

EL cálculo de longitudes de anclaje y solape de barras corrugadas según la EHE-08

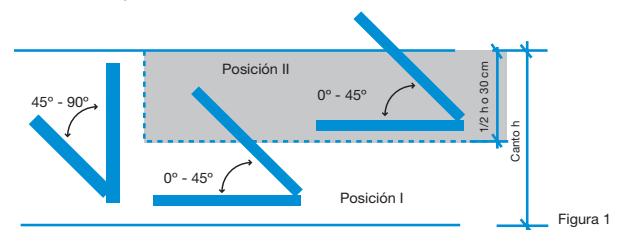
Manuel Jesús Carretero Ayuso, A.T., Profesor de la Escuela Politécnica de la Universidad de Extremadura.

Puedo decir que casi “históricamente” desde que existe el hormigón armado, y por tanto hay que calcular los anclajes y solapes de las barras de acero corrugado tal como lo conocemos hoy en día, ha existido en la práctica constructiva una doble disociación. Esto es; por una parte no solía ni suele haber concordancia entre el modo con el que calculan ciertos técnicos estas longitudes y el método que indica la norma. La segunda, porque los proyectistas y calculistas habitualmente no especifican en sus proyectos toda la casuística de posibilidades sobre este aspecto, bien por lo profuso del tema, bien pensando que ya lo resolverán en la obra. De esta manera, los que participan en la fase de ejecución no suelen profundizar en exceso sobre este particular, por lo que no siempre se está en el lado de la seguridad, especialmente cuando se trata de diámetros grandes y que trabajen a tracción.

Por esta razón, quise romper este círculo y procedí a calcular todas las posibilidades que se dan. Esto me permitió cubrir varios objetivos: a) el proporcionar unas tablas ya resueltas a los distintos técnicos que tenía a mi cargo dentro del departamento, b) entregar una guía de consulta a los operarios de ferralla y c) facilitar una herramienta a los calculistas -cuando fuera requerida- para la inclusión en los planos. Al mismo tiempo, con el desarrollo total de toda la casuística, se vería de manera muy rápida cuando podría valer o no la conocida regla de considerar que el solape se calcula multiplicando el valor del diámetro por 40, independientemente de su posición y forma de trabajo.

El método de cálculo que tiene la Instrucción de Hormigón Estructural, tanto la actual como las ediciones anteriores redactadas por la Comisión Permanente del Hormigón, tiene una cantidad de

variables importante de tal forma que para realizar el cálculo, hay que tener primero claro la diferencia entre qué es un ANCLAJE y qué es un SOLAPE, además de conocer cuando nuestra barra está en POSICIÓN I (de buena adherencia) o cuando en POSICIÓN II (de mala adherencia) -ver figura 1-. No me extenderé en explicar estos conceptos por entender que corresponden a nociones básicas sobre el hormigón armado y estar definidas en la EHE'08, pero sí haré constar que hay tres limitaciones mínimas a las longitudes resultantes según la formulación -que explicaré más adelante de tal forma que no pueden ser nunca inferiores a: 150mm; 10 veces el diámetro de la barra; y a 1/3 de la longitud básica de anclaje para barras traccionadas, o a 2/3 de dicha longitud si la barra está comprimida.



Así pues, para conocer esa longitud básica de anclaje, partiremos inicialmente de dos ecuaciones -ver formulas izquierdas del cuadro 1- según de la posición en la que estemos dentro de la masa del hormigón, la cual depende a su vez del límite elástico de proyecto de las armaduras pasivas (f_{yk}), del valor del diámetro de la barra y de un coeficiente numérico “m” -ver cuadro 2- que está en función de la resistencia característica del hormigón (en N/mm²) y del tipo de acero (B-400-S/SD o B-500- S/SD):

Como se podrá comprobar, en la posición II se obtiene un valor mayor dado que está penalizada

CUADRO 1

Barras en Posición I	$l_{bl} = m\sigma^2 \geq f_{yk} \cdot \phi / 20$	Longitud neta de anclaje $l_{b, neta} = l_b \cdot \beta \cdot \frac{A_s}{A_{s, real}}$ <i>β=factor de reducción</i>
Barras en Posición II	$l_{bII} = 1,4 m\sigma^2 \geq f_{yk} \cdot \phi / 14$	

CUADRO 2

Resistencia característica del hormigón (N/mm²)	Valor del coeficiente 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

CUADRO 3

VALORES DE β		
TIPO DE ANCLAJE	TRACCIÓN	COMPRESIÓN
Prolongación recta	1	1
Patilla, gancho y gancho en U	0,7	1
Barra transversal soldada	0,7	0,7

con un 40% (coeficiente p) y dividida por 14 en lugar de por 20. Hay que tener en cuenta que además, en cualquiera de dichas posiciones, en caso de existir en nuestra barra un efecto dinámico, la longitud resultante se aumentará 10 veces el diámetro (según prevé la EHE'08 en su artículo 69.5.1.1). Al valor resultante de la fórmula lo multiplicaremos por el factor β –ver cuadro 3– en función del tipo de anclaje (prolongación recta, en patilla, en gancho, gancho en U o mediante barra transversal soldada) y por un cociente entre el área de la sección traccionada [As] y la sección real del acero [As,real] –ver formulación derecha del cuadro 1–.

Si nuestro caso fuera el empalme por solape en lugar de anclaje (y teniendo en cuenta que éste solo se puede hacer cuando la separación entre las barras a solapar no distan más de 4φ según artº 69.5.2.2.) tendríamos que aplicar un fórmula más $[l_s = \alpha l_{b, neta}]$ pero con la ventaja de que partimos

de la base que nos dan los cálculos de la longitud neta de anclaje, afectadas sólo por el parámetro α adicionalmente –ver cuadro 4–.

Como se ve, para aplicar esta simple fórmula tenemos que conocer si nuestra barra está traccionada o comprimida en el punto dado, saber el porcentaje de barras solapadas y la distancia entre los empalmes; cosa bastante difícil de conocer en muchos elementos constructivos (o en zonas concretas de ellos) sino tenemos delante el listados de esfuerzos de la estructura que nos da el ordenador.

Así pues, el resultado de todo este cálculo en cadena nos da 468 posibles resultados por cada resistencia característica del hormigón –ver tablas 1 a 5–. Dado que según la EHE (artº 39.2) la tipificación normalizada de éste es 25, 30, 35, 40, 45 y ≥50 (55, 60, 70, 80, 90 y 100), la posible casuística alcanza el valor de 2.340 posibles valores de anclajes o solapes.

CUADRO 4

VALORES DE α PARA CALCULAR LA LONGITUD DE LAS BARRAS SOLAPADAS						
Distancia entre los empalmes más próximos	Porcentaje de barras solapadas trabajando a tracción, con relación la sección total de acero					Barras solapadas trabajando normalmente a compresión en cualquier porcentaje
	20%	25%	33%	50%	>50%	
a ≤ 10φ	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	1,0
a > 10φ	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,0

Para finalizar, **MOSTRAREMOS UN EJEMPLO PRÁCTICO:** Supongamos que nos llega a obra una jácena en la que accidentalmente la armadura de montaje ha quedado corta y no llega al pilar. Habría que hacer dos cálculos por zonas: una para la de montaje superior y otra para la de montaje inferior, y dentro de cada una de ellas, para cada diámetro que hubiera quedado con longitud insuficiente. Nosotros, vamos a hacerlo ahora solamente para la armadura superior y considerando un diámetro 20mm.

BASES DE PARTIDA PARA EL EJEMPLO	
MODO	Solape
TRABAJO	Tracción
POSICIÓN	II
HORMIGÓN	HA-25
DISTANCIA	< 10 σ
% SOLAPE EN LA SECCIÓN	>50%
ACERO	B-500-S
DIÁMETRO	20 mm

EL RESULTADO de esta longitud utilizando las fórmulas anteriores no da: 168cm, valor muy distinto del sistema de las 40 veces el diámetro (que serían en este caso 80cm) que se utilizan en algunas obras para cualquier clase de posición, tipo de acero, resistencia del hormigón, y ya sea solape o anclaje.

TABLA 1

		LONGITUDES DE ANCLAJE Y SOLAPE PARA BARRAS DE ACERO CORRUGADO																				Hormigón: HA - 250					
TIPO ACERO	DIÁMETRO	ANCLAJES				SOLAPES																				COMPRESIÓN	
		POSICIÓN I		POSICIÓN II		TRACCIÓN										POSICIÓN I		POSICIÓN II									
		RECTO	PATILLA	RECTO	PATILLA	POSICIÓN I					POSICIÓN II					20%	25%	33%	50%	>50%							
						Distancia \leq 10 σ		Distancia > 10 σ			Distancia \leq 10 σ		Distancia > 10 σ														
		20%	25%	33%	50%	>50%	20%	25%	33%	50%	>50%	20%	25%	33%	50%	>50%	20%	25%	33%	50%	>50%	POSICIÓN I	POSICIÓN II				
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	

TABLA 2

		LONGITUDES DE ANCLAJE Y SOLAPE PARA BARRAS DE ACERO CORRUGADO																				Hormigón: HA - 300					
TIPO ACERO	DIÁMETRO	ANCLAJES				SOLAPES																				COMPRESIÓN	
		POSICIÓN I		POSICIÓN II		TRACCIÓN										POSICIÓN I		POSICIÓN II									
		RECTO	PATILLA	RECTO	PATILLA	POSICIÓN I					POSICIÓN II					20%	25%	33%	50%	>50%							
						Distancia \leq 10 σ		Distancia > 10 σ			Distancia \leq 10 σ		Distancia > 10 σ														
		20%	25%	33%	50%	>50%	20%	25%	33%	50%	>50%	20%	25%	33%	50%	>50%	20%	25%	33%	50%	>50%	POSICIÓN I	POSICIÓN II				
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	

TABLA 3

		LONGITUDES DE ANLAJE Y SOLAPE PARA BARRAS DE ACERO CORRUGADO																				Hormigón: HA - 350						
TIPO ACERO	DIÁMETRO	ANCLAJES				SOLAPES																				COMPRESIÓN		
		POSICIÓN I		POSICIÓN II		TRACCIÓN																						
		RECTO	PATILLA	RECTO	PATILLA	POSICIÓN I					POSICIÓN II					POSICIÓN I					POSICIÓN II					POSICIÓN I	POSICIÓN II	
						Distancia ≤ 10 ø		Distancia > 10 ø			Distancia ≤ 10 ø		Distancia > 10 ø			Distancia ≤ 10 ø		Distancia > 10 ø										
				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	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	
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	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		

TABLA 4

		LONGITUDES DE ANLAJE Y SOLAPE PARA BARRAS DE ACERO CORRUGADO																				Hormigón: HA - 400						
TIPO ACERO	DIÁMETRO	ANCLAJES				SOLAPES																				COMPRESIÓN		
		POSICIÓN I		POSICIÓN II		TRACCIÓN																						
		RECTO	PATILLA	RECTO	PATILLA	POSICIÓN I					POSICIÓN II					POSICIÓN I					POSICIÓN II					POSICIÓN I	POSICIÓN II	
						Distancia ≤ 10 ø		Distancia > 10 ø			Distancia ≤ 10 ø		Distancia > 10 ø			Distancia ≤ 10 ø		Distancia > 10 ø										
				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	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	
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		

TABLA 5

		LONGITUDES DE ANLAJE Y SOLAPE PARA BARRAS DE ACERO CORRUGADO																				Hormigón: HA ≥ 500						
TIPO ACERO	DIÁMETRO	ANCLAJES				SOLAPES																				COMPRESIÓN		
		POSICIÓN I		POSICIÓN II		TRACCIÓN																						
		RECTO	PATILLA	RECTO	PATILLA	POSICIÓN I					POSICIÓN II					POSICIÓN I					POSICIÓN II					POSICIÓN I	POSICIÓN II	
						Distancia ≤ 10 ø		Distancia > 10 ø			Distancia ≤ 10 ø		Distancia > 10 ø			Distancia ≤ 10 ø		Distancia > 10 ø										
				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	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	
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	64	70	77	83	90	109	127	146	164	182	91	100	109	118	127	64	91		