

EMPUJE DEL CONCRETO FRESCO CONTRA FORMALETAS LATERALES O DE FONDO INCLINADO

$$K = -e^{-\int \frac{\mu}{\sigma} d\sigma} \int \gamma \cdot d \cdot (\sin \varphi - \mu \cdot \cos \varphi) \cdot e^{\int \frac{\mu}{\sigma} d\sigma} \cdot e^{\frac{\mu}{\sigma} d\sigma}$$



Ingeniero Manfred Specht – Beton und Stahl Betonbau 11/1975



Traducción y Adaptación del alemán:

Ing. Luis Gonzalo Mejía C.



EMPUJE DEL CONCRETO FRESCO CONTRA FORMALETAS LATERALES O DE FONDO INCLINADO

Por: Ingeniero Manfred Specht - Beton und Stahl-
betonbau 11/1975.

TRADUCCION Y ADAPTACION
INGENIERO LUIS GONZALO MEJIA C.
UNIVERSIDAD NACIONAL - UNIVERSIDAD DE KARLSRUHE.

1. INTRODUCCION

La magnitud y distribución del empuje debido al concreto fresco contra una formaleta vertical, ha sido tratada en muchas publicaciones, divergiendo ampliamente las conclusiones. No existe sin embargo información confiable para el caso de formaletas inclinadas o para determinar la magnitud de empuje horizontal en formaletas de fondo inclinadas cuando el concreto tiene la posibilidad de apoyarse contra apoyos rígidos.

Hasta ahora en la práctica y por razones de seguridad, se calcula la formaletería inclinada* con empuje hidrostático completo y la formaletería inclinada de fondo, con una descomposición de fuerzas muy simple, sin tener en cuenta la fricción, de acuerdo a la figura 1.

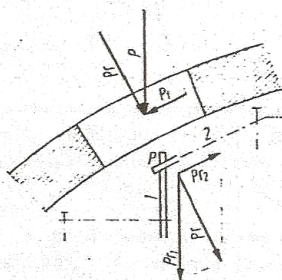


Figura 1. Solicitaciones del andamiaje para un arco.

* Una formaleta inclinada es aquella cuyo ángulo con respecto a la vertical es $\geq 10^\circ$. Una formaleta más empinada se considera en general como vertical.

La figura 2 muestra un ejemplo típico de una formaleta de fondo inclinada. Si se hubiera diseñado

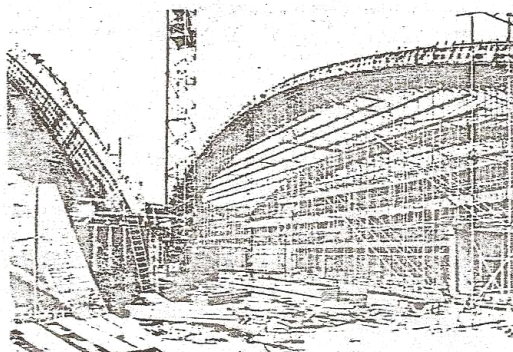


Figura 2. Andamiaje para un arco

la formaletería de los arcos de más de 100 m de luz, despreciando la fricción, se hubiera obtenido una estructura de soporte monstruoso. El vaciado del concreto debería comenzar simultáneamente a partir de los arranques hasta la clave del arco.

La magnitud de las fuerzas horizontales actuantes, especialmente si se presentaba un vaciado imprevisto por un solo lado, determinarían en gran parte los costos de la formaletería.

El fundamento para el tratamiento del problema del empuje del concreto fresco contra formaletas laterales y de fondo inclinadas y para una determinación aceptable de las cargas horizontales y

verticales sobre el andamiaje, lo constituye el conocimiento preciso de la fuerza de fricción entre el concreto fresco y los diferentes tipos de superficies que presenten las formaletas. El concepto "concreto fresco" se utilizará aquí en sentido amplio. Se entiende un concreto que necesita del apoyo de una formaleta para permanecer estable.

2. VACIADO SOBRE FORMALETAS INCLINADAS

2.1 Descripción del problema

Una vez determinado el valor del ángulo de fricción entre el concreto fresco y la formaleta, se pueden determinar las solicitaciones sobre la formaletería, causados por un vaciado ascendente de concreto sobre una formaleta de fondo con cualquier curvatura. Para esto, se supone, que la formaleta de fondo esté soportada en toda su longitud, vertical y horizontalmente, que la parte superior del miembro permanece libre y que el concreto resiste las solicitaciones posteriores a su colocación.

El concreto fresco vibrado se puede considerar como un cuerpo cuasi-sólido, el cual es mantenido en equilibrio al encontrarse sobre un plano inclinado por la fuerza de arco K y las componentes H y V de la formaleta. De acuerdo a la magnitud de la fricción se establece una relación H/V dependiente de la inclinación ϕ . En la figura 3 se presentan los casos límites entre los cuales puede variar la relación de fuerzas de apoyo H/V .

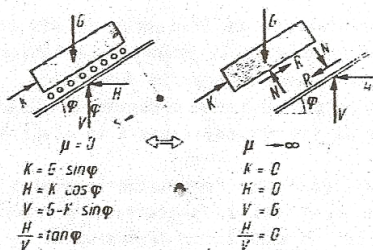


Figura 3. Casos límites para la relación de fuerzas H/V .

2.2 Fórmulas generales para un andamiaje con curvatura arbitraria.

El andamiaje soporta una formaleta de fondo de ancho b , con una forma arbitraria $y = f(X)$ y el peso propio del concreto que con un espesor d y un peso específico γ es de:

$$G = \gamma \cdot d \cdot s. \quad (1)$$

Un elemento de concreto (ver fig. 4) de longitud ds , coordenados baricéntricos X, Y y una inclinación ϕ del plano tangencial con respecto al eje X , es solicitado por el empuje de arco K y su peso propio.

$$dG = \gamma \cdot d \cdot ds. \quad (2)$$

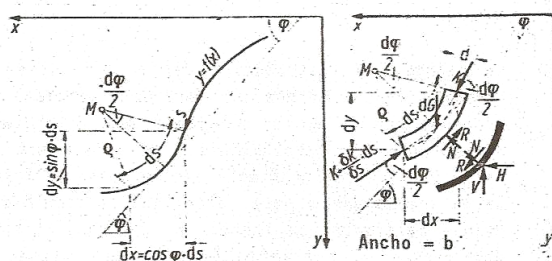


Fig. 4 Geometría y solicitaciones de un elemento de concreto sobre una formaleta de fondo con curvatura arbitraria.

Como fuerzas reactivas actúan:

$$K + \frac{\partial K}{\partial s} \cdot ds = K + \dot{K} ds. \quad (3)$$

$$N, R = \mu \cdot N.$$

Las dos últimas fuerzas solicitan la formaleta de fondo, que a su vez encuentran apoyo en las fuerzas V y H provistas por el elemento correspondiente del andamiaje.

Si se plantean las ecuaciones de equilibrio de fuerzas en el elemento de formaleta y en el elemento de concreto fresco y luego de introducir las simplificaciones habituales de la geometría diferencial acerca de la curvatura y despreciando los términos de segundo orden, se obtiene la siguiente ecuación diferencial:

$$\mu \cdot d\varphi \cdot K + K \cdot ds = dG (\sin \varphi - \mu \cdot \cos \varphi) \quad (4)$$

Cuya solución general es:

$$K = -e^{-\int \frac{\mu}{e} ds} \int \gamma \cdot d \cdot (\sin \varphi - \mu \cdot \cos \varphi) e^{\int \frac{\mu}{e} ds} ds + C \cdot e^{-\int \frac{\mu}{e} ds} \quad (5)$$

2.3 Caso especial de un plano inclinado.

La mayor parte de formaletería curva está formada por planos inclinados. Aún para grandes arcos se puede suponer, sin cometer errores apreciables, el radio de curvatura igual a ∞ . Con $\rho = \infty$, el ancho b y relaciones constantes de s a lo largo de ds , la ecuación (5) se reduce a:

$$K = \gamma \cdot d \cdot s \cdot b (\sin \varphi - \mu \cdot \cos \varphi) + I \quad (6)$$

Se encontró que era conveniente, introducir una nueva constante de integración I , por medio de la cual es posible describir la influencia de un vaciado de concreto ascendente, sobre el concreto acabado de colocar (figura 5). Con esto se obtienen las fórmulas definitivas para el vaciado sobre un plano inclinado:

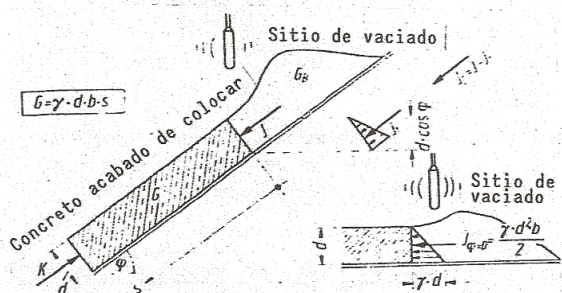


Figura 5. Empuje del concreto recién vaciado contra el concreto acabado de colocar.

El empuje K en el concreto fresco debajo del punto de vaciado con una longitud s creciente vale:

$$K = \gamma \cdot d \cdot b \cdot s \left(\sin \varphi - \mu_{red} \cdot \cos \varphi + \frac{d \cos \varphi}{2 \cdot s} \right) + G_B \cdot r \cdot \sin \varphi \quad (7)$$

y la sollicitación del andamiaje sobre la unidad de longitud inclinada 1 vale:

$$H = \gamma \cdot d \cdot b (\sin \varphi \cdot \cos \varphi - \mu_{red} \cdot \cos^2 \varphi) \quad (8)$$

$$V = \gamma \cdot d \cdot b (\cos^2 \varphi + \mu_{red} \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi) \quad (9)$$

Desfavorablemente se supuso que el efecto del vibrado se extendió sobre toda la longitud de vaciado y por tanto la disminución de la fricción no era solamente local.

En las ecuaciones anteriores significan:

μ_{red} = Coeficiente reducido de fricción entre el concreto fresco y la superficie de la formaleta (debido a la influencia del vibrado).

S = Longitud inclinada del concreto ya colocado por debajo del lugar de vaciado.

δ = Densidad del concreto fresco.

d = Espesor de la capa de concreto fresco perpendicular a la formaleta de fondo.

b = Ancho de la faja de vaciado.

φ = Inclinación de la formaleta de fondo.

G_B = Peso del concreto que se coloca.

r = Coeficiente obtenido de ensayos; de acuerdo al contenido de agua del concreto y la rugosidad de la formaleta de fondo varía entre 0,4 y 1,0. Ver tabla 1.

TABLA 1

Consistencia del concreto fresco	Formaleta		
	Lisa	Media	Rugosa
Duro y plástico	0,7	0,5	0,4
Blando	1,0	1,0	1,0

Coeficiente en la ecuación (7) para $\varphi \leq 45^\circ$

2.4 Sollicitación horizontal del andamiaje.

En general, lo que más interesa cuando se trabaja sobre superficies inclinadas es el valor de la fuerza horizontal que actúa sobre el andamiaje.

Su magnitud se puede calcular a partir de la ecuación (8).

Es conveniente relacionar la fuerza horizontal, así obtenida, con la componente horizontal obtenida de la descomposición de fuerzas, asumiendo una fricción nula.

$$H = H_{\mu=0} \cdot \xi \quad (10)$$

Se obtiene así el factor adimensional de reducción.

$$\xi = 1 - \mu_{red} \cdot \cot \varphi \quad (11)$$

De la figura 6 se puede obtener ξ directamente. Con él, se puede multiplicar la componente H obtenida de la descomposición con fricción nula, cuando entre el concreto fresco y la formaleta de soporte se puede suponer un coeficiente de fricción de acuerdo a la tabla 2.

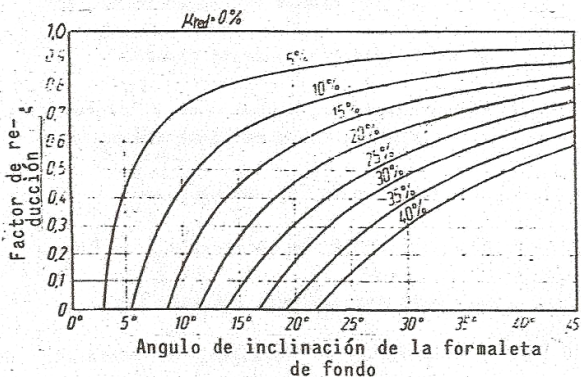


Figura 6. Determinación de $\xi = 1 - \mu_{red} \cot \varphi = A/H_{\mu=0}$, como función del ángulo φ de inclinación de la formaleta de fondo y el coeficiente de fricción reducido

3. EMPUJE DEL CONCRETO FRESCO CONTRA UNA FORMALETA LATERAL INCLINADA.

3.1 Generalidades

La ecuación (12) da el empuje lateral horizontal S_H del concreto fresco:

$$S_H = \lambda_H \cdot \gamma \cdot h \quad (12)$$

El coeficiente de empuje lateral horizontal λ_H es una función de un número grande de variables. Para tratar de describir matemáticamente el problema, es conveniente separar el empuje en dos partes: el empuje hidrostático en la zona de influencia inmediata del vibrador sobre la altura $r\bar{u}$ y aquel de la sobrecarga subsiguiente de altura $(h - r\bar{u})$ (Ver figuras 7 y 8).

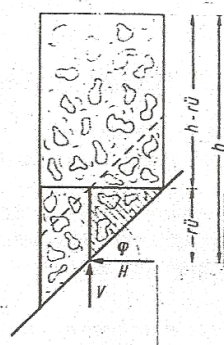


Figura 7. Elemento de formaleta inclinada con las zonas de empuje $r\bar{u}$ y $(h - r\bar{u})$.

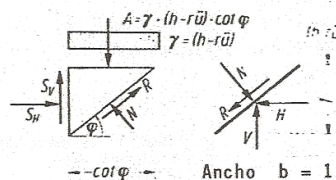


Figura 8. Formaletas laterales inclinadas fuerzas que actúan sobre el concreto y sobre un elemento de formaleta.

3.2 Determinación del coeficiente de empuje lateral para una formaleta de muro inclinada.

Cuando se inclina una formaleta lateral, el empuje lateral permanece constante, hasta que se cree una finura equilibrante de rozamiento entre el concreto fresco y la superficie de la formaleta.

Para cada ángulo de inclinación, se puede obtener por medio de la fórmula 13, el correspondiente coeficiente de fricción.

$$\text{erf} \cdot \mu = \frac{1 - \lambda_{H,90}}{\tan \varphi \cdot \lambda_{H,90} + \cot \varphi} \quad (13)$$

El coeficiente de empuje lateral para una pared vertical $\lambda_{H, 90}$ se determina a partir de ensayos. La tabla 3 contiene valores aproximados.

Si el $\mu_{nec} > \mu_{red}$ (Tabla 2), la fuerza de fricción está limitada y el equilibrio sólo es posible por un aumento del empuje lateral S_H al valor $S_{H,\varphi}$, es decir el coeficiente de empuje lateral $\lambda_{H,\varphi}$ tiene que adoptar por lo menos el valor $\lambda_{H,\varphi}$

$$\lambda_{H,\varphi} = \frac{1 - \mu_{red} \cdot \cot \varphi}{1 + \mu_{red} \cdot \tan \varphi} \quad (14)$$

Para facilitar su uso, se representa gráficamente la ecuación (14) en la figura 9.

3.3 Ecuaciones para determinar el empuje sobre formaleatas.

Las ecuaciones, separadas para las dos zonas de empuje son:

a. Empuje hidrostático en la zona de influencia del vibrador $r\bar{u}$

$$\begin{aligned} H &= \gamma \cdot r\bar{u} \cdot b, \\ V &= \gamma \cdot r\bar{u} \cdot b. \end{aligned} \quad (15)$$

b. Empuje causado por la sobrecarga subsiguiente con una altura $(h - r\bar{u})$

TABLA 2

	Consistencia del concreto					
	Duro		Plástico		Blando	
	μ_G	μ_{red}	μ_G	μ_{red}	μ_G	μ_{red}
Formaleta lisa	30	19	30	15	17	0
Formaleta roma	38	24	38	19	22	0
Formaleta rugosa	44	29	44	23	26	0
Valor límite para la rugosidad máxima	53	33	53	27	30	0

Coefficientes de fricción entre el concreto fresco y la superficie de la formaleta en porcentaje

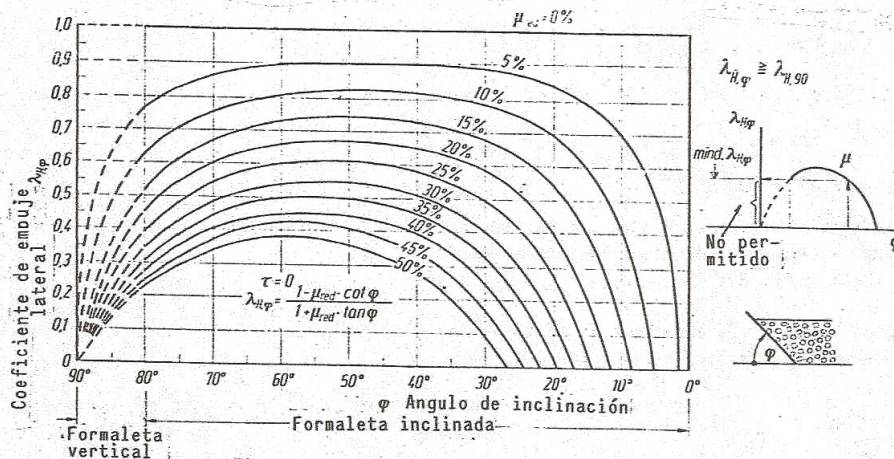


Figura 9. Valor mínimo del coeficiente de empuje lateral $\lambda_{H,\varphi}$, para concreto fresco y formaleta inclinada.

TABLA 3

K1 = Concreto endurecido.

K2 = Concreto plástico.

K3 = Concreto blando (fluido).

	Consistencia del concreto fresco			
	K 1	K 2	K 3	Concreto fluido
$\lambda_{H,90} =$	0,08	0,20	0,50	1,00

Valores mínimos del coeficiente de presión lateral $\lambda_{H,\varphi}$ para paredes inclinadas y concretos frescos.

Primer caso $\mu_{nec} \leq \mu_{red}$ (Tabla 2)

$$H = \gamma(h - r\bar{u}) \cdot b \cdot \lambda_{H,90}, \quad (16)$$

$$V = \gamma(h - r\bar{u}) \cdot b.$$

Segundo caso $\mu_{nec} > \mu_{red}$

$$H = \gamma(h - r\bar{u}) \cdot b \cdot \lambda_{H,\varphi}, \quad (17)$$

$$V = \gamma(h - r\bar{u}) \cdot b.$$

Las ecuaciones definitivas, separadas para los dos casos de fricción, se obtienen al sumar la influencia de las dos zonas e introducir el valor de la densidad del concreto fresco $\gamma = 2,5 \text{ t/m}^3$ y la profundidad media de vibrado $r\bar{u} = 0,9 \text{ m}$:

Primer caso $\mu_{nec} \leq \mu_{red}$

$$V = 2,5 \cdot h \cdot b \text{ [t/m]} \quad (18)$$

$$H = 2,25 \cdot \lambda_{H,90} \cdot b \left(\frac{h}{0,90} + \frac{1}{\lambda_{H,90}} - 1 \right) \text{ [t/m]} \quad (19)$$

Segundo caso $\mu_{nec} > \mu_{red}$

$$H = 2,25 \cdot \lambda_{H,\varphi} \cdot b \left(\frac{h}{0,90} + \frac{1}{\lambda_{H,\varphi}} - 1 \right) \text{ [t/m]} \quad (20)$$

$$V = 2,5 \cdot h \cdot b \text{ [t/m]}.$$

La fuerza H vale para la unidad de altura vertical l y la fuerza V para la correspondiente proyección vertical (Ver figura 8).

Los valores H, V , de acuerdo a la ecuación (14) pueden obtenerse de la figura 9.

4. RESUMEN

Se describen experiencias de ensayos de fricción entre el concreto fresco y diversos tipos de superficies de formaletas. Los coeficientes de

fricción así obtenidos sirven de fundamento para el tratamiento del problema de las sollicitaciones que se presentan en un andamiaje durante el vaciado sobre una formaleta de fondo inclinado y del empuje del concreto contra una formaleta lateral inclinada. La influencia de un vibrador se tiene en cuenta por medio de un coeficiente de fricción reducido μ_{red} .

En comparación con la descomposición de fuerzas con fricción nula en formaletas de fondo inclinadas y la utilización del empuje hidrostático contra formaletas laterales inclinadas, se obtienen grandes economías.