

El adentellado de los cantos tendrá una profundidad de 2,0 cm. El número necesario de dientes será:

$$\text{Dientes necesarios} = \frac{172}{14 \times 2,0 \times \sqrt{2}} = 4,4$$

o sea, 5 dientes por altura de planta.

La junta entre elementos tendrá la forma representada en la figura 167.

## 6.4 La ménsula laminar con una columna de huecos

### 6.4.1 Definiciones

En las láminas verticales formadas por los muros, y en las que existían discontinuidades ocasionadas por series de huecos de puertas o ventanas,

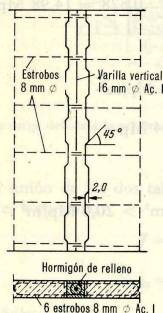


Figura 167

Junta de unión de los dos tableros del muro de fachada (ejemplo numérico).

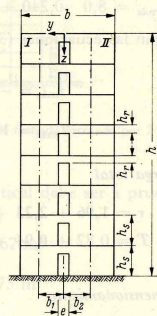


Figura 168

Sistema y dimensiones de una lámina con huecos.

es de la mayor importancia el cálculo de los empujes sobre los dinteles de dichos huecos.

A continuación se establecen las ecuaciones que relacionan el valor del empuje con la ordenada  $z$  en dichos dinteles de unión [26], [27]. Para ello se parte de las siguientes simplificaciones:

1. Se considera despreciable la deformación de los apoyos debido a las fuerzas normales. Las secciones de muro  $I$  y  $II$  (fig. 168) tienen flexiones iguales.
2. Se supone que en el centro de la unión entre los paneles  $I$  y  $II$  el momento es nulo, ya que el dintel carece de resistencia a flexión en comparación con los paneles.

3. Las secciones  $I$  y  $II$  están empotradas en un cimiento o muro de sótano común de rigidez absoluta, es decir, sin posibilidad de deformación;
4. Las fuerzas externas que actúan sobre la totalidad de la lámina se reparten sobre los paneles  $I$  y  $II$  proporcionalmente a sus momentos de inercia  $I_1$  e  $I_2$ .

### 6.4.2 Cálculo de las constantes de empuje

La sección dada por el eje de una columna de huecos encuentra alternativamente un hueco y un dintel. Este dintel, si los huecos corresponden a puertas, está constituido por el trozo de muro comprendido entre el verdadero dintel de dicha puerta y el umbral de la puerta correspondiente de la planta superior. Si el hueco corresponde a ventana, llamamos dintel a la parte de muro constituida no sólo por la porción de muro comprendida entre el borde superior de la ventana y el techo, sino, además, por el antepecho de la ventana superior, es decir, desde el auténtico dintel de una ventana hasta el alféizar de la ventana inmediatamente superior.

Para el cálculo, esta construcción no homogénea se sustituye por una continua formada por un material homogéneo repartido a lo largo de toda la sección, y cuya rigidez se define por medio de una constante de empuje que llamamos  $C$ .

Esta constante  $C$  se define por la condición de que la deformación vertical del material teórico coincida con la deformación real del dintel. En éste, el sistema está simplemente indeterminado. Por ello, supongamos seccionado el dintel por el eje del hueco y apliquemos en este punto la fuerza  $T(z)$ . Sea  $\Delta v_z$  el desplazamiento lateral del extremo libre del dintel causado por la aplicación del empuje  $T(z)$  (fig. 169).



Figura 169  
Introducción del empuje  $T(z)$  estáticamente indeterminado en el centro del dintel.

Haciendo

$$T' = \frac{T}{h_v} \quad [\text{Mp/m}]$$

tendremos, por aplicación de la definición de la constante de empuje:

$$C = \frac{T'}{\Delta v_z} \quad [\text{Mp/m}^2] \quad (33)$$

o sea:

$$T' = C \cdot \Delta v_z \quad (34)$$

Teniendo en cuenta el esfuerzo cortante, la deformación del dintel es:

$$\Delta v_z = 2T(z) \left( \frac{e^3}{24E_f} + \kappa \frac{e}{2GF_f} \right) \quad (35)$$

Con ello, la constante de empuje tiene la forma

$$C = \frac{12E\mathcal{I}_r}{h_s \cdot e^3 \left[ 1 + \kappa \frac{E}{G} \left( \frac{h_r}{e} \right)^2 \right]} \quad (36)$$

Para secciones rectangulares, el coeficiente de distribución de empuje tiene el valor  $\kappa = 1,2$ .

#### 6.4.3 Cálculo del valor del empuje en los dinteles

Las dos partes I y II de la lámina están unidas por dinteles a intervalos regulares. El empuje  $T(z)$  y la fuerza normal  $S(z)$  en (Mp), obtenidos totalizando hasta la ordenada  $a$ , deben ser transmitidos a través de estos dinteles.

Tenemos, pues,

$$T(z) = \int_{z=0}^z T'(z) dz \quad (37)$$

$$S(z) = \int_{z=0}^z S'(z) dz$$

Las dimensiones de  $T'(z)$  y  $S'(z)$  son (Mp/m). El valor del momento flector resultante de las fuerzas normales que actúan sobre el dintel, respecto de la sección a la altura  $z$  es:

$$M_s(z) = \int_{z=0}^z S'(z) \cdot z \cdot dz \quad (38)$$

El momento exterior total  $M$ , es decir, el momento creado por las fuerzas horizontales o por el peso propio irregularmente repartido, se distribuye proporcionalmente a los momentos de inercia de las dos partes de la lámina, o sea:

$$M^I = \frac{\mathcal{I}_1}{\mathcal{I}_0} \cdot M \quad (39)$$

$$M^{II} = \frac{\mathcal{I}_2}{\mathcal{I}_0} \cdot M \quad (40)$$

y, por lo tanto:

$$\mathcal{I}_0 = \mathcal{I}_1 + \mathcal{I}_2.$$

Las condiciones de equilibrio, respecto del eje de gravedad del panel I, nos dan en la sección  $z$  (fig. 170).

$$M^I - M_1(z) - b_1 \int_{z=0}^z T'(z) dz - \int_{z=0}^z S'(z) \cdot z \cdot dz = 0$$

y

$$M_1(z) = M^I - b_1 \cdot T(z) - M_s(z) \quad (41)$$

Análogamente, tendremos respecto del eje de gravedad del panel II en la sección  $z$ :

$$M_2(z) = M^{II} - b_2 \cdot T(z) + M_s(z) \quad (42)$$

Para la determinación de los valores de las incógnitas  $T(z)$  y  $M_s(z)$ , disponemos de dos condiciones:

#### Primera condición

Los desplazamientos horizontales de los dos paneles o partes de las láminas I y II deben coincidir, ya que la deformación del dintel, debida a las fuerzas normales, es despreciable:

$$v_y(1) = v_y(2) \quad (43)$$

Debido a una carga exterior arbitraria, aparecen en los dos paneles unos momentos flectores  $M_1(z)$  y  $M_2(z)$ , así como unas fuerzas normales  $N_1(z) = T(z)$  y  $N_2(z) = -T(z)$ .

Para el cálculo de los desplazamientos horizontales de los paneles I y II,

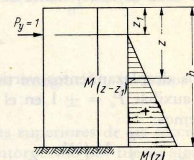


Figura 171  
Carga auxiliar  $P_v = 1$ .

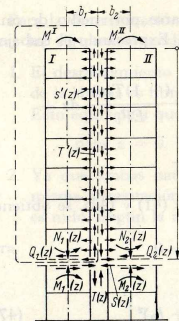


Figura 170  
Condiciones de equilibrio del panel I.

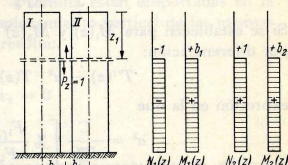


Figura 172  
Carga auxiliar  $P_z = \pm 1$ .



causados por cargas exteriores, consideramos una carga auxiliar  $p_y = 1$  a la altura  $Z_1$  aplicada sobre ambos paneles (fig. 171).

Los desplazamientos horizontales de la lámina son obtenidos por medio de la expresión del trabajo:

#### Panel I

$$v_y(1) = \int_{z_1}^H \frac{(z - z_1)M_1(z)}{EJ_1} dz \quad (44)$$

#### Panel II

$$v_y(2) = \int_{z_1}^H \frac{(z - z_1)M_2(z)}{EJ_2} dz \quad (45)$$

Aplicando a  $M_1(z)$  y  $M_2(z)$  las ecuaciones (14) y (42), se obtiene con ayuda de la igualdad (43)

$$M_s(z) = T(z) \frac{b_2 \cdot J_1 - b_1 \cdot J_2}{J_0} \quad (46)$$

#### Segunda condición

Debido a las cargas exteriores, aparecen en los dos puntos extremos del dintel unos desplazamientos verticales que, según la definición anteriormente dada de la constante de empuje, tienen el valor:

$$Av_z = \frac{T(z)}{C}$$

Los desplazamientos verticales pueden calcularse por medio de una carga auxiliar  $P_z = \pm 1$  en el punto  $z_1$  (fig. 172). Expresando el trabajo, tendremos:

$$Av_z = \int_{z_1}^H \frac{M_1(z)b_1}{EJ_1} dz + \int_{z_1}^H \frac{M_2(z)b_2}{EJ_2} dz + \int_{z_1}^H \frac{(-1)T(z)}{EF_1} dz + \int_{z_1}^H \frac{-T(z)}{EF_2} dz = \frac{T'(z)}{C}$$

Si se establecen para  $M_1(z)$  y  $M_2(z)$  las igualdades (41) y (42), se obtiene por diferenciación:

$$T''(z) - \alpha^2 \cdot T(z) + \beta \cdot M(z) = 0$$

expresión en la que

$$\alpha^2 = \frac{C}{EJ_0} \left[ J_0 \frac{F_1 + F_2}{F_1 \cdot F_2} + (b_1 + b_2)^2 \right] \quad (47)$$

$$\beta = \frac{C}{EJ_0} (b_1 + b_2) \quad (48)$$

Esta ecuación diferencial no homogénea euleriana puede resolverse fácilmente.

La solución de la ecuación diferencial homogénea:

$$T''(z) - \alpha^2 \cdot T(z) = 0$$

es inmediata, haciendo

$$T_h(z) = A \cdot \operatorname{sh} \alpha z + B \cdot \operatorname{ch} \alpha z$$

El desarrollo del momento externo  $M(z)$  puede escribirse en la forma:

$$M(z) = a_0 + a_1 \cdot z + a_2 \cdot z^2 + a_3 \cdot z^3 + a_4 \cdot z^4 + \dots$$

Para resolver la ecuación diferencial se deriva dos veces:

$$T_p(z) = b_0 + b_1 \cdot z + b_2 \cdot z^2 + b_3 \cdot z^3 + b_4 \cdot z^4 + \dots$$

$$T_p''(z) = 2 \cdot b_2 + 6 \cdot b_3 \cdot z + 12 \cdot b_4 \cdot z^2 + \dots$$

La solución particular tiene la forma:

$$T_p(z) = \frac{\beta}{\alpha^2} M(z) + \frac{\beta}{\alpha^4} M''(z) + \frac{\beta}{\alpha^6} M''''(z) + \dots$$

También es solución de la ecuación diferencial dada la función:

$$T(z) = T_h + T_p = A \operatorname{sh} \alpha z + B \operatorname{ch} \alpha z + \frac{\beta}{\alpha^2} M(z) + \frac{\beta}{\alpha^4} M''(z) + \dots \quad (49)$$

#### Condiciones de contorno

Para la determinación de las constantes de integración, podemos emplear las siguientes condiciones:

1. El desplazamiento vertical de los bordes superiores de las secciones de la lámina es libre; es decir, no está entorpecido por fuerza alguna. Esto equivale a que

$$\text{para } z = 0, T = 0, \text{ así como } M = 0 \text{ para } z = 0.$$

2. Ya que ambas partes I y II de la lámina están empotradas en la misma cimentación rígida, el desplazamiento vertical de las mismas es nulo. Según la igualdad (34), resulta:

para

$$\begin{aligned} z &= h, Av_z = 0 \\ T' &= 0 \\ M &= M(h) \end{aligned}$$

De estas condiciones de contorno obtenemos las constantes de integración, despreciando los términos superiores del desarrollo en serie no empleados en la práctica:

$$A = \frac{\beta}{a^4 \operatorname{ch} ah} \left[ M''(0) \operatorname{sh} ah - aM'(h) - \frac{1}{a} M'''(h) \right]$$

$$B = -\frac{\beta}{a^4} M''(0)$$

Substituyendo en la expresión (49), tenemos:

$$T(z) = \frac{\beta}{a^4} \frac{\operatorname{sh} az}{\operatorname{ch} ah} \left[ M''(0) \operatorname{sh} ah - aM'(h) - \frac{1}{a} M'''(h) \right] - \frac{\beta}{a^2} \left[ \frac{1}{a^2} M''(0) \operatorname{ch} az - M(z) - \frac{1}{a^2} M''(z) \right] \quad (50)$$

para  $z = h$  y haciendo  $\operatorname{sh} ah \approx \operatorname{ch} ah$  se obtiene:

$$T(h) = \frac{\beta}{a^4} \left[ -aM'(h) - \frac{1}{a} M'''(h) + a^2 M(h) + M''(h) \right] \quad (51)$$

#### Empuje máximo

De la expresión (50) se deduce:

$$T'(z) = \frac{\beta}{a^3} \frac{\operatorname{ch} az}{\operatorname{ch} ah} \left[ M''(0) \operatorname{sh} ah - aM'(h) - \frac{1}{a} M'''(h) \right] - \frac{\beta}{a^2} \left[ \frac{1}{a} M''(0) \operatorname{sh} az - M'(z) - \frac{1}{a^2} M'''(z) \right] \quad (52)$$

$$T''(z) = \frac{\beta}{a^2} \frac{\operatorname{sh} az}{\operatorname{ch} ah} \left[ M''(0) \operatorname{sh} ah - aM'(h) - \frac{1}{a} M'''(h) \right] - \frac{\beta}{a^2} \left[ M''(0) \operatorname{ch} az - M''(z) - \frac{1}{a^2} M'''(z) \right] \quad (53)$$

El máximo del empuje  $T'(z_m)$  se obtiene de la condición

$$T''(z_m) = 0$$

En el cálculo práctico deben tenerse en cuenta los valores siguientes:

$$\operatorname{ch} \varphi = \frac{1}{2} (e^{\varphi} + e^{-\varphi})$$

$$\operatorname{sh} \varphi = \frac{1}{2} (e^{\varphi} - e^{-\varphi})$$

Para grandes valores de  $\varphi$  (p. ej.,  $\varphi \gg 6$ ), puede tomarse  $\operatorname{ch} \varphi \approx \operatorname{sh} \varphi$ . En dos casos especiales de gran importancia admiten simplificación las ecuaciones dadas.

*Primer caso. Carga horizontal uniformemente repartida ( $q = \text{constante}$ ).*

En este caso,

$$M(z) = q \cdot \frac{z^2}{2}$$

$$M'(z) = q \cdot z$$

$$M''(z) = q$$

$$M'''(z) = M''''(z) = 0$$

Las ecuaciones (50) y (52) con esta hipótesis de carga, toman la forma:

$$T(z) = \frac{\beta}{a^4} \frac{\operatorname{sh} az}{\operatorname{ch} ah} q [\operatorname{sh} ah - ah] - \frac{\beta}{a^2} q \left[ \frac{1}{a^2} \operatorname{ch} az - \frac{z^2}{2} - \frac{1}{a^2} \right] \quad (54)$$

$$T'(z) = \frac{\beta}{a^3} \frac{\operatorname{ch} az}{\operatorname{ch} ah} q [\operatorname{sh} ah - ah] - \frac{\beta}{a^2} q \left[ \frac{1}{a} \operatorname{sh} az - z \right] \quad (55)$$

El máximo empuje se obtiene de la expresión:

$$T''(z_m) = \frac{\beta}{a^2} \frac{\operatorname{sh} az_m}{\operatorname{ch} ah} q [\operatorname{sh} ah - ah] - \frac{\beta}{a^2} q [\operatorname{ch} az_m - 1] = 0$$

Puede sustituirse  $\operatorname{sh} az_m \approx \operatorname{ch} az_m \approx 1/2 e^{az_m}$  con suficiente exactitud, obteniéndose el punto de empuje máximo mediante la ecuación:

$$e^{az_m} = 1 + \frac{2 \operatorname{ch} ah}{ah} \quad (56)$$

*Segundo caso. Carga vertical descentrada que aumenta según una ley lineal*

En esta hipótesis de carga (que se debe, p. ej., al peso propio irregularmente distribuido) obtenemos los momentos siguientes:

$$M(z) = M_0 \cdot z$$

$$M'(z) = M_0$$

$$M''(z) = M'''(z) = M''''(z) = 0$$

Las ecuaciones (50) y (52) toman la forma:

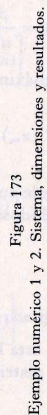
$$T(z) = \frac{\beta}{a^2} M_0 \left[ z - \frac{\operatorname{sh} az}{a \cdot \operatorname{ch} ah} \right] \quad (57)$$

$$T'(z) = \frac{\beta}{a^2} M_0 \left[ 1 - \frac{\operatorname{ch} az}{\operatorname{ch} ah} \right] \quad (58)$$

El valor máximo del empuje se obtiene de la condición:

$$T''(z_m) = 0$$




$$C = \frac{12 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 0,00188}{3,0 \cdot 1^3 \left[ 1 + 1,2 \cdot \frac{2,1}{0,9} \left( \frac{0,5}{1,0} \right)^2 \right]} = 9290 \text{ МПа/м}^2$$

La abscisa del centro de gravedad de la sección total es:

$$x_s = \frac{(4,0 \cdot 2,0 + 5,0 \cdot 7,5)}{9,0} = 5,06 \text{ m}$$

Considerando la sección total, resulta:

$$\mathcal{I}_{\text{tot}} = 0,960 + 0,18 \cdot 4,0 (5,06 - 2,0)^2 + 1,875 + 0,18 \cdot 5,0 (7,50 - 5,06)^2$$

$$\mathcal{I}_{\text{tot}} = 14,933 \text{ m}^4.$$

Según las igualdades 47 y 48:

$$a^2 = \frac{9290}{2,1 \cdot 10^6 \cdot 2,835} \left[ 2,835 \frac{1,62}{0,72 \cdot 0,90} + (2,5 + 3,0)^2 \right] = 0,0583$$

$$a = 0,242$$

$$\beta = 1560,4 \cdot 10^{-6} \cdot 5,50 = 0,00858$$

El valor del empuje en los dinteles es, según la ecuación (54):

$$T(z) = \frac{0,00858}{0,242^4} \cdot \frac{\text{sh } 0,242}{\text{ch } 0,242 \cdot 27,0} \cdot q [\text{sh } 6,534 - 6,534] -$$

$$- \frac{0,00858}{0,242^2} \cdot q \left[ \frac{1}{0,242^2} \text{ch } 0,242z - \frac{z^2}{2} - \frac{1}{0,242^2} \right]$$

$$T(z) = q(2,45417 \text{ sh } 0,242 - 2,50168 \text{ ch } 0,242 + 0,07325 \cdot z^2 + 2,50168)$$

$$T'(z) = q(0,59391 \text{ ch } 0,242z - 0,60541 \text{ sh } 0,242 + 0,14650z)$$

La solución de estas ecuaciones nos da los siguientes valores de  $T'(z)$  y  $T(z)$ :

$z$ m	$T'$ Mp/m	$T$ Mp
0	0,59q	0
10	1,45q	9,34q
15	2,00q	18,02q
20	2,21q	28,78q
25	1,23q	38,20q
27	0	39,55q

El punto de máximo empuje se obtiene de la ecuación (56):

$$e^{az_m} = \frac{2 \cdot 344,0695}{0,242 \cdot 27,0} = 105,3$$

$$az_m = 4,66$$

$$z_m = 19,30 \text{ m}$$

y en dicho punto:  $\text{máx } T' = 2,22q \text{ Mp/m}$

Si se representan gráficamente las funciones  $T(z)$  y  $T'(z)$  (fig. 173) puede verse fácilmente que parte  $AT(z)$  corresponde al dintel de cada piso. En la figura 173 está representado como ejemplo el correspondiente a la planta quinta.

*Distribución de tensiones en la planta inferior*

Tenemos:

$$M(z) = q \frac{z^2}{2} = q \cdot \frac{27,0^2}{2} = 364,5q$$

Según las expresiones (39) y (40):

$$M^I = \frac{0,960}{2,835} \cdot 364,5q = 123,4q$$

$$M^{II} = \frac{1,875}{2,835} \cdot 364,5q = 241,1q$$

De la igualdad (46) se deduce:

$$M_s(z) = \frac{3,0 \cdot 0,960 - 2,50 \cdot 1,875}{2,835} \cdot T(z) = -0,638 \cdot T(z)$$

Para  $z = 27,0$  m:  $M_s(z) = -0,638 \times 39,55q = -25,23q$ .

*Panel I*

De la expresión (41) se obtiene, sustituyendo valores:

$$M_1(z = 27,0) = (123,4 - 2,50 \cdot 39,55 + 25,23)q = 49,76q \text{ Mpm}$$

$$N_1(z) = T(z) = 39,55q \text{ Mp}$$

$$\sigma_{1,2} = \pm \frac{49,76}{0,48} q \pm \frac{39,55}{0,72} q$$

$$\sigma_1 = + 158,6q \text{ Mp/m}^2$$

$$\sigma_2 = - 48,8q \text{ Mp/m}^2$$

*Panel II*

De la expresión (42) se obtiene, sustituyendo valores:

$$M_2(z = 27,0) = (241,1 - 3,0 \cdot 39,55 - 25,23)q = 97,22q \text{ Mpm}$$

$$N_2(z = - T(z) = - 39,55q \text{ Mp}$$

$$\sigma_{1,2} = \pm \frac{97,22}{0,75} q - \frac{39,55}{0,90} q$$

$$\sigma_1 = + 85,4q \text{ Mp/m}^2$$

$$\sigma_2 = - 173,5q \text{ Mp/m}^2$$



*Comparación de los resultados con los obtenidos por un método aproximado de cálculo*

En el método aproximado de cálculo siguiente se supone una unión absolutamente rígida entre ambos paneles, que no presentan ningún hueco. Según la expresión (31), en una sección vertical:

$$\tau = \frac{Q(z) \cdot S}{j \cdot t}$$

$$T' = \frac{Q(z) \cdot S}{j} \quad [\text{Mp/m}]$$

El momento en una sección por el hueco de una puerta es:

$$S = 0,18 \cdot 4,0(5,06 - 2,0) = 2,20 \text{ m}^3$$

$$Q(z) = q \cdot z$$

$$T'(z) = q \cdot z \cdot \frac{2,20}{14,933} = 0,1475 \cdot q \cdot z \quad \text{Mp/m}$$

Para  $z = 2,70 \text{ m}$

$$T'(z = 27,0) = 3,98q \quad \text{Mp/m}$$

$$T(z = 27,0) = 3,98 \cdot \frac{27,0}{2} = 53,73q \quad \text{Mp}$$

$$\text{máx} M = \frac{27,0^2}{2} q = 364,5q \quad \text{Mp/m}$$

$$\sigma_1 = \frac{364,5}{14,933} 5,06 = 123,5 \quad \text{Mp/m}^2$$

$$\sigma_2 = - \frac{364,5}{14,933} 4,94 = -120,6 \quad \text{Mp/m}^2$$

En la figura 173 están representados con líneas de trazos los resultados correspondientes al cálculo aproximado en comparación con los resultados (línea continua), obtenidos anteriormente mediante un método más exacto. Según se ve en este ejemplo, los valores de  $AT$ , calculados por el método aproximado, pueden ser tomados con suficiente exactitud para el dimensionamiento de los dinteles. Por el contrario, las diferencias entre los resultados obtenidos por los distintos métodos de cálculo de la distribución de las tensiones en la lámina, son considerablemente mayores.

#### 6.4.5 Ejemplo numérico num. 2

La lámina representada en la figura 173, y que consta de una fila de huecos, sufre la acción de un momento  $M_0$  (Mpm/m), debido al peso propio, y se desea calcular los valores de los empujes en los dinteles.

De lo expuesto se deduce que  $M(z) = M_0 \cdot z$ .

Sustituyendo valores en la expresión (58), tenemos:

$$T(z) = \frac{0,00858}{0,242^2} M_0 \left[ z - \frac{\text{sh } 0,242z}{0,242 \text{ ch } 0,242 \cdot 27,0} \right]$$

$$T(z) = 0,1465[z - 0,01201 \cdot \text{sh } 0,242z] M_0$$

$$T'(z) = 0,1465[1 - 0,00291 \cdot \text{ch } 0,242z] M_0$$

Dando valores a  $z$  tendremos los correspondientes valores de  $T(z)$  y  $T'(z)$

$z$ m	$T'(z)$ Mp/m	$T(z)$ Mp
0	0,15	0
10	0,14	1,46
15	0,14	2,16
20	0,12	2,82
25	0,06	3,29
27	0	3,35

Estos valores están representados en la figura 173.

*Comparación de estos resultados con los obtenidos por un método aproximado de cálculo*

La ecuación (29) nos da el valor del empuje en una junta vertical, debido al momento creado por el peso propio. Por lo tanto,

$$M_n = M_0 \cdot h_s \quad [\text{Mpm/piso}]$$

y

$$T_n = \frac{M_0 \cdot h_s \cdot S}{j} = \frac{3,0 \cdot 2,20}{14,933} M_0 = 0,442 M_0$$

Para  $z = 2,70 \text{ m}$ , el valor del empuje es:

$$T = 9 \cdot 0,442 = 3,978 M_0 \text{ Mp}$$

El valor del empuje es constante, siendo en Mp/m:

$$T' = \frac{3,978}{27,0} M_0 = 0,148 M_0 \quad \text{Mp/m}$$