U_r}\right)$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_y}{\delta a}$$

donde: $\delta a = 1.15$

$$U_r = U_r / 1.5$$

Sustituyendo:

Resultando esta ecuación ser la n° (1)

$$l_{adh} = \left(\frac{1.5}{4}\right) * d * \left(\frac{\sigma_a}{U_r}\right)$$

Donde:

σ_y = límite elástico característico del acero.

U_r = valor del cálculo de la tensión límite de adherencia.

U_r = tensión límite de adherencia correspondiente a la longitud práctica de anclaje experimental, la cual depende de la resistencia del concreto.

Baus comprobó que la variación de los esfuerzos de adherencia en función de la resistencia del concreto, se ajusta con suficiente aproximación a la ecuación de una recta, independientemente de la calidad del acero. (fig. 4.2).

$$U_r = a * (\sigma'_b - 250) + U_r(250) \quad (2)$$

Donde: $a = 0.2$

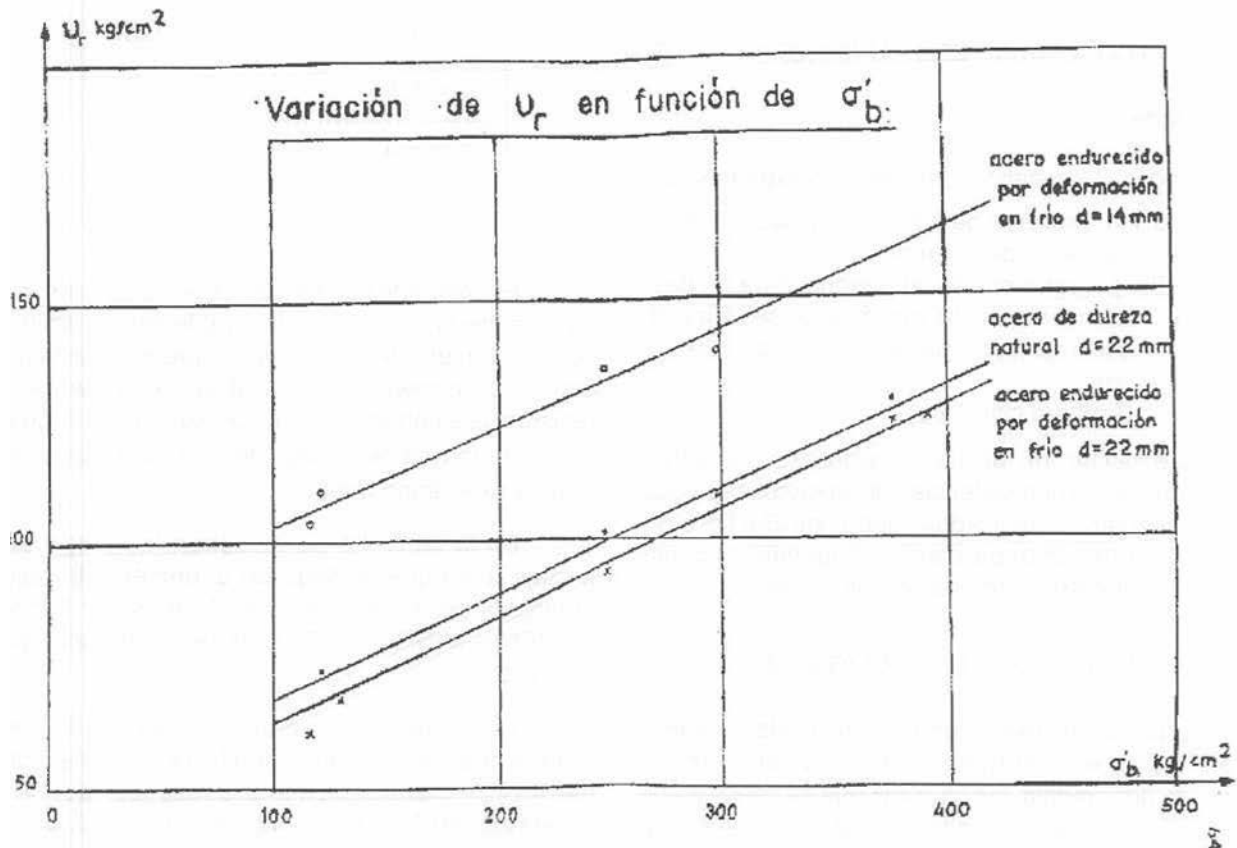


Figura 4.2

Además la adherencia está influenciada por la longitud de anclaje experimental, por lo cual se introduce una constante que viene dada por:

$$K = U(r,250) / U(r,10\phi;250)$$

Despejando $U(r,250)$ resulta:

$$U(r,250) = K * U(r,10\phi;250)$$

Con la finalidad de simplificar las ecuaciones, se expresa:

$$U_r = U(r, 10\phi;250) / C$$

Donde:

$$C = U(r,10\phi;250) / \{0.2 * (\sigma'b - 250) + K * U(r,10\phi;250)\}$$

Sustituyendo en (1)

$$L_{adh} = 0.375 * d * C * \sigma_a / U(r,10\phi;250)$$

A continuación se particularizan las expresiones obtenidas por Baus para las características del acero estudiado en el presente trabajo. Para un deslizamiento de 0.1 mm y una resistencia en el concreto de 250 kg/cm², se tiene:

$$\bar{U}'(0.1) = 0.2 * ((\sigma'b - 250) + U'(0.1;250)) \quad (3)$$

$\sigma'b$ = resistencia del concreto experimental.

Donde:

$U'(0.1)$ = esfuerzo de adherencia para un deslizamiento de 0.1 mm.

$U'(0.1;250)$ = esfuerzo de adherencia para un deslizamiento de 0.1 mm cuando se utiliza un concreto con una resistencia de 250 kg/cm².

(Probeta cilíndrica).

La ecuación (3) ajusta los esfuerzos de adherencia para cualquier resistencia del concreto, dado que esta en los ensayos realizados superó los 250 kg/cm², se despeja $U'(0.1;250)$ para así homogeneizar los esfuerzos de adherencia en una misma resistencia:

$$U'(0.1;250) = \bar{U}'(0.1) - 0.2 * (\sigma'b - 250)$$

Dado que a mayor longitud de anclaje experimental, menor es la dispersión en los valores de esfuerzos de adherencia, los cálculos que se presentan a continuación corresponde a una longitud de anclaje

$$K = \bar{U}'(0.1,250;15\phi) / U'(0.1,250;10\phi)$$

de 150.

Despejando:

$$\bar{U}'(0.1,250;15\phi) = K * U'(0.1,250;10\phi)$$

Por lo tanto:

$$\bar{U}'(0.1,15\phi) = 0.2 * (\sigma'b - 250) + K * U'(0.1,250;10\phi)$$

$$U'(0.1,250;10\phi) = \{\bar{U}'(0.1,15\phi) - 0.2 * (\sigma'b - 250)\} / K$$

La expresión $U'(0.1,15\phi)$ puede ponerse de la siguiente manera:

$$\bar{U}'(0.1,15\phi) = U'(0.1,250;10\phi) / C$$

$$C = U'(0.1,250;10\phi) / \bar{U}'(0.1,15\phi)$$

Finalmente:

$$L_{adh} = 0.375 * d * C * \sigma_a / U'(0.1,250;10\phi)$$

Seguidamente se muestran las longitudes prácticas de desarrollo obtenidas a partir de la expresión anterior, evaluándose los resultados experimentales.

CABILLAS	Ladh
$\phi = 3/8$ "	19 ϕ
$\phi = 1/2$ "	20 ϕ
$\phi = 5/8$ "	19 ϕ
$\phi = 3/4$ "	19 ϕ
$\phi = 1$ "	19 ϕ

Expresando los resultados en función del esfuerzo de adherencia más desfavorable con un límite elástico en el acero de 4405 kg/cm² que es el esfuerzo de cedencia promedio de las cabillas ensayadas y una resistencia a compresión de 20 ϕ para todos los diámetros de 250 kg/cm², se llegó a una longitud práctica de anclaje de metros experimentados.

En la tabla 4.1 se muestran las longitudes de anclaje a las que se llegó en el presente trabajo, las obtenidas por Baus, las especificadas por las normas COVENIN-MINDUR 1753 y las recomendadas por las ACI-1999.

De los valores mostrados en la tabla 4.1 se desprende que las longitudes prácticas de anclaje obtenidas en este trabajo son menores que las dadas por las normas COVENIN 1753 y por las ACI-1999, es de notar que en el ensayo aplicado (Pull-Out), se desarrollan esfuerzos de adherencia mayores, lo que conlleva a una disminución en la longitud práctica de desarrollo.

El cálculo de la longitud de anclaje en obra según las normas COVENIN-MINDUR 1753, capítulo 12, especifica que esta viene dada por:

$$l_{db} = 0.06 * A_b * f_y / \sqrt{f'c} \geq 0.006 * d_b * f_y$$

donde $0.06 * A_b * f_y / \sqrt{f'c}$, deduce del equilibrio que existe entre la carga aplicada a la cabilla y los esfuerzos de adherencia generados a lo largo de la misma (Fig. 4.3).

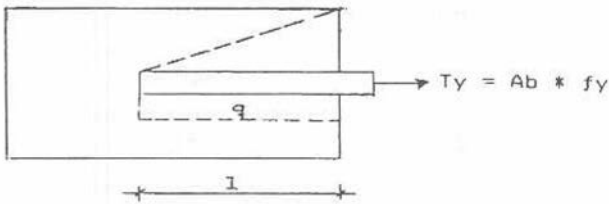


Fig.4.3

$$q * l = A_b * f_y$$

donde: de $q = \delta * \sqrt{f'c}$
 allí que $l = A_b * f_y / (\delta * \sqrt{f'c})$
 luego $q = U * \text{perímetro}$
 entonces $\delta * \sqrt{f'c} = U * \text{perímetro}$
 $\delta = U * \text{perímetro} / \sqrt{f'c}$

Evaluando en la ecuación anterior para una longitud de anclaje experimental de 15ϕ , se obtiene un valor de $1/\delta$, coeficiente tal que para las normas es igual a 0.06 y para cada una de las cabillas ensayadas en el presente trabajo resultan:

CABILLAS	1/δ
φ = 3/8 "	0.07
φ = 1/2 "	0.05
φ = 5/8"	0.04
φ = 3/4 "	0.04
φ = 1"	0.03

Por otro lado como ya se mencionó, las normas especifican que la longitud de adherencia igual a $0.06 * A_b * f_y / \sqrt{f'c}$ Debe ser mayor o igual a $0.006 * d_b * f_y$ expresión esta que resulta de evaluar $l_d = d_b * f_y / (4 * U)$, $\Omega = 1 / (4 * U)$ como la Constante que para las norma COVENIN representa 0.006; sin embargo evaluando los esfuerzos de adherencia experimentales, llegó a los siguientes

CABILLAS	Ω
φ = 3/8 "	0.003
φ = 1/2"	0.003
φ = 5/8 "	0.003
φ = 3/4 "	0.003
φ = 1"	0.003

Es de resaltar, que cuando se calculan las longitudes de adherencia según las normas COVENIN, la expresión que domina este cálculo es $0.006 * d_b * f_y$ para los diámetros de $\phi 3/8"$, $\phi 1/2"$, $\phi 5/8"$ y $\phi 3/4"$, por otro lado para $\phi 1"$ a expresión que domina es $0.06 * A_b * f_y / \sqrt{f'c}$. Como se puede observar de las tablas anteriores, el valor de las constantes $(1/\delta \text{ v } \Omega)$ resultaron la mitad de su homóloga en la ecuación dada por las normas COVENIN.es decir. para las cabillas desde $\phi 3/8"$ hasta $\phi 3/4"$ resulto 0.003 contra 0.006 de las normas y en la cabilla de $\phi 1"$ se obtuvo 0.03 contra 0.06 igualmente de las normas. Por lo que se concluye que las normas aplican un factor de seguridad igual a 2.

Las fórmulas de longitud de desarrollo especificadas en las ACI-1999 para cabillas entre sí no menos de $2d_b$, con recubrimiento libre no menor a d_b y con estribos que atraviesan la zona de desarrollo, son:

Cabillas entre 3/8" y 3/4":

$$l_d = 0.1508 * f_y * \alpha * \beta * \lambda * d_b / \sqrt{f'c}$$

Cabillas de 1":

$$l_d = 0.1885 * f_y * \alpha * \beta * \lambda * d_b / \sqrt{f'c}$$

donde:

f_y = Limite elástico promedio del acero.

α = Factor de ubicación de la armadura. Si la cabilla es de lecho superior vale 1.3, en caso contrario vale 1.

β = Factor de recubrimiento epóxico de la cabilla. Si no tiene recubrimiento epóxico el valor es 1. Si tiene recubrimiento epóxico y el recubrimiento libre de la armadura es menor o igual a $3d_b$ y la distancia entre cabillas es menor a $6d_b$, el valor es 1.5, sino se cumple estos dos últimos parámetros es 1.2. El producto de $\alpha\beta$ nunca será mayor de 1.7.

$\lambda =$

Si el agregado es liviano se usa 1.3, si el agregado es normal vale 1

f'_c = Resistencia promedio del concreto. (kg/cm²)

DIAMETRO	BAUS	TESIS	COVENIN 1753	ACI 1999
3/8"	20 ϕ	20 ϕ	26 ϕ	40 ϕ
1/2"	20 ϕ	20 ϕ	26 ϕ	40 ϕ
5/8"	20 ϕ	20 ϕ	26 ϕ	40 ϕ
3/4"	20 ϕ	20 ϕ	26 ϕ	40 ϕ
1"	20 ϕ	20 ϕ	32 ϕ	50 ϕ

TABLA 4.1

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En primer lugar se comprobó durante la ejecución de los ensayo que para una longitud de anclaje experimental de 15 ϕ , todas las cabillas alcanzaron su esfuerzo de cendencia mucho antes del valor fijado (0,1mm) dado por las normas COVENIN 1667-80

Esto nos lleva a concluir que las normas COVENIN-MINDUR 1753-87 y las ACI 1999 establecen longitudes de adherencia superiores a las obtenidas experimentalmente en este trabajo especial, representando esto una pérdida de acero.

Queda corroborado lo dicho por Baus (1965) en su trabajo sobre adherencia que para probetas con una longitud de anclaje de 20 ϕ no hubo deslizamiento de las cabillas, alcanzando estas la rotura, lo que obliga a fijar como esfuerzo máximo en el acero al esfuerzo de cedencia.

Por otro lado para una longitud de anclaje experimental de 5 ϕ se observó una dispersión muy grande de los resultados, además esta longitud de adherencia es tan pequeña que no permite el desarrollo de la adherencia acero-concreto, por lo que se recomienda no se use esta para ensayos a futuro.

A medida que aumenta la longitud de adherencia experimental disminuye la dispersión entre los esfuerzos de adherencia, mostrando una tendencia hacia un valor convergente en dichos esfuerzos, permitiendo a su vez calcular una longitud de anclaje general para las cabillas ensayadas con el esfuerzo dado y la longitud de adherencia al cual se alcanzó el mismo.

Comparando los esfuerzos de adherencia obtenidos en este trabajo especial con el de Baus, se observa que estos son mayores en el primero, lo que indica que la efectividad de la adherencia disminuye cuanto el esfuerzo cedente en el acero aumenta, demostrándose además que la longitud de adherencia no está influenciada por el esfuerzo de cedencia en el acero ya que en ambos trabajos resultó la misma.

BIBLIOGRAFÍA

- ACI. "Reglamento de las construcciones de concreto reforzado", Traducido al español del Instituto Mexicano del cemento y del concreto, 318-77
- ACI. "Diseño de estructuras de concreto conforme al reglamento", 318-83
- ASTM. "Significance of test and properties of concrete and concrete-Making materials" 1978
- Baus, R. "Propuesta para la determinación de las longitudes prácticas de anclaje a partir de las tensiones limites de adherencia deducidas del Beam-Test', Hormigón y Acero, N°77, 1965
- Biaggini A., Borges C., Pérez D. Y Guiñan E. "investigación acerca de la adherencia acero-concreto". U.C.V. ; 1966.
- CCCA. "Especificaciones mínimas para las estrías en barras de acero para uso de concreto armado", AC 103, 1969.

COVENIN. "Método de ensayo para determinar el peso específico y la absorción del agregado grueso", 269-78.

COVENIN. "Método de ensayo para determinar el peso específico y la absorción del agregado fino", 268-78.

COVENIN. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto", 338-79.

Cuevas O., Casillas J., Robles F. Y Díaz R. "Aspectos fundamentales del concreto reforzado", Editorial LIMUSA, México, 1983.

C.V.G. Siderúrgica del Orinoco, C.A. "Manual de proyectos de estructuras de acero" VIII, SIDOR; 1982.

Edward G. Nawy. "Fundamentos del concreto reforzado", Editorial PRENTICE HALL, 1998.

Bartolon Landa. "interpretación de las normas de concreto armado" SIDOR 2000.

Ferguson, P. and Thompson J. "Development length for large high strength reinforcing bars in bond",

JOURNAL AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, V. 62, n° 1, 1965.

García V. "Estudio de problemas de adherencia", U.C.V., 1968.

Grases J., Porrero J. Y Ramos C. "Manual del concreto fresco" SIDETUR, 1987.

Mathey R., and Watstein D. "Investigation of bond in beam and Pull-Out specimens with High-Yield strength deformed bars" JOURNAL AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1961.

Park R., y Paulay T. "Estructuras de concreto reforzado" Editorial LIMUSA, México, 1983.

Ráenos C. "Algunas consideraciones acerca de la adherencia acero-concreto". Caracas, 1967.

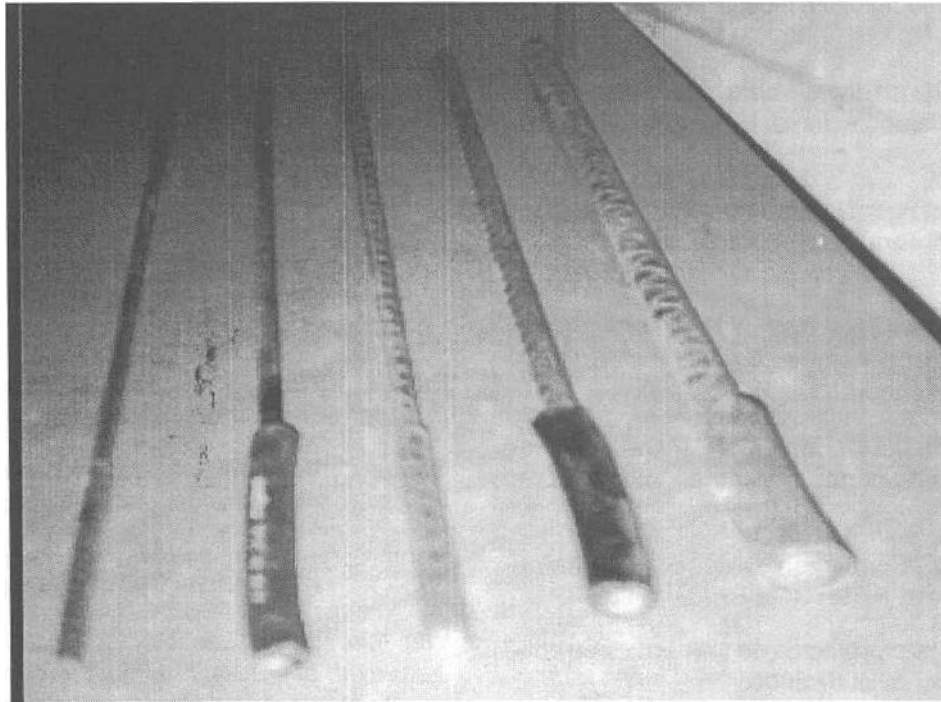
Rehm G. "Recherches sur L'adherence Acier-Beton", BULLETIN D'INFORMATION, N°48; 1965.

Watstein D. And Seese N. "effect of type of bar on width of cracks in reinforced concrete subjected to tension", JOURNAL AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. V.41; 1945.

FOTOS REFERENCIALES



Formaletas para vaciar la mezcla de Concreto



Cabillas de acero recubiertas con manguera plástica. para evitar adherencia



Serie de Cilindros vaciados. Tienen en su interior las cabillas y el refuerzo transversal



Refuerzo helicoidal transversal.