

## Taules casuístiques d'empalmaments en armadures passives per a formigó

*Manuel Jesús Carretero Ayuso*

**P**uc dir que quasi “històricament” des que existeix el formigó armat –i per tant s’han de calcular els ancoratges i cavalcaments de les barres d’acer corrugat tal com el coneixem avui dia–, en la pràctica constructiva hi ha hagut una doble dissociació. D’una banda no solia ni sol haver-hi concordança entre la manera com calculen certs tècnics aquestes longituds i el mètode que indica la norma. De l’altra, els projectistes i calculistes habitualment no especifiquen en els projectes tota la casuística de possibilitats sobre aquest aspecte, bé per l’amplitud del tema o bé pensant que ja ho resoldran a l’obra. Així, els que participen en la fase d’execució no solen aprofundir gaire sobre aquest particular, per la qual cosa no sempre s’està dins l’àmbit de la seguretat, especialment quan es tracta de diàmetres grans i que treballen a tracció.

Per aquesta raó vaig voler trencar aquest cercle i vaig calcular totes les possibilitats que es donen. Això em va permetre cobrir diversos objectius: *a)* proporcionar unes taules ja resoltes als diferents tècnics que tenia al meu càrrec dins del departament, *b)* entregar una guia de consulta als operaris de ferralla i *c)* facilitar una eina als calculistes –quan fos requerida– per incloure-la en els plànols. Al mateix temps, amb el desenvolupament complet de tota la casuística es pot veure de manera molt ràpida quan pot ser vàlida o no la coneguda regla de considerar que el cavalcament es calcula multiplicant el valor del diàmetre per 40, independentment de la seva posició i forma de treball.

El mètode de càlcul que té la Instrucció de Formigó Estructural, tant l’actual com les edicions anteriors redactades per la Comissió Permanent del Formigó, té una quantitat de variables important, de manera que per realitzar el càlcul primer s’ha de tenir clara la diferència entre què és un ancoratge i què és un cavalcament, a més de conèixer quan la barra està en posició I (de bona adherència) o quan està en posició II (de mala adherència) (vegeu Figura 1). No m’estendré a explicar aquests conceptes en entendre que corresponen a nocions bàsiques sobre el formigó armat i que ja estan definits a l’EHE’08, però sí que faré constar que hi ha tres limitacions mínimes a les longituds resultants segons la formulació –que explicaré més endavant–, de tal forma que no poden ser mai inferiors a: 150 mm; 10 vegades el diàmetre de la barra; 1/3 de la longitud bàsica

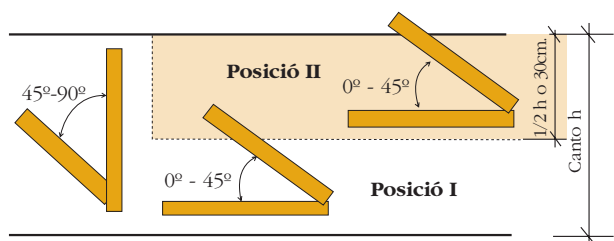


Figura 1.

d'ancoratge per a barres traccionades, o a 2/3 d'aquesta longitud si la barra està comprimida. Així doncs, per conèixer aquesta longitud bàsica d'ancoratge partirem inicialment de dues equacions (vegeu fórmules esquerres del Quadre 1) segons la posició en la qual estem quant a la pasta del formigó, la qual depèn alhora del límit elàstic de projecte de les armadures passives ( $f_{yk}$ ), del valor del diàmetre de la barra i d'un coeficient numèric "m" (vegeu Quadre 2) que està en funció de la resistència característica del formigó (en N/mm<sup>2</sup>) i del tipus d'acer (B-400-S/SD o B-500-S/SD):

Com es podrà comprovar, en la posició II s'obté un valor major, atès que està penalitzada amb un 40% (coeficient  $\rho$ ) i dividida per 14 en comptes de 20. Cal tenir en compte que, a més, en qualsevol d'aquestes posicions, en cas d'haver-hi a la barra un efecte dinàmic, la longitud resultant s'aug-

mentarà 10 vegades el diàmetre (segons preveu l'EHE'08 a l'article 69.5.1.1). El valor resultant de la fórmula el multiplicarem pel factor  $\beta$  (vegeu Quadre 3) en funció del tipus d'ancoratge (prolongació recta, de pota, en ganxo, ganxo en U o mitjançant barra transversal soldada) i per un quocient entre l'àrea de la secció traccionada [ $A_s$ ] i la secció real de l'acer [ $A_{s, real}$ ] (vegeu formulació dreta del Quadre 1).

Valors de $\beta$		
Tipus d'ancoratge	Tracció	Compressió
Prolongació recta	1	1
Pota, ganxo i ganxo en U	0,7	1
Barra transversal soldada	0,7	0,7

Quadre 3

Si el nostre cas fos l'empalament per cavalament en comptes d'ancoratge (i tenint en compte que aquest només es pot fer quan la separació entre les barres a cavalcar no disten més de 4 $\phi$  segons

Barres en posició I	$l_{bl} = m\phi^2 \geq \frac{f_{yk}}{20} \phi$	<b>Longitud neta d'acoratge</b> $l_{b, neta} = l_b \beta \frac{A_s}{A_{s, real}}$ $\beta = \text{factor de reducció}$
Barres en posició II	$l_{bII} = 1,4m\phi^2 \geq \frac{f_{yk}}{14} \phi$	

Quadre 1

Resistència característica del formigó (N/mm <sup>2</sup> )	Valor del coeficient m	
	B-400-S B-400-SD	B-500-S B-500-SD
25	1,2	1,5
30	1,0	1,3
35	0,9	1,2
40	0,8	1,1
45	0,7	1,0
≥ 50	0,7	1,0

Quadre 2

Valors d' $\alpha$ per calcular la longitud de les barres cavalcades						
Distància entre els empalmaments més pròxims (figura 2)	Percentatge de barres cavalcades treballant a tracció, en relació amb la secció total d'acer					Barres cavalcades treballant normalment a compressió en qualsevol percentatge
	20%	25%	33%	50%	>50%	
$a \leq 10 \varnothing$	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	1,0
$a > 10 \varnothing$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,0

Quadre 4

art. 69.5.2.2.) hauríem d'aplicar una fórmula més  $l_s = \alpha l_{b, neta}$ , però amb l'avantatge que partim de la base que ens donen els càlculs de la longitud neta d'ancoratge, afectades només pel paràmetre  $\alpha$  addicionalment (vegeu Quadre 4).

Com es veu, per aplicar aquesta simple fórmula hem de conèixer si la barra està traccionada o comprimida en el punt donat, saber el percentatge de barres cavalcades i la distància entre els empalmaments (vegeu Figura 2, pàg. 101), cosa força difícil de conèixer en molts elements constructius (o en zones concretes d'aquests) si no tenim davant les llistes d'esforços de l'estructura que ens proporciona l'ordinador.

Així doncs, el resultat de tot aquest càlcul en cadena ens dona 468 possibles resultats per cada

resistència característica del formigó (vegeu Taules 1 a 5, pàgs. 98, 99 i 100). Atès que segons l'EHE (art. 39.2) la tipificació normalitzada d'aquest és 25, 30, 35, 40, 45 i  $\geq 50$  (55, 60, 70, 80, 90 i 100), la possible casuística assoleix el valor de 2.340 possibles valors d'ancoratges o cavalcaments.

Per acabar, mostrarem un exemple pràctic: Suposem que ens arriba a obra una jàssera en la qual accidentalment l'armadura de muntatge ha quedat curta i no arriba al pilar. Caldria fer dos càlculs per zones: una per a la de muntatge superior i una altra per a la de muntatge inferior, i dins de cada una d'aquestes zones, per a cada diàmetre que hagués quedat amb longitud insuficient. Nosaltres ara només ho farem per a l'armadura superior i considerant un diàmetre 20 mm.

Calculat per Manuel Jesús Carretero (mesures en centímetres)		LONGITUDS D'ANCORATGE I CAVALCAMENT PER A BARRES D'ACER CORRUGAT																				Formigó: HA - 250					
TIPUS ACER	diàmetre	ANCORATGES				CAVALCAMENTS																					
		POSICIÓ I		POSICIÓ II		TRACCIÓ																				COMPRESSIÓ	
		RECTE	POTA	RECTE	POTA	POSICIÓ I										POSICIÓ II										POSICIÓ I	POSICIÓ II
						Distància $\leq 10 \varnothing$					Distància $> 10 \varnothing$					Distància $\leq 10 \varnothing$					Distància $> 10 \varnothing$						
		20%	25%	33%	50%	>50%	20%	25%	33%	50%	>50%	20%	25%	33%	50%	>50%	20%	25%	33%	50%	>50%	20%	25%	33%	50%	>50%	
B - 400	6	15	15	18	15	18	21	24	27	30	15	17	18	20	21	22	25	29	32	36	18	20	22	23	25	15	18
	8	16	15	23	18	19	22	26	29	32	16	18	19	21	22	28	32	37	41	46	23	25	28	30	32	16	23
	10	21	17	29	22	25	29	34	38	42	21	23	25	27	29	35	41	46	52	58	29	32	35	38	41	21	29
	12	25	20	35	27	30	35	40	45	50	25	28	30	33	35	42	49	56	63	70	35	39	42	46	49	25	35
	16	33	26	47	36	40	46	53	59	66	33	36	40	43	46	56	66	75	85	94	47	52	56	61	66	33	47
	20	48	38	67	51	58	67	77	86	96	48	53	58	62	67	80	94	107	121	134	67	74	80	87	94	48	67
	25	75	58	105	79	90	105	120	135	150	75	83	90	98	105	126	147	168	189	210	105	116	126	137	147	75	105
B - 500	6	15	15	22	17	18	21	24	27	30	15	17	18	20	21	26	31	35	40	44	22	24	26	29	31	15	22
	8	20	16	29	22	24	28	32	36	40	20	22	24	26	28	35	41	46	52	58	29	32	35	38	41	20	29
	10	26	20	36	27	31	36	42	47	52	26	29	31	34	36	43	50	58	65	72	36	40	43	47	50	26	36
	12	31	24	44	33	37	43	50	56	62	31	34	37	40	43	53	62	70	79	88	44	48	53	57	62	31	44
	16	41	32	58	44	49	57	66	74	82	41	45	49	53	57	70	81	93	104	116	58	64	70	75	81	41	58
	20	60	46	84	63	72	84	96	108	120	60	66	72	78	84	101	118	134	151	168	84	92	101	109	118	60	84
	25	94	71	131	97	113	132	150	169	188	94	103	113	122	132	157	183	210	236	262	131	144	157	170	183	94	131

Taula 1

## Taules casuístiques d'empalmaments en armadures passives per a formigó

Calculat per Manuel Jesús Carretero (mesures en centímetres)		LONGITUDS D'ANCORATGE I CAVALCAMENT PERA BARRES D'ACER CORRUGAT																				Formigó: HA - 300						
TIPUS ACER	diàmetre	ANCORATGES				CAVALCAMENTS																				COMPRESSIÓ		
		POSICIÓ I		POSICIÓ II		TRACCIÓ																						
		RECTE	POTA	RECTE	POTA	POSICIÓ I										POSICIÓ II											POSICIÓ I	POSICIÓ II
						Distància $\leq 10 \phi$					Distància $> 10 \phi$					Distància $\leq 10 \phi$					Distància $> 10 \phi$							
						20%	25%	33%	50%	>50%	20%	25%	33%	50%	>50%	20%	25%	33%	50%	>50%	20%	25%	33%	50%	>50%			
B - 400	6	15	15	18	15	18	21	24	27	30	15	17	18	20	21	22	25	29	32	36	18	20	22	23	25	15	18	
	8	16	15	23	18	19	22	26	29	32	16	18	19	21	22	28	32	37	41	46	23	25	28	30	32	16	23	
	10	21	17	29	22	25	29	34	38	42	21	23	25	27	29	35	41	46	52	58	29	32	35	38	41	21	29	
	12	25	20	35	27	30	35	40	45	50	25	28	30	33	35	42	49	56	63	70	35	39	42	46	49	25	35	
	16	33	26	47	36	40	46	53	59	66	33	36	40	43	46	56	66	75	85	94	47	52	56	61	66	33	47	
	20	41	33	59	45	49	57	66	74	82	41	45	49	53	57	71	83	94	106	118	59	65	71	77	83	41	59	
	25	63	49	88	67	76	88	101	113	126	63	69	76	82	88	106	123	141	158	176	88	97	106	114	123	63	88	
B - 500	6	15	15	22	17	18	21	24	27	30	15	17	18	20	21	26	31	35	40	44	22	24	26	29	31	15	22	
	8	20	16	29	22	24	28	32	36	40	20	22	24	26	28	35	41	46	52	58	29	32	35	38	41	20	29	
	10	26	20	36	27	31	36	42	47	52	26	29	31	34	36	43	50	58	65	72	36	40	43	47	50	26	36	
	12	31	24	44	33	37	43	50	56	62	31	34	37	40	43	53	62	70	79	88	44	48	53	57	62	31	44	
	16	41	32	58	44	49	57	66	74	82	41	45	49	53	57	70	81	93	104	116	58	64	70	75	81	41	58	
	20	52	40	73	55	62	73	83	94	104	52	57	62	68	73	88	102	117	131	146	73	80	88	95	102	52	73	
	25	81	62	114	85	97	113	130	146	162	81	89	97	105	113	137	160	182	205	228	114	125	137	148	160	81	114	

Taula 2

Calculat per Manuel Jesús Carretero (mesures en centímetres)		LONGITUDS D'ANCORATGE I CAVALCAMENT PERA BARRES D'ACER CORRUGAT																				Formigó: HA - 350						
TIPUS ACER	diàmetre	ANCORATGES				CAVALCAMENTS																				COMPRESSIÓ		
		POSICIÓ I		POSICIÓ II		TRACCIÓ																						
		RECTE	POTA	RECTE	POTA	POSICIÓ I										POSICIÓ II											POSICIÓ I	POSICIÓ II
						Distància $\leq 10 \phi$					Distància $> 10 \phi$					Distància $\leq 10 \phi$					Distància $> 10 \phi$							
						20%	25%	33%	50%	>50%	20%	25%	33%	50%	>50%	20%	25%	33%	50%	>50%	20%	25%	33%	50%	>50%			
B - 400	6	15	15	18	15	18	21	24	27	30	15	17	18	20	21	22	25	29	32	36	18	20	22	23	25	15	18	
	8	16	15	23	18	19	22	26	29	32	16	18	19	21	22	28	32	37	41	46	23	25	28	30	32	16	23	
	10	21	17	29	22	25	29	34	38	42	21	23	25	27	29	35	41	46	52	58	29	32	35	38	41	21	29	
	12	25	20	35	27	30	35	40	45	50	25	28	30	33	35	42	49	56	63	70	35	39	42	46	49	25	35	
	16	33	26	47	36	40	46	53	59	66	33	36	40	43	46	56	66	75	85	94	47	52	56	61	66	33	47	
	20	48	38	67	51	58	67	77	86	96	48	53	58	62	67	80	94	107	121	134	67	74	80	87	94	41	67	
	25	75	58	105	79	90	105	120	135	150	75	83	90	98	105	126	147	168	189	210	105	116	126	137	147	56	105	
B - 500	6	15	15	22	17	18	21	24	27	30	15	17	18	20	21	26	31	35	40	44	22	24	26	29	31	15	22	
	8	20	16	29	22	24	28	32	36	40	20	22	24	26	28	35	41	46	52	58	29	32	35	38	41	20	29	
	10	26	20	36	27	31	36	42	47	52	26	29	31	34	36	43	50	58	65	72	36	40	43	47	50	26	36	
	12	31	24	44	33	37	43	50	56	62	31	34	37	40	43	53	62	70	79	88	44	48	53	57	62	31	44	
	16	41	32	58	44	49	57	66	74	82	41	45	49	53	57	70	81	93	104	116	58	64	70	75	81	41	58	
	20	60	46	84	63	72	84	96	108	120	60	66	72	78	84	101	118	134	151	168	84	92	101	109	118	51	84	
	25	94	71	131	97	113	132	150	169	188	94	103	113	122	132	157	183	210	236	262	131	144	157	170	183	75	131	

Taula 3

Calculat per Manuel Jesús Carretero (mesures en centímetres)		LONGITUDS D'ANCORATGE I CAVALCAMENT PER A BARRES D'ACER CORRUGAT																				Formigó: HA - 400					
TIPUS ACER	diàmetre	ANCORATGES				CAVALCAMENTS																				COMPRESSIÓ	
		POSICIÓ I		POSICIÓ II		TRACCIÓ																					
		RECTE	POTA	RECTE	POTA	POSICIÓ I										POSICIÓ II										POSICIÓ I	POSICIÓ II
						Distància ≤10 ø					Distància >10 ø					Distància ≤10 ø					Distància >10 ø						
						20%	25%	33%	50%	>50%	20%	25%	33%	50%	>50%	20%	25%	33%	50%	>50%	20%	25%	33%	50%	>50%		
B - 400	6	15	15	18	15	18	21	24	27	30	15	17	18	20	21	22	25	29	32	36	18	20	22	23	25	15	18
	8	16	15	23	18	19	22	26	29	32	16	18	19	21	22	28	32	37	41	46	23	25	28	30	32	16	23
	10	21	17	29	22	25	29	34	38	42	21	23	25	27	29	35	41	46	52	58	29	32	35	38	41	21	29
	12	25	20	35	27	30	35	40	45	50	25	28	30	33	35	42	49	56	63	70	35	39	42	46	49	25	35
	16	33	26	47	36	40	46	53	59	66	33	36	40	43	46	56	66	75	85	94	47	52	56	61	66	33	47
	20	41	33	59	45	49	57	66	74	82	41	45	49	53	57	71	83	94	106	118	59	65	71	77	83	41	59
	25	51	41	73	56	61	71	82	92	102	51	56	61	66	71	88	102	117	131	146	73	80	88	95	102	51	73
B - 500	6	15	15	22	17	18	21	24	27	30	15	17	18	20	21	26	31	35	40	44	22	24	26	29	31	15	22
	8	20	16	29	22	24	28	32	36	40	20	22	24	26	28	35	41	46	52	58	29	32	35	38	41	20	29
	10	26	20	36	27	31	36	42	47	52	26	29	31	34	36	43	50	58	65	72	36	40	43	47	50	26	36
	12	31	24	44	33	37	43	50	56	62	31	34	37	40	43	53	62	70	79	88	44	48	53	57	62	31	44
	16	41	32	58	44	49	57	66	74	82	41	45	49	53	57	70	81	93	104	116	58	64	70	75	81	41	58
	20	51	40	73	55	61	71	82	92	102	51	56	61	66	71	88	102	117	131	146	73	80	88	95	102	51	73
	25	69	53	96	72	83	97	110	124	138	69	76	83	90	97	115	134	154	173	192	96	106	115	125	134	69	96

Taula 4

Calculat per Manuel Jesús Carretero (mesures en centímetres)		LONGITUDS D'ANCORATGE I CAVALCAMENT PER A BARRES D'ACER CORRUGAT																				Formigó: HA - >500					
TIPUS ACER	diàmetre	ANCORATGES				CAVALCAMENTS																				COMPRESSIÓ	
		POSICIÓ I		POSICIÓ II		TRACCIÓ																					
		RECTE	POTA	RECTE	POTA	POSICIÓ I										POSICIÓ II										POSICIÓ I	POSICIÓ II
						Distància ≤10 ø					Distància >10 ø					Distància ≤10 ø					Distància >10 ø						
						20%	25%	33%	50%	>50%	20%	25%	33%	50%	>50%	20%	25%	33%	50%	>50%	20%	25%	33%	50%	>50%		
B - 400	6	15	15	18	15	18	21	24	27	30	15	17	18	20	21	22	25	29	32	36	18	20	22	23	25	15	18
	8	16	15	23	18	19	22	26	29	32	16	18	19	21	22	28	32	37	41	46	23	25	28	30	32	16	23
	10	21	17	29	22	25	29	34	38	42	21	23	25	27	29	35	41	46	52	58	29	32	35	38	41	21	29
	12	25	20	35	27	30	35	40	45	50	25	28	30	33	35	42	49	56	63	70	35	39	42	46	49	25	35
	16	33	26	47	36	40	46	53	59	66	33	36	40	43	46	56	66	75	85	94	47	52	56	61	66	33	47
	20	41	33	59	45	49	57	66	74	82	41	45	49	53	57	71	83	94	106	118	59	65	71	77	83	41	59
	25	51	41	73	56	61	71	82	92	102	51	56	61	66	71	88	102	117	131	146	73	80	88	95	102	51	73
B - 500	6	15	15	22	17	18	21	24	27	30	15	17	18	20	21	26	31	35	40	44	22	24	26	29	31	15	22
	8	20	16	29	22	24	28	32	36	40	20	22	24	26	28	35	41	46	52	58	29	32	35	38	41	20	29
	10	26	20	36	27	31	36	42	47	52	26	29	31	34	36	43	50	58	65	72	36	40	43	47	50	26	36
	12	31	24	44	33	37	43	50	56	62	31	34	37	40	43	53	62	70	79	88	44	48	53	57	62	31	44
	16	41	32	58	44	49	57	66	74	82	41	45	49	53	57	70	81	93	104	116	58	64	70	75	81	41	58
	20	51	40	73	55	61	71	82	92	102	51	56	61	66	71	88	102	117	131	146	73	80	88	95	102	51	73
	25	64	50	91	69	77	90	102	115	128	69	70	77	83	90	109	127	146	164	182	91	100	109	118	127	64	91

Taula 5

- mode:	cavalcament
- treball:	tracció
- posició:	II
- formigó:	HA-25
- distància:	$\leq 10 \phi$
- % cavalcament en la secció:	>50%
- acer:	B-500-S
- diàmetre:	20 mm

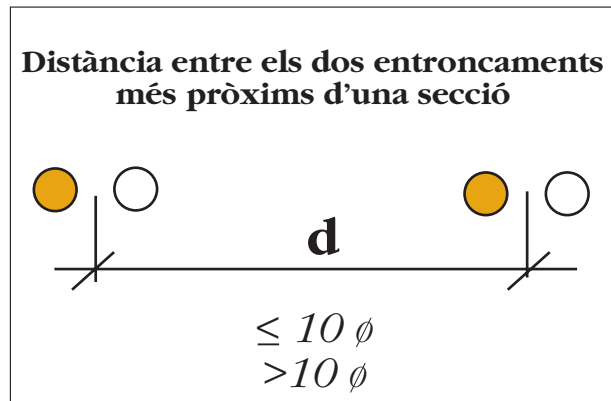


Figura 2

El resultat d'aquesta longitud utilitzant les fórmules anteriors ens dona 168 cm, valor molt diferent del sistema de les 40 vegades el diàmetre (que serien en aquest cas 80 cm) que s'utilitzen en

algunes obres per a qualsevol classe de posició, tipus d'acer, resistència del formigó, i tant per a cavalcament com ancoratge.

- És autor dels manuals de consulta *Forjados Unidireccionales: Su control en tablas* (editat pel Colegio Oficial de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de Badajoz) i *Acero y Hormigón: Su control en tablas* (editat pel Colegio de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de Cáceres i pel de Gran Canaria).
- Participa en el llibre *Fallos más frecuentes en la construcción* (que editarà el Colegio Oficial de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de Madrid).
- Ha publicat diversos articles en les revistes *Cercha*, *Arte y Cemento*, *Zuncho*, *Rct*, *El Correo de la Construcción*, *Profesionales*, *Habitex*, *Actualidad Intromac* i butlletins de diferents col·legis professionals (Badajoz, Cáceres, Biscàia, Alacant, Granada...).
- Ha participat en el 2<sup>o</sup> Congreso Extremeño de la Construcción, en la Convención Nacional de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de España (CONTART) en les seves segona, tercera, quarta i cinquena edició, i en altres jornades i conferències.
- Ha impartit diversos cursos sobre las normes EHE, EFHE, CTE, i sobre control de qualitat i control d'execució

**Manuel Jesús Carretero Ayuso**

*Arquitecte tècnic  
President de la Comissió de Cultura  
del COAATIE de Badajoz*