

Cómo calcular las viguetas de hormigón

Javier Lahuerta, arquitecto

La Parte I, "Características de las viguetas", en el número 5 de la Revista, mayo de 1959.

II. Método de cálculo

JUSTIFICACION

En la Parte I se han definido las cuatro características esenciales de una vigueta prefabricada de hormigón, con un breve comentario sobre cada una, para mejor fijar su concepto y aclarar su razón de ser.

Probablemente a algunos de los que proyectan les habrá extrañado que sea preciso calcular en cada vigueta cuatro características, pues estaban acostumbrados a determinar solamente el momento flector útil, sin preocuparse de las demás, y, como nunca les ocurrió nada, puede parecerles superfluo esto de cuatro. Sin embargo, no es así.

La necesidad de tener en cuenta el esfuerzo cortante útil, en determinados casos, ya se demostró en la Parte I, por tanto no se insiste en ello.

Sobre la exigencia del módulo de empotrado basta citar el caso de un siniestro, desgraciadamente con varios muertos, en el que la causa del hundimiento fué la rotura de unas viguetas de piso. Además de otras cosas, se comprobó que las viguetas se habían calculado contando empotramiento en los muros, con un momento flector negativo en los extremos igual, en valor absoluto, al positivo de centro de vano, y que el armado superior de las viguetas era simplemente un redondo de montaje. El módulo de empotrado de tales viguetas era casi cero, y, para tal hipótesis, debió haber tenido valor 1.

El módulo de flecha es evidente que debe tenerse en cuenta para evitar deformaciones excesivas y prevenir, mediante una debida relación flecha : luz, las grietas que con mucha frecuencia aparecen en los guarnecidos de los techos.

Como el cálculo de las cuatro características precisas para la elección del tipo de vigueta es de gran sencillez (3), quizá pareciera no ser preciso insistir en ello, pero es conveniente precisar algún concepto más, y sistematizar las operaciones del cálculo, publicando además una tabulación, con la que se evite realizar operaciones numéricas.

CARGA DE UN PISO

Para el cálculo de un piso debe establecerse previamente la *carga uniárea*, en kilogramos por metro cuadrado de piso, desglosada en sus dos partes:

Concarga, o sea el peso de todo elemento que permanentemente gravita en el piso, de modo uniforme en planta: viguetas, piezas o bovedillas, enjutado, pavimento, guarnecido, etc.

Sobrecarga, o sea la carga uniforme que se admite equivale a los pesos máximos que gravitarán, más o menos eventualmente, en su utilización.

La *sobrecarga de uso*, según el destino, establecida en las Normas para la aplicación del decreto de fecha 11 de marzo de 1941, es la siguiente:

Azoteas	150 kg/m ²
Viviendas	150 a 200 kg/m ²
Oficinas	200 a 250 kg/m ²
Edificios públicos	250 a 300 kg/m ²
Salas de espectáculos....	400 a 500 kg/m ²
Garajes (coches ligeros).	350 a 400 kg/m ²

(3) Se refiere, naturalmente, al cálculo de pisos o vigas, a construir con viguetas cuyas características da el fabricante en su cuadro, y no a los cálculos para el proyecto del modelo de sus tipos, mucho más complejos, que se mencionaron en la Parte I.

En estos valores se admiten incluidos 50 kg/m^2 por el peso de la tabiquería. Este peso de tabiquería es el que corresponde a una distribución de planta ordinaria, con tabiques cuyo peso no rebase 80 kg/m^2 (ladrillo hueco, o placas ligeras, y doble guarnecido, con espesor total no mayor de 7 cm). En caso de que la carga de tabiquería por m^2 de planta sea superior a los 50 kg/m^2 , la sobrecarga se incrementará en la diferencia, o se tendrán en cuenta las cargas aisladas que produzcan los tabiques.

En la sobrecarga no va incluido nunca el peso del pavimento y el del guarnecido, que es preciso se hayan computado en la concarga.

Los efectos dinámicos, por ejemplo, el de levantarse simultáneamente los espectadores, se tendrán en cuenta, cuando fuere preciso, multiplicando la sobrecarga por un coeficiente de efecto dinámico, que suele tener el valor 1.5.

La *sobrecarga de intemperie* a aplicar en cubiertas, incluidas las azoteas sólo accesibles al personal de conservación (excluidas las azoteas accesibles en general, que requieren sobrecarga de uso, establecida antes), comprende las cargas debidas al personal de conservación, el peso de la nieve y el efecto del viento.

En cubiertas horizontales, o de inclinación no mayor del 50 por 100, puede aplicarse por metro cuadrado de cubierta la sobrecarga única siguiente:

Clima moderado (poblaciones en general con altitud no mayor de 1000 m sobre el nivel del mar) 70 kg/m^2

Clima extremado (poblaciones en general con altitud mayor de 1000 m sobre el nivel del mar) 100 kg/m^2

En casos especiales puede ser precisa sobrecarga mayor.

En cubiertas con inclinación mayor del 50 por 100 se tendrá en cuenta separadamente el efecto del viento en la forma usual.

En las viguetas de piso debe calcularse después la *carga unilineal* q , en kilogramos por metro de vigueta, que se obtiene multiplicando la carga uniárea por la separación entre viguetas.

CARGA DE UNA VIGA

Para el cálculo de vigas, o sea elementos tales como jácenas, cargaderos, brochales, etc., contruídos con una o más viguetas, se establecen

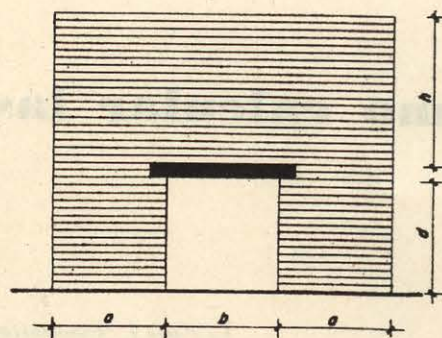


FIGURA 5. Cargadero de muro.

directamente: la *carga unilineal* q (kg/m), uniforme o variable, y las *cargas aisladas* Q (kg), valorando todo lo que gravita sobre la viga.

En cargaderos de muro debe tenerse en cuenta si por encima del cargadero puede existir en el muro el efecto arco, lo que ocurre (figura 5) cuando la altura de muro h por encima

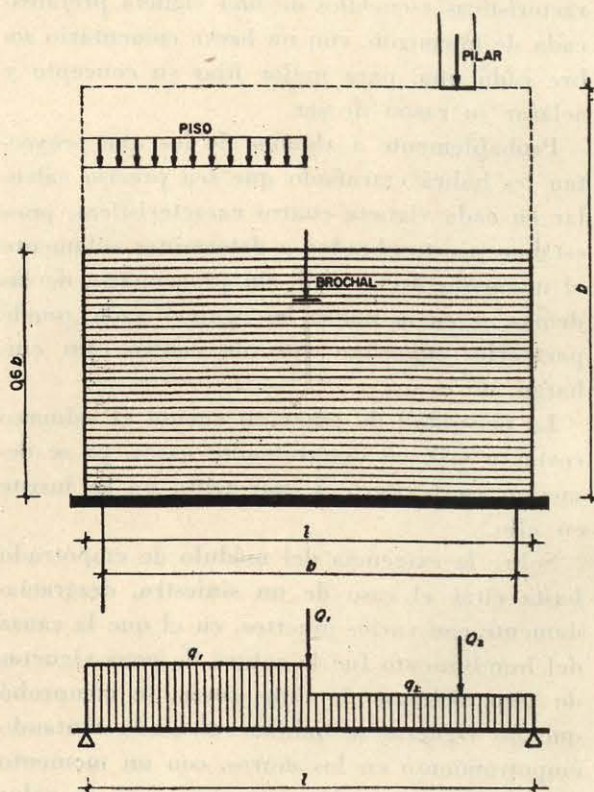


FIGURA 6. Cargas que hay que tener en cuenta en el cálculo de un cargadero de muro.

es mayor que el ancho b del vano, y además los acompañamientos a son suficientes, en general no menores que la altura d del vano.

En caso de existir el efecto arco, no es preciso calcular el cargadero para que resista todas las cargas situadas en la vertical del vano, sino que pueden tomarse solamente las siguientes (fig. 6):

muro con una altura de 0,6 b.
pisos { los que actúen hasta
cargas aisladas... { una altura b.

Se han publicado otros métodos para el cálculo de las cargas en estos cargaderos, unos con figuras de carga triangulares (4), otros con una parábola. Todos ellos son más o menos empíricos, y es difícil juzgar cuál es más exacto, pero el indicado, que da valores muy parecidos a los otros, es el de mayor sencillez.

EFFECTO DE LAS SUSTENTACIONES

Para calcular una vigueta hay que conocer primero cómo y en qué está sustentada para tener en cuenta la influencia de las sustentaciones en su trabajo.

En un gran número de las viguetas empleadas, la influencia de las sustentaciones es nula o muy escasa, y se calculan como *viguetas apoyadas*, es decir, en la hipótesis de apoyo simple en ambos extremos. Es aconsejable dotar además a la vigueta de resistencia a un pequeño empotramiento eventual, dándole, por ejemplo, un módulo de empotrado de valor 0,2.

Cuando las viguetas se solidarizan con los muros mediante cadenas de atado de hormigón, especialmente con viguetas ganchosas, lo que constituye buena práctica constructiva para arriostramiento eficaz de los muros, no debe despreciarse la rigidez de las sustentaciones; por razones económicas, ya que reducen el necesario momento útil, y por razones técnicas, pues la vigueta puede dañarse si no se fija el debido módulo de empotrado.

Definir con rigor las condiciones elásticas de las sustentaciones de una vigueta presenta, en general, dificultades, entre ellas dos sobre todo: primera, la de conocer la rigidez de la unión entre la vigueta y el muro o jácena que la sustenta, o, expresado con más precisión, saber si en la deformación elástica del conjunto vigueta-sustentaciones puede admitirse la hipótesis de conservación de los ángulos de encuentro, o es preciso establecer otra; y segunda, la de valorar el módulo de elasticidad del material de las sustentaciones, lo que en el caso de fábricas no es fácil.

Para realizar el cálculo de viguetas solidarias a sus sustentaciones, con exactitud suficien-

te, en la práctica basta, sin embargo, hacer la distinción entre *viguetas semiempotradas*, o sea las unidas a sustentaciones de rigidez media, y *viguetas empotradas*, unidas a sustentaciones de rigidez grande. La forma de clasificar en la práctica en cada uno de los tres casos de sustentación indicados, y las fórmulas de uso aplicables, se dan a continuación:

Como luz de cálculo l , en todo caso, debe tomarse el vano incrementado a cada lado en $1/4$ de la entrega.

Los valores de $\varphi = f:l$, relación *flecha:luz*, convenientes para el cálculo, ya se indicaron en la Parte I.

SISTEMATICA DEL CALCULO

Caso de sustentación I. Viguetas apoyadas. Viguetas sin unión indeformable a sus sustentaciones, incluyendo las siguientes: viguetas de cubierta, viguetas apoyadas en mechinales, viguetas sin cadena de atado por no precisarla, cargaderos no incluidos en el caso II, etc.

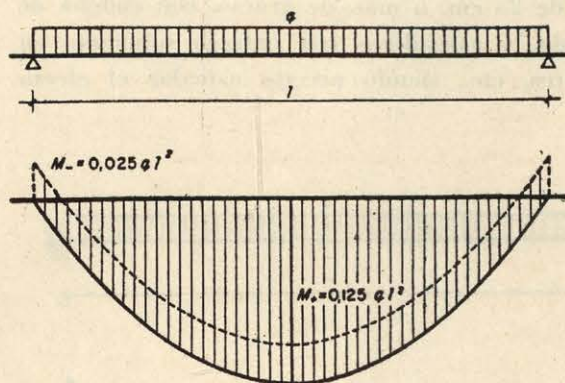


FIGURA 7. Gráfica de momentos flectores de una vigueta apoyada. Caso de sustentación I.

Su gráfica de momentos será la de la figura 7, calculándose las características precisas en la vigueta por las fórmulas siguientes:

$$\begin{aligned} \text{Momento flector útil:} & M = 0,125 q l^2 \\ \text{Módulo de empotrado:} & r_1 = 0 \\ \text{Esfuerzo cortante útil:} & T = 0,5 q l \\ \text{Módulo de flecha:} & K = \frac{5}{384} \frac{q l^4}{\varphi} \end{aligned}$$

Se recomienda que el módulo de empotrado tenga el valor 0,2 que corresponde a un momento negativo de valor $M_- = -0,025 q l^2$, para

(4) *Mauerwerk, Berechnung und Ausführung*, DIN 1053, 1952, Beuth-Vertrieb GmbH, Berlín W15 y Colonia.

prevenir el que eventualmente pudiera producirse.

Caso de sustentación II. Viguetas semiempotradas. Viguetas con unión indeformable a

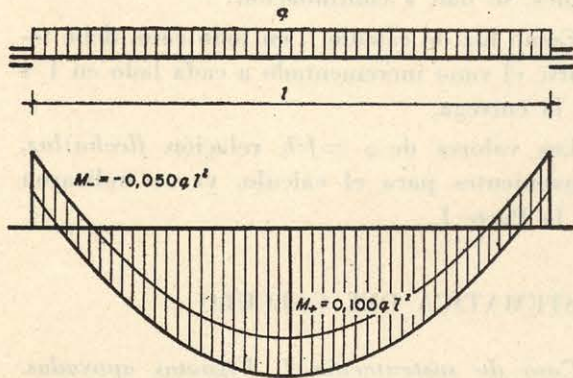


FIGURA 8. Gráfica de momentos flectores de una viga semiempotrada. Caso de sustentación II.

sustentaciones de rigidez media, incluyendo las siguientes: viguetas de piso en muros de fábrica de 25 cm, o más, de grueso, con cadena de atado, y cargaderos con entrega suficiente en muros, etc., siendo preciso calcular el efecto

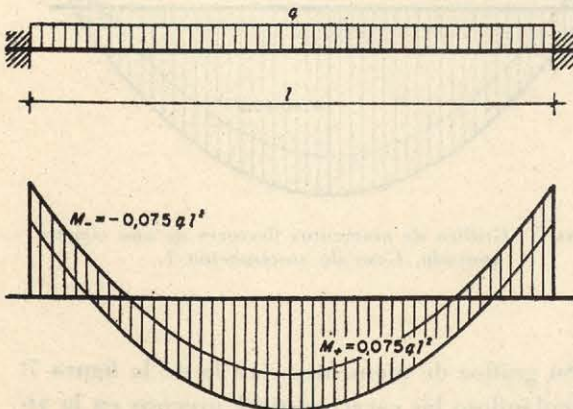


FIGURA 9. Gráfica de momentos flectores de una viga empotrada. Caso de sustentación III.

que produce en el muro el momento de empotramiento de las viguetas, de lo que se trata más adelante; viguetas ganchosas empotradas en vigas de hormigón, cuando no hay tramos adyacentes, y se calcula el efecto de torsión en las vigas.

Su gráfica de momentos será la de la figu-

ra 8, calculándose las características precisas en la vigueta por las fórmulas siguientes:

$$\begin{aligned} \text{Momento flector útil: } M &= 0,100 \, ql^2 \\ \text{Módulo de empotrado: } \gamma_1 &= 0,5 \\ \text{Esfuerzo cortante útil: } T &= 0,5 \, ql \\ \text{Módulo de flecha: } K &= \frac{19}{1920} \frac{ql^3}{\varphi} \end{aligned}$$

El módulo de empotrado corresponde a un momento de empotramiento negativo, de valor

$$M_0 = -0,050 \, ql^2$$

Caso de sustentación III. Viguetas empotradas. Viguetas con unión indeformable a sustentaciones de rigidez grande. Se precisa en este caso que la suma de las rigideces $EJ:h$ (5) de los muros superior e inferior, sea superior a 10 veces la rigidez $K:l$ de la vigueta, que constructivamente se disponga de un empotrado eficaz y asimismo calcular el efecto que produce en el muro el momento de empotramiento. Viguetas ganchosas empotradas en vigas de hormigón cuando hay tramos adyacentes.

Su gráfica de momentos será la de la figura 9, calculándose las características precisas en la vigueta por las fórmulas siguientes:

$$\begin{aligned} \text{Momento flector útil: } M &= 0,075 \, ql^2 \\ \text{Módulo de empotrado: } \gamma_1 &= 1 \\ \text{Esfuerzo cortante útil: } T &= 0,5 \, ql \\ \text{Módulo de flecha: } K &= \frac{13}{1920} \frac{ql^3}{\varphi} \end{aligned}$$

El módulo de empotrado corresponde a un momento de empotramiento negativo, de valor

$$M_0 = -0,075 \, ql^2$$

EFFECTO EN EL MURO

El cálculo de la estabilidad de un muro que sustenta unas viguetas semiempotradas o empotradas, y el de las tensiones que en el muro produce el empotramiento, son cuestiones poco tratadas en la literatura técnica (6), y que no

- (5) h , altura del muro entre pisos.
 E , módulo de elasticidad del material del muro.
 J , momento de inercia de la sección de muro correspondiente a una vigueta, o sea con un ancho igual a la separación a entre viguetas.

- (6) Pueden consultarse:
 R. VON HALÁSZ, *Massive Decken*, Beton Kalender 1943, 2.^a parte, Berlín, Editorial Wilhelm Ernst und Sohn.
 W. FUCHSSTEINER, *Treppen*, Beton Kalender 1959, 2.^a parte, Berlín.

puede decirse se hayan establecido con rigurosidad.

Se aconseja emplear en estos cálculos el método que se expone a continuación (7), que establece tres condiciones a cumplir para que pueda admitirse el empotramiento previsto:

Primeramente, la entrega e de la vigueta (figura 10) tiene que ser tal, que penetre al menos hasta la mitad del muro superior, debiendo, por consiguiente, cumplirse la siguiente

Condición de entrega: $e \geq d - d':2$.

En segundo lugar, la posición límite de equilibrio que se admite pueden tener las fuerzas que actúan entre la vigueta y sus muros sustentantes es la marcada en la figura 10, en donde:

- M - momento de empotramiento de la vigueta;
- T esfuerzo cortante de la vigueta;
- P carga que soporta el muro superior, a nivel de la vigueta, procedente de los pisos de encima, en un ancho igual a la separación a entre viguetas.

El brazo de palanca máximo del par de empotramiento de la vigueta se admite debe ser $e:2$, como está en la figura, y para ello es preciso se cumpla la siguiente

Condición de estabilidad (8): $P \geq 2M:e$.

Finalmente, es necesario que las tensiones σ producidas en los muros no sean superiores a la tensión admisible σ_{adm} .

Cuando existe cadena de hormigón armado, como ancho b del empotramiento eficaz, se toma la separación a entre viguetas. Si las viguetas tienen empotramientos discontinuos, se toma el ancho de éstos, $b < a$.

En el cálculo de las tensiones se admiten las hipótesis simplificadoras siguientes:

- Agrietado virtual del muro en las zonas de tracción.
- Comportamiento anelástico del muro, con ley plana de tensiones.
- Reparto uniforme de tensiones en el ancho de empotramiento eficaz.
- Igualación de tensiones, si es posible, en los muros superior e inferior.

(7) No conoce el autor que este método haya sido publicado con anterioridad. Los que figuran en los trabajos indicados en la nota (6) difieren de éste.

(8) R. VON HALÁSZ, nota (6), establece, para valor 1,5 de la que denomina seguridad al vuelco, la siguiente condición de estabilidad: $P \leq 2,25 M:e$.

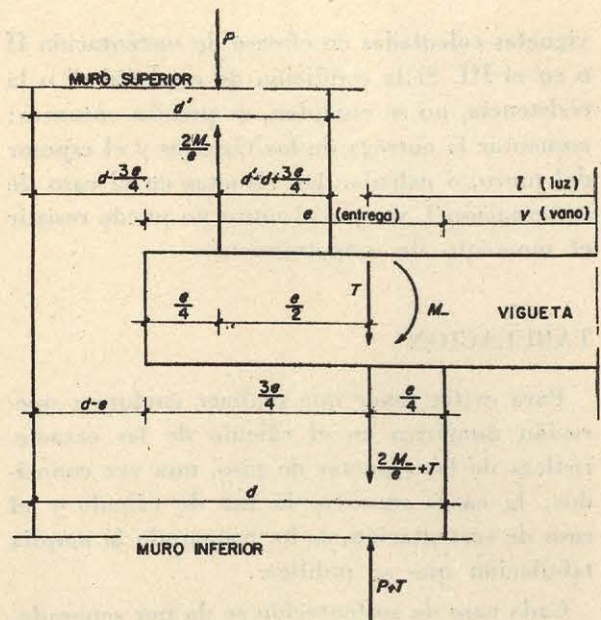


FIGURA 10. Posición límite de equilibrio que se admite puedan tener las fuerzas que actúan entre los muros sustentantes y una vigueta semiempotrada o empotrada.

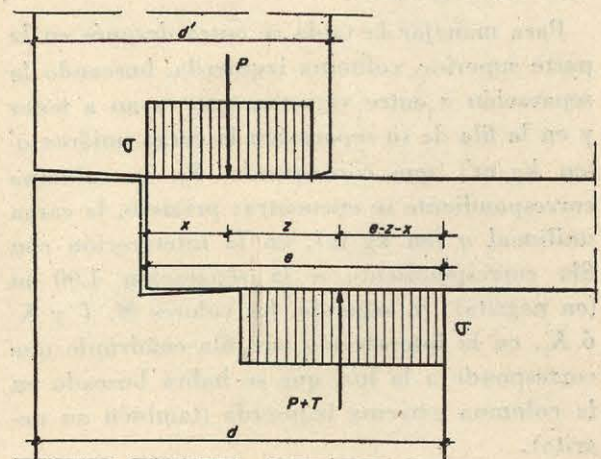


FIGURA 11. Hipótesis para el cálculo de las tensiones en un muro con viguetas empotradas.

En estas hipótesis (fig. 11), el valor del brazo de palanca es $z = M:P$, siempre menor o igual que $e:2$, según la condición de estabilidad.

La distancia x de la carga superior P al extremo de la vigueta es el menor de los valores:

$$x = \frac{e - M:P}{2 + T:P} \quad x = \frac{e - (d - d')}{2}$$

y la tensión resultante tiene que cumplir la siguiente

Condición de resistencia: $\sigma = P:2xb \leq \sigma_{adm}$

Este cálculo se ha realizado para comprobar que el muro es capaz de resistir el efecto de las

viguetas calculadas en el caso de sustentación II o en el III. Si la condición de estabilidad, o la resistencia, no se cumplen, es preciso entonces: aumentar la entrega de las viguetas y el espesor del muro, o calcular las viguetas en el caso de sustentación I, ya que el muro no puede resistir el momento de empotramiento.

TABULACION

Para evitar tener que realizar cualquier operación numérica en el cálculo de las características de las viguetas de piso, una vez conocidos: la carga uniárea, la luz de cálculo y el caso de sustentación, se ha preparado la amplia tabulación que se publica.

Cada caso de sustentación se da por separado, respectivamente, en las Tablas I, II y III, debiendo usarse la que corresponda.

En cada tabla figura en su ángulo superior derecho el módulo de empotrado η que deben tener las viguetas.

Para manejar la tabla se entra después en la parte superior, columna izquierda, buscando la separación a entre viguetas, que vayan a tener y en la fila de su separación la carga uniárea q' (en kg/m^2) que corresponda. En la columna correspondiente se encuentra: primero, la carga unilineal q (en kg/m), en la intersección con fila correspondiente a la separación 1,00 m (en negrita); y, segundo, los valores M , T y K_1 ó K_2 , en la intersección con fila cuádruple que corresponde a la luz, que se habrá buscado en la columna extrema izquierda (también en negrita).

Los módulos de flecha K de la tabla corresponden:

K_1 a un valor flecha:luz $\varphi = 1:250$, aconsejable en pisos con piezas o bovedillas y enjutado, u otro sistema que aumente suficientemente la rigidez.

K_2 a un valor flecha:luz $\varphi = 1:320$, aconsejable en pisos con placas no solidarias, u otro sistema que no aumente sensiblemente la rigidez de la viga.

DATOS DEL PROYECTO

En el proyecto de un edificio que emplee viguetas en pisos y otros elementos, debe establecerse con claridad todo lo referente a dichas viguetas.

Es conveniente para ello incluir en la Memoria del proyecto el epígrafe *Cálculo de las viguetas*, exponiendo lo siguiente:

A. *Cargas de cálculo adoptadas.* Detallando cada uno de los valores diferentes de carga uniárea a emplear en los pisos y cubiertas, y los de carga unilineal a emplear en cargaderos, brochales, etc. Cada una debe venir desglosada en sus diversas partes y con expresión de las unidades a que se aplica.

B. *Premisas del cálculo de cada unidad.* Reseñando los datos iniciales precisos: vano, luz de cálculo, separación de viga, carga unilineal, caso de sustentación, etc.

C. *Características calculadas de cada viga.* Indicando las características exigibles a las viguetas de cada unidad.

En los Planos del proyecto deben representarse todas las plantas diferentes (en escala 1:100), dibujando las viguetas por sus ejes, acotando las dimensiones precisas, especialmente vanos y separaciones entre viguetas, y reseñando mediante una notación cada tipo de viga empleada.

Conviene incluir en uno de los planos las dos tablas siguientes:

Tabla I. Cargas en las unidades estructurales, consignando los valores de las cargas establecidos en la Memoria (en obra la Memoria es raro que esté, y conviene a veces tener a la vista estos datos).

Tabla II. Características de las viguetas, con las columnas: notación, longitud de la viga, momento flector útil, módulo de empotrado, esfuerzo cortante útil y módulo de flecha.

Si se desean viguetas del modelo de un fabricante determinado, puede incluirse en la Tabla II la designación de los tipos correspondientes de dicho modelo.

Separación a en m	Carga uniárea, q', total en el piso, en kg/m² (diez primeras filas)																		Módulo de empotrado: γ = 0									
	Carga lineal, q = q' a en kg/m (fila undécima, en negrita)																		(se recomienda el valor γ = 0,2)									
	200	240	280	320	360	400	440	480	520	560	600	640	680	720	760	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	
0,50	200	240	280	320	360	400	440	480	520	560	600	640	680	720	760	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	
0,55	182	218	255	291	327	364	400	436	473	509	545	582	618	655	691	727	818	909	1000	1090	1180	1270	1360	1450	1540	1630	1720	
0,60	167	200	233	267	300	333	367	400	433	467	500	533	567	600	633	667	750	833	917	1000	1080	1170	1250	1330	1420	1500	1580	
0,65	154	185	215	246	277	308	338	369	400	431	462	492	523	554	585	615	692	769	846	923	1000	1080	1150	1230	1310	1390	1460	
0,70	143	171	200	229	257	286	314	343	371	400	429	457	486	514	543	571	643	714	786	857	929	1000	1070	1140	1210	1290	1360	
0,75	133	160	187	213	240	267	293	320	347	373	400	427	453	480	507	533	600	667	733	800	867	933	1000	1070	1130	1200	1270	
0,80	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450	475	500	563	625	688	750	813	875	938	1000	1060	1130	1190	
0,85	118	141	165	188	212	235	259	282	306	329	353	376	400	424	447	471	529	588	647	706	765	824	883	941	1000	1060	1120	
0,90	111	133	156	178	200	222	244	267	289	311	333	356	378	400	422	444	500	556	611	667	722	778	833	889	944	1000	1060	
0,95	105	126	147	168	189	211	232	253	274	295	316	337	358	379	400	421	474	526	579	632	684	737	789	842	895	947	1000	
1,00	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	
2,20	M	60,5	72,6	84,7	96,8	109	121	133	145	157	169	182	194	206	218	230	242	272	303	333	363	393	424	454	484	514	545	575
	T	110	132	154	176	198	220	242	264	286	308	330	352	374	396	418	440	495	550	605	660	715	770	825	880	935	990	1050
	K ₂	3,47	4,16	4,85	5,55	6,24	6,93	7,63	8,32	9,01	9,71	10,4	11,1	11,8	12,5	13,2	13,9	15,6	17,3	19,1	20,8	22,5	24,3	26,0	27,7	29,5	31,2	32,9
2,40	M	72,0	86,4	101	115	130	144	158	173	187	202	216	230	245	259	274	288	324	360	396	432	468	504	540	576	612	648	684
	T	120	144	168	192	216	240	264	288	312	336	360	384	408	432	456	480	540	600	660	720	780	840	900	960	1020	1080	1140
	K ₂	4,50	5,40	6,30	7,20	8,10	9,00	9,90	10,8	11,7	12,6	13,5	14,4	15,3	16,2	17,1	18,0	20,3	22,5	24,8	27,0	29,3	31,5	33,8	36,0	38,3	40,5	42,8
2,60	M	84,5	101	118	135	152	169	186	203	220	237	254	270	287	304	321	338	380	423	465	507	549	592	634	676	718	761	803
	T	130	156	182	208	234	260	286	312	338	364	390	416	442	468	494	520	585	650	715	780	845	910	975	1040	1110	1170	1240
	K ₂	5,72	6,87	8,01	9,15	10,3	11,4	12,6	13,7	14,9	16,0	17,2	18,3	19,5	20,6	21,7	22,9	25,7	28,6	31,5	34,3	37,2	40,0	42,9	45,8	48,6	51,5	54,4
2,80	M	98,0	118	137	157	176	196	216	235	255	274	294	314	333	353	372	392	441	490	539	588	637	686	735	784	833	882	931
	T	140	168	196	224	252	280	308	336	364	392	420	448	476	504	532	560	630	700	770	840	910	980	1050	1120	1190	1260	1330
	K ₂	7,14	8,57	10,0	11,4	12,9	14,3	15,7	17,1	18,6	20,0	21,4	22,9	24,3	25,7	27,2	28,6	32,2	35,7	39,3	42,9	46,4	50,0	53,6	57,2	60,7	64,3	67,9
3,00	M	113	135	158	180	203	225	248	270	293	315	338	360	383	405	428	450	506	563	619	675	731	788	844	900	956	1010	1070
	T	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600	675	750	825	900	975	1050	1130	1200	1280	1350	1430
	K ₂	8,79	10,5	12,3	14,1	15,8	17,6	19,3	21,1	22,9	24,6	26,4	28,1	29,9	31,6	33,4	35,2	39,6	43,9	48,3	52,7	57,1	61,5	65,9	70,3	74,7	79,1	83,5
3,20	M	128	154	179	205	230	256	282	307	333	358	380	410	435	461	486	512	576	640	704	768	832	896	960	1020	1090	1150	1220
	T	160	192	224	256	288	320	352	384	416	448	480	512	544	576	608	640	720	800	880	960	1040	1120	1200	1280	1360	1440	1520
	K ₂	10,7	12,8	14,9	17,1	19,2	21,3	23,5	25,6	27,7	29,9	32,0	34,1	36,3	38,4	40,5	42,7	48,0	53,3	58,7	64,0	69,3	74,7	80,0	85,3	90,7	96,0	101
3,40	M	145	173	202	231	260	289	318	347	376	405	434	462	491	520	549	578	650	723	795	867	939	1010	1080	1160	1230	1300	1370
	T	170	204	238	272	306	340	374	408	442	476	510	544	578	612	646	680	765	850	935	1020	1110	1190	1280	1360	1450	1530	1620
	K ₂	12,7	15,4	17,9	20,5	23,0	25,6	28,1	30,7	33,3	35,8	38,4	40,9	43,5	46,1	48,6	51,2	57,6	64,0	70,4	76,8	83,2	89,6	96,0	102	109	115	122
3,60	M	162	194	227	259	292	324	356	389	421	454	486	518	551	583	616	648	729	810	891	972	1050	1130	1220	1300	1380	1460	1540
	T	180	216	252	288	324	360	396	432	468	504	540	576	612	648	684	720	810	900	990	1080	1170	1260	1350	1440	1530	1620	1710
	K ₂	15,1	18,2	21,3	24,3	27,3	30,4	33,4	36,4	39,5	42,5	45,6	48,6	51,6	54,7	57,7	60,7	68,3	75,9	83,5	91,1	98,7	106	114	121	129	137	144
3,80	M	181	217	253	284	325	361	397	433	469	505	541	577	613	649	685	721	812	903	993	1080	1170	1260	1350	1440	1530	1620	1710
	T	190	228	266	304	342	380	418	456	494	532	570	608	646	684	722	760	855	950	1050	1140	1230	1320	1410	1500	1590	1680	1770
	K ₂	17,9	21,4	25,0	28,6	32,2	35,7	39,3	42,9	46,4	50,0	53,6	57,2	60,8	64,4	67,9	71,5	80,0	89,0	98,0	107	116	125	134	143	152	161	170
4,00	M	200	240	280	320	360	400	440	480	520	560	600	640	680	720	760	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900

TABLA II VIGUETAS SEMIEMPOTRADAS

Separación a en m	Carga uniárea, q', total en el piso, en kg/m² (diez primeras filas)																				Módulo de empotrado η = 0,5									
	Carga lineal, q = q'a, en kg/m (fila undécima, en negrita)																													
	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90										
2,20	M	48,4	58,1	67,8	77,4	87,1	96,8	106	116	126	136	145	155	165	174	184	194	218	242	266	290	315	339	363	387	411	436	460		
	T	110	132	154	176	198	220	242	264	286	308	330	352	374	396	418	440	495	550	605	660	715	770	825	880	935	990	1050		
	K ₁	2,63	3,16	3,69	4,21	4,74	5,27	5,80	6,32	6,85	7,38	7,90	8,43	8,96	9,48	10,0	10,5	11,9	13,2	14,5	15,8	17,1	18,4	19,8	21,1	22,4	23,7	25,0		
	K ₂	3,37	4,05	4,72	5,39	6,07	6,74	7,42	8,09	8,77	9,44	10,1	10,8	11,5	12,1	12,8	13,5	15,2	16,9	18,5	20,2	21,9	23,6	25,3	27,0	28,7	30,3	32,0		
2,40	M	57,6	69,1	80,6	92,2	104	115	127	138	150	161	173	184	196	207	219	230	258	288	317	346	374	403	432	461	490	518	547		
	T	120	144	168	192	216	240	264	288	312	336	360	384	408	432	456	480	540	600	660	720	780	840	900	960	1020	1080	1140		
	K ₁	3,42	4,10	4,79	5,47	6,16	6,84	7,52	8,20	8,89	9,58	10,3	10,9	11,6	12,3	13,0	13,7	15,4	17,1	18,8	20,5	22,2	23,9	25,7	27,4	29,1	30,8	32,5		
	K ₂	4,38	5,25	6,13	7,00	7,88	8,76	9,63	10,5	11,4	12,3	13,1	14,0	14,9	15,8	16,6	17,5	19,7	21,9	24,1	26,3	28,5	30,6	32,8	35,0	37,2	39,4	41,6		
2,60	M	67,6	81,1	94,6	108	122	135	149	162	176	189	203	216	230	243	257	270	304	338	372	406	439	473	507	541	575	608	642		
	T	130	156	182	208	234	260	286	312	338	364	390	416	442	468	494	520	585	650	715	780	845	910	975	1040	1110	1170	1240		
	K ₁	4,35	5,22	6,09	6,96	7,83	8,70	9,57	10,4	11,3	12,2	13,0	13,9	14,8	15,7	16,5	17,4	19,6	21,7	23,9	26,1	28,3	30,4	32,6	34,8	37,0	39,1	41,3		
	K ₂	5,57	6,68	7,79	8,91	10,0	11,1	12,2	13,4	14,5	15,6	16,7	17,8	18,9	20,0	21,1	22,3	25,0	27,8	30,6	33,4	36,2	39,0	41,7	44,5	47,3	50,1	52,9		
2,80	M	78,4	94,1	110	125	141	157	172	188	204	220	235	251	267	282	298	314	353	392	431	470	510	549	588	627	666	706	745		
	T	140	168	196	224	252	280	308	336	364	392	420	448	476	504	532	560	630	700	770	840	910	980	1050	1120	1190	1260	1330		
	K ₁	5,43	6,52	7,60	8,69	9,78	10,9	11,9	13,0	14,1	15,2	16,3	17,4	18,5	19,6	20,6	21,7	24,2	26,9	29,6	32,6	35,3	38,0	40,7	43,4	46,2	48,9	51,6		
	K ₂	6,95	8,34	9,73	11,1	12,5	13,9	15,3	16,7	18,1	19,5	20,9	22,3	23,7	25,0	26,4	27,8	31,3	34,8	38,2	41,7	45,2	48,7	52,1	55,6	59,1	62,6	66,0		
3,00	M	90,0	108	126	144	162	180	198	216	234	252	270	288	306	324	342	360	405	450	495	540	585	630	675	720	765	810	855		
	T	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600	675	750	825	900	975	1050	1130	1200	1280	1360	1430		
	K ₁	6,68	8,02	9,35	10,7	12,0	13,4	14,7	16,0	17,4	18,7	20,0	21,4	22,7	24,0	25,4	26,7	30,1	33,4	36,7	40,1	43,4	46,8	50,1	53,4	56,8	60,1	63,5		
	K ₂	8,55	10,3	12,0	13,7	15,4	17,1	18,8	20,5	22,2	23,9	25,6	27,4	29,1	30,8	32,5	34,2	38,5	42,7	47,0	51,3	55,6	59,8	64,1	68,4	72,7	76,9	81,2		
3,20	M	102	123	143	164	184	205	225	246	266	287	307	328	348	369	389	410	461	512	563	614	666	717	768	819	870	922	973		
	T	160	192	224	256	288	320	352	384	416	448	480	512	544	576	608	640	720	800	880	960	1040	1120	1200	1280	1360	1440	1520		
	K ₁	8,10	9,73	11,3	13,0	14,6	16,2	17,8	19,5	21,1	22,7	24,3	25,9	27,6	29,2	30,8	32,4	36,5	40,5	44,6	48,6	52,7	56,7	60,8	64,8	68,9	73,0	77,0		
	K ₂	10,4	12,5	14,5	16,6	18,7	20,8	22,8	24,9	27,0	29,1	31,1	33,2	35,3	37,4	39,4	41,5	46,7	51,9	57,1	62,3	67,4	72,6	77,8	83,0	88,2	93,4	98,6		
3,40	M	116	139	162	185	208	231	254	277	301	324	347	370	393	416	439	462	520	578	636	694	751	809	867	925	983	1040	1100		
	T	170	204	238	272	306	340	374	408	442	476	510	544	578	612	646	680	765	850	935	1020	1110	1190	1280	1360	1450	1530	1600		
	K ₁	9,72	11,7	13,6	15,6	17,5	19,4	21,4	23,3	25,3	27,2	29,2	31,1	33,1	35,0	36,9	38,9	43,8	48,6	53,5	58,3	63,2	68,1	72,9	77,8	82,7	87,5	92,4		
	K ₂	12,4	14,9	17,4	19,9	22,4	24,9	27,4	29,9	32,4	34,8	37,3	39,8	42,3	44,8	47,3	49,8	56,0	62,2	68,5	74,7	80,9	87,1	93,3	99,6	106	112	118		
3,60	M	130	156	181	207	233	259	285	311	337	363	389	415	441	467	492	518	583	648	713	778	843	907	972	1040	1100	1160	1230		
	T	180	216	252	288	324	360	396	432	468	504	540	576	612	648	684	720	810	900	990	1080	1170	1260	1350	1440	1530	1620	1710		
	K ₁	11,5	13,9	16,2	18,5	20,8	23,1	25,4	27,7	30,0	32,3	34,6	36,9	39,2	41,6	43,9	46,2	51,9	57,7	63,5	69,3	75,0	80,8	86,6	92,3	98,1	104	110		
	K ₂	14,8	17,7	20,7	23,6	26,6	29,5	32,5	35,5	38,4	41,4	44,3	47,3	50,2	53,2	56,1	59,1	66,5	73,9	81,3	88,6	96,0	103	111	118	126	133	140		
3,80	M	144	173	202	231	260	289	318	347	375	404	433	462	491	520	549	578	655	722	794	866	939	1010	1080	1160	1230	1300	1370		
	T	190	228	266	304	342	380	418	456	494	532	570	608	646	684	722	760	850	950	1050	1140	1240	1330	1430	1520	1620	1710	1810		
	K ₁	13,6	16,3	19,0	21,7	24,4	27,2	29,9	32,6	35,3	38,0	40,7	43,4	46,2	48,9	51,6	54,3	61,1	67,9	74,7	81,5	88,2	95,0	102	109	115	122	129		
	K ₂	17,4	20,9	24,3	27,8	31,3	34,8	38,2	41,7	45,2	48,7	52,1	55,6	59,1	62,6	66,0	69,5	78,2	86,9	95,6	104	113	122	130	139	148	156	165		
4,00	M	160	192	224	256	288	320	352	384	416	448	480	512	544	576	608	640	720	800	880	960	1040	1120	1200	1280	1360	1440	1520		
	T	200	240	280	320	360	400	440	480	520	560	600	640	680	720	760	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900		
	K ₁	15,8	19,0	22,2	25,3	28,5	31,7	34,8	38,0	41,2	44,3	47,5	50,7	53,8	57,0	60,2	63,3	71,2	79,2	87,1	95,0	103	111	119	127	135	142	150		
	K ₂	20,3	24,3	28,4	32,4	36,5	40,5	44,6	48,6	52,7	56,7	60,8	64,9	68,9	73,0	77,0	81,1	91,2	101	111	122	132	142	152	162	172	182	193		
4,20	M	176	212	247	282	318	353	388	423	458	494	529	564	600	635	670	706	794	882	970	1060	1150	1240	1320	1410	1500	1590	1680		
	T	210	252	294	336	378	420	462	504	546	588	630	672	714	756	798	840	945	1050	1160	1260	1370	1470	1580	1680	1790	1890	2000		
	K ₁	18,3	22,0	25,7	29,3	33,0	36,7	40,3	44,0	47,7	51,3	55,0	58,7	62,3	66,0	69,7	73,3	82,5	91,6	101	110	119	128	137	147	156	165	174		
	K ₂	23,5	28,2	32,8	37,5	42,2	46,9	51,6	56,3	61,0	65,7	70,4	75,1	79,8	84,5	89,2	93,8	106	117	129	141	152	164	176	188	199	211	223		
4,40	M	194	232	271	310	348	387	426	465	503	542	581	620	658	697	736	774	871	968	1060	1160	1260	1360	1450	1550	1650	1740	1840		
	T	220	264	308	352	396	440	484	528	572	616	660	704	748	792	836	880	990	1100	1210	1320	1430	1540	1650	1760	1870	1980	2090		
	K ₁	21,1	25,3	29,5	33,7	37,9	42,1	46,4	50,6	54,8	59,0	63,2	67,4	71,7	75,9	80,1	84,3	94,8	105	116	126	137	148	158	169	179	190	200		
	K ₂	27,0	32,4	37,8	43,2	48,6	53,9	59,3	64,7	70,1	75,5	80,9	86,3	91,7	97,1	103	108	121	135	148	162	175	189	202	216	229	243	256		
4,60	M	212	254	296	339	381	423	466	508	550	592	635	677	719	762	804	846	952	1060	1160	1270	1380								

TABLA III

VIGUETAS EMPOTRADAS

Separación a en m	Carga uniárea, q', total en el piso, en kg/m² (diez primeras filas)																				Módulo de empotrado γ₁ = 1									
	Carga lineal, q = q'a, en kg/m (fila undécima, en negrita)																													
	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95
2,20	M	36,3	43,6	50,8	58,1	65,3	72,6	79,9	87,1	94,4	102	109	116	123	131	138	145	163	182	200	218	236	254	272	290	309	327	345		
	K₁	1,80	2,16	2,52	2,88	3,24	3,60	3,96	4,33	4,69	5,05	5,41	5,77	6,13	6,49	6,85	7,21	8,11	9,01	9,91	10,8	11,7	12,6	13,5	14,4	15,3	16,2	17,1		
	K₂	2,31	2,77	3,23	3,69	4,15	4,61	5,08	5,54	6,00	6,46	6,92	7,38	7,84	8,31	8,77	9,23	10,4	11,5	12,7	13,8	15,0	16,1	17,3	18,5	19,6	20,8	21,9		
2,40	M	43,2	51,8	60,5	69,1	77,8	86,4	95,0	104	112	121	130	138	147	156	164	173	194	216	238	259	281	302	324	346	367	389	410		
	K₁	120	144	168	192	216	240	264	288	312	336	360	384	408	432	456	480	540	600	660	720	780	840	900	960	1020	1080	1140		
	K₂	2,34	2,81	3,28	3,74	4,21	4,68	5,15	5,62	6,08	6,55	7,02	7,49	7,96	8,42	8,89	9,36	10,5	11,7	12,9	14,0	15,2	16,4	17,6	18,7	19,9	21,1	22,2		
2,60	M	50,7	60,8	71,0	81,1	91,3	101	112	122	132	142	152	162	172	183	193	203	228	254	279	304	330	355	380	406	431	456	482		
	K₁	130	156	182	208	234	260	286	312	338	364	390	416	442	468	494	520	585	650	715	780	845	910	975	1040	1110	1170	1240		
	K₂	2,98	3,57	4,17	4,76	5,36	5,95	6,55	7,14	7,74	8,33	8,93	9,52	10,1	10,7	11,3	11,9	13,4	14,9	16,4	17,9	19,3	20,8	22,3	23,8	25,3	26,8	28,3		
2,80	M	58,8	70,6	82,3	94,1	106	118	129	141	153	165	176	188	200	212	223	235	265	294	323	353	382	412	441	470	500	529	559		
	K₁	140	168	196	224	252	280	308	336	364	392	420	448	476	504	532	560	630	700	770	840	910	980	1050	1120	1190	1260	1330		
	K₂	3,71	4,46	5,20	5,95	6,69	7,43	8,17	8,92	9,66	10,4	11,1	11,9	12,6	13,4	14,1	14,9	16,7	18,6	20,4	22,3	24,2	26,0	27,9	29,7	31,6	33,4	35,3		
3,00	M	67,5	81,0	94,5	108	122	135	149	162	176	189	203	216	230	243	257	270	304	338	371	405	439	473	506	540	574	608	641		
	K₁	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600	675	750	825	900	975	1050	1120	1200	1280	1350	1430		
	K₂	4,57	5,48	6,40	7,31	8,23	9,14	10,1	11,0	11,9	12,8	13,7	14,6	15,5	16,5	17,4	18,3	20,6	22,9	25,1	27,4	29,7	32,0	34,3	36,6	38,8	41,1	43,4		
3,20	M	76,8	92,2	108	123	138	154	169	184	200	215	230	246	261	276	292	307	346	384	422	461	499	538	576	614	653	691	730		
	K₁	160	192	224	256	288	320	352	384	416	448	480	512	544	576	608	640	720	800	880	960	1040	1120	1200	1280	1360	1440	1520		
	K₂	5,55	6,66	7,77	8,87	9,98	11,1	12,2	13,3	14,4	15,5	16,6	17,7	18,8	20,0	21,1	22,2	25,0	27,7	30,5	33,3	36,1	38,8	41,6	44,4	47,1	49,9	52,7		
3,40	M	86,7	104	121	139	156	173	191	208	225	243	260	277	295	312	329	347	390	434	477	520	564	607	650	694	737	780	824		
	K₁	170	204	238	272	306	340	374	408	442	476	510	544	578	612	646	680	760	840	920	1000	1080	1160	1240	1320	1400	1480	1560		
	K₂	6,65	7,98	9,31	10,6	12,0	13,3	14,6	16,0	17,3	18,6	20,0	21,3	22,6	24,0	25,3	26,6	29,9	33,3	36,6	39,9	43,2	46,6	49,9	53,2	56,6	59,9	63,2		
3,60	M	97,2	117	136	156	175	194	214	233	253	272	292	311	330	350	369	389	437	486	535	583	633	680	729	778	826	875	923		
	K₁	180	216	252	288	324	360	396	432	468	504	540	576	612	648	684	720	810	900	990	1080	1170	1260	1350	1440	1530	1620	1710		
	K₂	7,90	9,48	11,1	12,6	14,2	15,8	17,4	19,0	20,5	22,1	23,7	25,3	26,9	28,4	30,0	31,6	35,5	39,5	43,4	47,3	51,3	55,3	59,2	63,2	67,1	71,1	75,0		
3,80	M	108	130	152	173	195	217	238	260	282	303	325	347	363	380	412	433	487	542	596	650	704	758	812	866	921	975	1030		
	K₁	190	228	266	304	342	380	418	456	494	532	570	608	646	684	722	760	855	950	1050	1140	1240	1340	1440	1540	1640	1740	1840		
	K₂	9,29	11,1	13,0	14,9	16,7	18,6	20,4	22,3	24,1	26,0	27,9	29,7	31,6	33,4	35,3	37,2	41,8	46,4	51,1	55,7	60,4	65,0	69,7	74,3	78,9	83,6	88,2		
4,00	M	120	144	168	192	216	240	264	288	312	336	360	384	408	432	456	480	540	600	660	720	780	840	900	960	1020	1080	1140		
	K₁	200	240	280	320	360	400	440	480	520	560	600	640	680	720	760	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900		
	K₂	10,8	13,0	15,2	17,3	19,5	21,7	23,8	26,0	28,2	30,3	32,5	34,7	36,8	39,0	41,2	43,3	48,7	54,2	59,6	65,0	70,4	75,8	81,2	86,6	92,1	97,5	103		
4,20	M	132	159	185	212	238	265	291	318	344	370	397	424	450	476	503	529	595	662	728	794	860	926	992	1060	1120	1190	1260		
	K₁	210	252	294	336	378	420	462	504	546	588	630	672	714	756	798	840	945	1050	1160	1270	1380	1490	1600	1710	1820	1930	2040		
	K₂	12,5	15,0	17,6	20,1	22,6	25,1	27,6	30,1	32,6	35,1	37,6	40,1	42,6	45,1	47,7	50,2	56,4	62,7	69,0	75,2	81,5	87,8	94,1	100	107	113	119		
4,40	M	145	174	203	232	261	290	319	348	378	407	436	465	494	523	552	581	653	726	799	871	944	1020	1090	1160	1230	1310	1380		
	K₁	220	264	308	352	396	440	484	528	572	616	660	704	748	792	836	880	990	1100	1210	1320	1430	1540	1650	1760	1870	1980	2090		
	K₂	14,4	17,3	20,2	23,1	26,0	28,8	31,7	34,6	37,5	40,4	43,3	46,1	49,0	51,9	54,8	57,7	64,9	72,1	79,3	86,5	93,7	101	108	115	123	130	137		
4,60	M	159	190	222	254	286	317	349	381	413	444	476	508	540	571	603	635	714	794	873	952	1030	1110	1190	1270	1350	1430	1510		
	K₁	230	276	322	368	414	460	506	552	598	644	690	736	782	828	874	920	1040	1150	1270	1380	1500	1610	1730	1840	1960	2070	2190		
	K₂	16,5	19,8	23,1	26,4	29,7	33,0	36,2	39,5	42,8	46,1	49,4	52,7	56,0	59,3	62,6	65,9	74,1	82,4	90,6	98,9	107	115	124	132	140	148	157		
4,																														