

# LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

## CÁLCULO DE CIMENTACIONES

Ing. Carlos Huayllasco Montalva

### Consideraciones Generales

Anteriormente se dimensionaban los macizos de cimentación para que su peso y el del soporte bastaran para equilibrar la acción de las fuerzas actuantes, pero esto requería volúmenes de obra importantes, por ello se pensó que el terreno podría también contrarrestar el momento de vuelco del soporte, introduciendo por lo tanto en el cálculo de la estabilidad los empujes del terreno.

Existen varios métodos de cálculo, los cuales son aproximados, pues no se puede seguir, en la práctica, un método rigurosamente matemático.

Los métodos más conocidos son:

- a) Método Suizo o de Sulzberger
- b) Método Francés o de Valensi

## Método Francés o de Valensi

Presión admisible del terreno

$$\sigma = \frac{F(h+t)}{dm \cdot t^2 / 48 + 10^4} \text{ kg/cm}^2$$

dm = diámetro en la base del poste

Valores de presiones admisibles:

$$\begin{aligned} \sigma \text{ arena} &= 2,0 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma \text{ vegetal} &= 1,5 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

## Método Francés o de Valensi

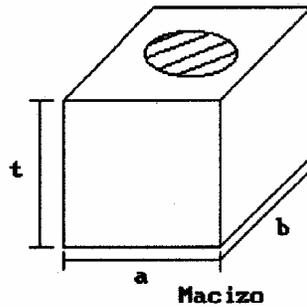
Según Valensi

$$F(h+t) \leq \frac{P}{2} \left( a - \frac{4 \cdot P}{3 \cdot b \cdot \sigma} \right) + C \cdot b \cdot t^3$$

- P = peso total (poste+equipo+macizo)
- $\sigma$  = presión máxima admisible
- C = coeficiente definido por la densidad del terreno y ángulo de deslizamiento de la tierra

Peso específico del concreto = 2 200 kg/m<sup>3</sup>

## Método Francés o de Valensi



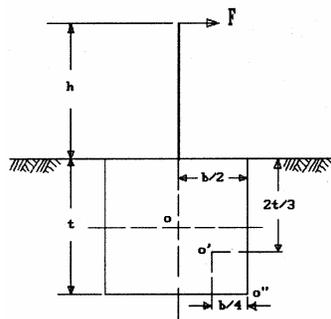
Valores de C

C arena =  $670 \text{ kg/m}^3$

C vegetal =  $960 \text{ kg/m}^3$

## Método de Sulzberger (o método suizo)

Cuando se trata de terrenos sueltos sin cohesión (arena), el eje de rotación del macizo por la acción de la fuerza F coincide con el punto (o), que es el centro de la gravedad y centro geométrico



Si los terrenos considerados son plásticos, el eje de rotación se hallará en el punto (o') cuyas coordenadas son  $b/4$ ,  $2t/3$

Si el terreno es muy resistente, el eje de rotación estará en el punto (o'') es decir en el fondo del macizo

## Método de Sulzberger (o método suizo)

Se comprobó que la resistencia específica de los terrenos a la compresión a lo largo de las paredes verticales varía en razón directa a la profundidad que depende de la clase de terreno y del grado de humedad del mismo y también de la resistencia debajo del macizo, que debe tener un valor al menos igual a la resistencia sobre paredes verticales a la misma profundidad

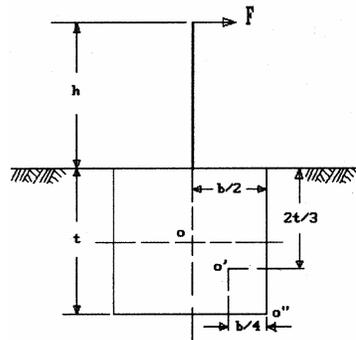
Las bases o criterios de cálculo son:

1. El macizo puede girar un ángulo  $\alpha$  definido por  $\operatorname{tg}\alpha = 0,01$  sin que se deba tener en cuenta la variación del coeficiente que caracteriza al terreno.
2. El terreno se comporta como un cuerpo más o menos plástico y elástico y por ello los desplazamientos del macizo dan origen a reacciones que les son sensiblemente proporcionales.
3. La resistencia del terreno es nula en la superficie y crece proporcionalmente a la profundidad de la excavación.
4. No se toman en cuenta las fuerzas de rozamiento porque existe indeterminación con respecto a la cuantía de las mismas.

## Método de Sulzberger (o método suizo)

Sobre las bases anteriores, el método recomienda fórmulas para determinar las dimensiones de las fundaciones en donde se tenga  $h/t > 5$  y que se hallan sometidos a un esfuerzo paralelo, a un eje de simetría y montados en terrenos medios y plásticos.

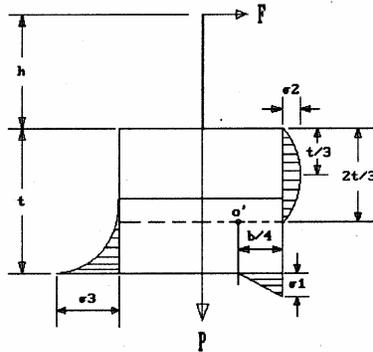
Supongamos un macizo de sección moderada. El momento de vuelco será  $M_v$



$$M_v = F \left( h + \frac{2}{3} t \right)$$

## Método de Sulzberger (o método suizo)

Si  $C_t$  es el coeficiente de comprensibilidad del terreno en las paredes laterales a la profundidad  $t$  (número de kilos necesarios para hacer penetrar en el terreno  $1 \text{ cm}^2$  de superficie una profundidad de  $1 \text{ cm}$ ) y  $C_b$  representa el coeficiente del terreno en el fondo de excavación. Como el ángulo de giro del macizo por efecto de  $F$  es  $\alpha$ ; las presiones máximas sobre el terreno en  $\text{kg/cm}^2$  serán:



$$\sigma_3 = c_t \frac{t}{3} \operatorname{tg} \alpha$$

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_3}{3}$$

$$\sigma_1 = \frac{2C_b \cdot P \operatorname{tg} \alpha}{b}$$

## Método de Sulzberger (o método suizo)

El momento estabilizante  $M_{est.}$  será, luego de componer los esfuerzos resultantes antes mencionados:

$$M_{est.} = \frac{bt^3}{36} \cdot C_t \operatorname{tg} \alpha + Pb \left[ 0,5 - \frac{2}{3} \left( \frac{P}{2b^3 C_b \operatorname{tg} \alpha} \right)^{\frac{1}{2}} \right]$$

Cuando se admite  $\operatorname{tg} \alpha = 0,01$  la expresión anterior puede reducirse

$$M_{est.} = \frac{bt^3 \cdot C_t \operatorname{tg} \alpha}{36} + 0,4Pb$$

Si se dispone en forma diagonal el macizo, la expresión será:

$$M_{est.} = \frac{(2)^{\frac{1}{2}} \cdot bt^3 \cdot C_t \operatorname{tg} \alpha}{36} + 0,4Pb$$

Conclusión:  $C.S. \times M_v \leq M_{est.}$ ; C.S. = Coeficiente Seguridad

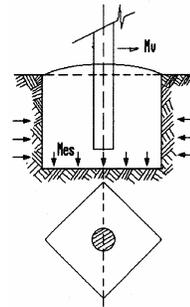
## Ejemplo de Cálculo

Datos.-

- . Estructura de Suspensión de 18 m
- Terreno cultivado constituido por arena y arcilla mayormente húmeda con un coeficiente de compresibilidad  $C_t = 1\ 000\ \text{Tn/m}^3$

Se considera que los coeficientes se han fijado a 2 m de profundidad, y tienen un comportamiento lineal respecto a la profundidad

- Longitud libre del poste = 15,60 m
- Fuerza equivalente en situación normal = 719 kg
- Fuerza equivalente por disequilibrio de tracciones = 520 kg



## Ejemplo de Cálculo

Puesto que para obtener un determinado momento se pueden optar por diversas combinaciones de t y b (profundidad y ancho del macizo) de todas las soluciones que obtengamos para el momento estabilizante, debemos elegir aquellos que representen el menor volumen del macizo, puesto que esta solución será la más económica

Las soluciones posibles deberán cumplir con:

$$C.S. \cdot M_v \leq M_{est.}$$

Siendo:

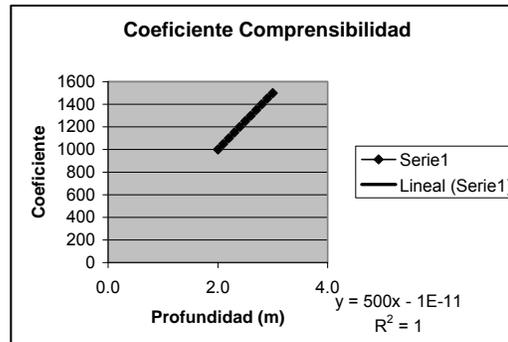
- C.S. = coeficiente de seguridad
- $M_v$  = momento de vuelco
- $M_{est.}$  = momento estabilizante

$$c.s. \left[ F \left( h + \frac{2}{3} t \right) \right] \leq \frac{1,4142 b \cdot t^3 \cdot Cr \cdot tg \alpha}{36} + 0,4 P b$$

## Ejemplo de Cálculo

El coeficiente de compresibilidad varía con la profundidad, tabulamos estos valores:

Terreno cultivado	
Profundidad (t) (m)	Compresibilidad Ct
2.0	1000
2.1	1050
2.2	1100
2.3	1150
2.4	1200
2.5	1250
2.6	1300
2.7	1350
2.8	1400
2.9	1450
3.0	1500



## Ejemplo de Cálculo

Calculamos

$$F\left(h + \frac{2}{3}.t\right) = 0,719\left(15,60 + \frac{2}{3}.t\right) = 11,2164 + 0,4793.t$$

$$\left(\frac{1,4142b.t^3.C_i.tg\alpha}{36}\right) = 3,9283.10^{-4}b.t^3.C_i$$

$$0,4P.b = 0,4b\left[2,5 + 0,84 + 2,2b^2.t\right] = 0,4b\left[3,34 + 2,2b^2.t\right] = 1,336b + 0,88b^3.t$$

Donde:

Peso del macizo = volúmen x peso específico =  $b^2 .t \times 2,2$

Peso específico del concreto =  $2,2 \text{ Tn/m}^3$

Peso de las estructuras =  $2\,500 \text{ kg} = 2,5 \text{ Tn}$

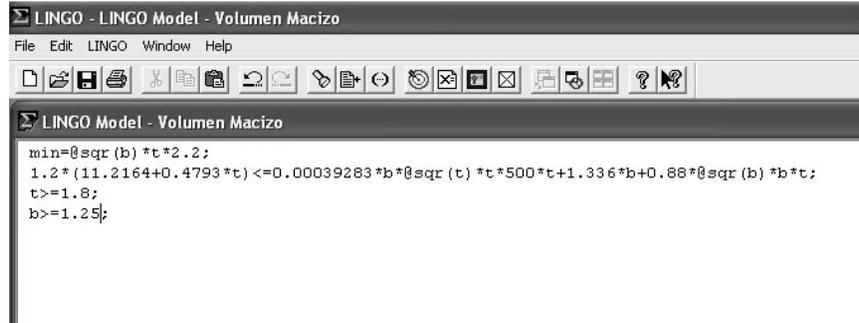
Peso de conductores + cadena =  $0,140 \text{ Tn} \times 6 = 0,84 \text{ Tn}$

Reemplazando valores

$$c.s\left[11,2164 + 0,4793t\right] \leq 3,9283 \times 10^{-4} b.t^3.C_i + 1,336b + 0,88b^3.t$$

$C_i = 500.t$

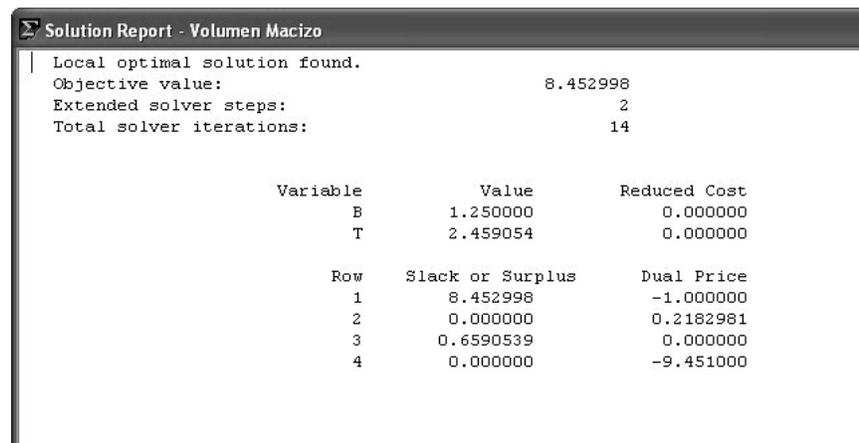
## Ejemplo de Cálculo



The screenshot shows the LINGO software interface. The title bar reads "LINGO - LINGO Model - Volumen Macizo". The menu bar includes "File", "Edit", "LINGO", "Window", and "Help". The toolbar contains various icons for file operations and solving. The main window displays the following LINGO model code:

```
min=@sqr (b) *t*2.2;  
1.2*(11.2164+0.4793*t) <=0.00039283*b*@sqr (t) *t*500*t+1.336*b+0.88*@sqr (b) *b*t;  
t>=1.8;  
b>=1.25;
```

## Ejemplo de Cálculo



The screenshot shows the "Solution Report - Volumen Macizo" window. It displays the following information:

Local optimal solution found.  
Objective value: 8.452998  
Extended solver steps: 2  
Total solver iterations: 14

Variable	Value	Reduced Cost
B	1.250000	0.000000
T	2.459054	0.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	8.452998	-1.000000
2	0.000000	0.2182981
3	0.6590539	0.000000
4	0.000000	-9.451000

## Ejemplo de Cálculo Resultado con trabajo manual

t	C.S.	Momento Vuelco	$C_t$	b(m)	Momento Estabil.	Volúmen macizo
2,0	1,2	14,60	1 000	1,50	12,63	4,50
2,5	1,2	14,90	1 250	1,50	20,85	5,60
2,5	1,2	14,90	1 250	1,20	14,55	3,60
2,5	1,2	14,90	1 250	1,30	16,47	4,20
2,4	1,2	14,82	1 250	1,30	14,79	4,05
2,5	1,2	14,90	1 250	1,25	15,48	3,90