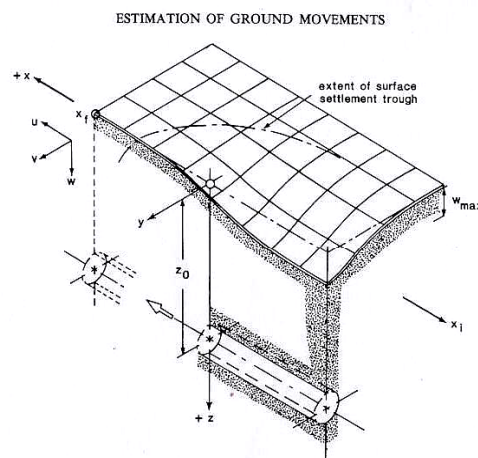
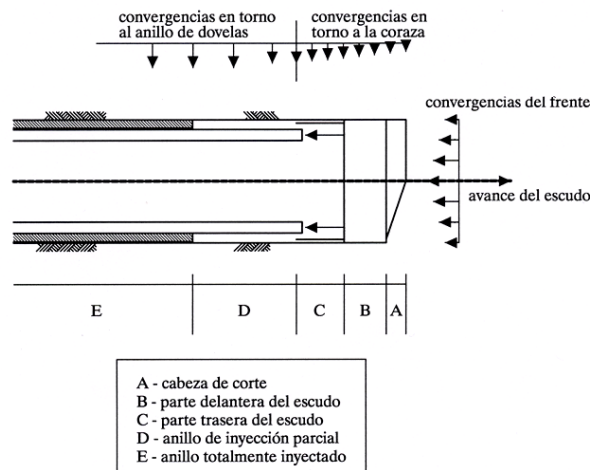




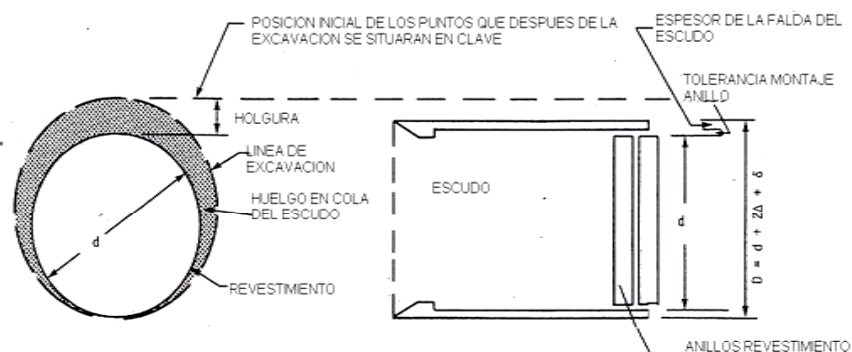
**Distribución de asientos en superficie de
un túnel avanzando en dirección +x
(Attewell, Yeates y Selby, 1986).**



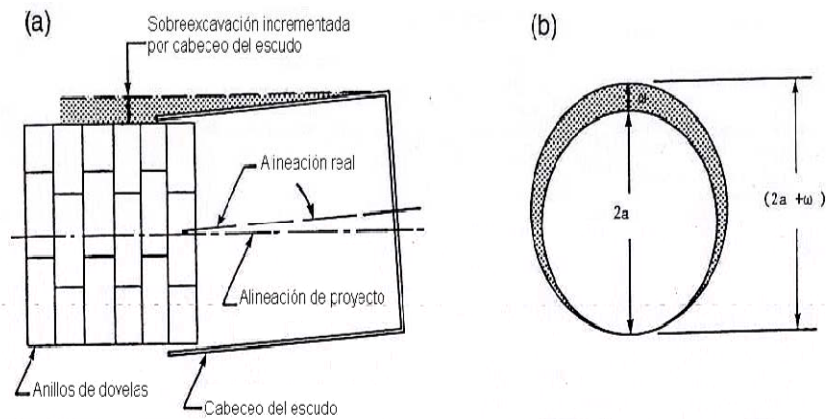
MECANISMOS DE GENERACIÓN DE ASIENTO EN UN TÚNEL CON TBM



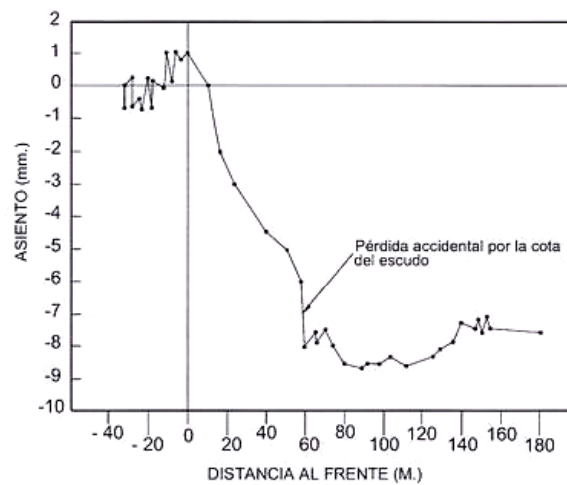
TÚNEL EXCAVADO CON TBM. SOBREEXCAVACIÓN EN ALINEACIÓN RECTA (Lee y Rowe, 1991)



TÚNEL EXCAVADO CON TBM. SOBREEXCAVACIONES POR DESALINEACIÓN. (Lee et al, 1992)

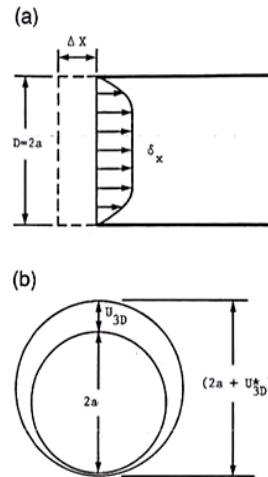


Metro de Lisboa. Perfil longitudinal de asientos (Simic y Gittoes, 1996)



EFFECTO DEL FRENTE EN LOS ASIENTOS

a) Ley de deformaciones en el frente del túnel b) Modelo bidimensional equivalente en la sección transversal. (Lee, Rowe, 1991).



MODELOS BIDIMENSIONALES

DEFINICIÓN DEL PARÁMETRO PÉRDIDA DE TERRENO

- Se introduce la variable adimensional “pérdida de terreno” V_L :

$$V_L = \frac{\int u(\theta) d\theta}{\pi a^2}$$

$u(\theta)$: deformación radial

a : radio del túnel

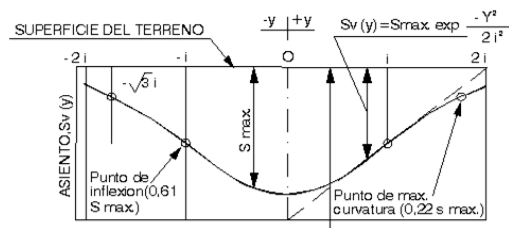
1er problema: Relación entre la presión del frente y la pérdida de terreno

PARÁMETROS DEL MODELO SEMIEMPÍRICO DE PECK (1969)

- Volumen adimensional de la cubeta de asiento: V_s

$$V_s = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} S_v(y) dy}{\pi a^2}$$

- Abcisa del punto de inflexión de la curva de Gauss: i



2º PROBLEMA: RELACIÓN ENTRE VS Y VL

RELACIÓN PRESIÓN DEL FRENTE Y **VL** MODELOS ELÁSTICOS BIDIMENSIONALES. (Sagasetta y Oteo, 1974)

$$\Delta V_L = (1 + K_o) P \frac{1 + \nu}{E} \cdot V_o$$

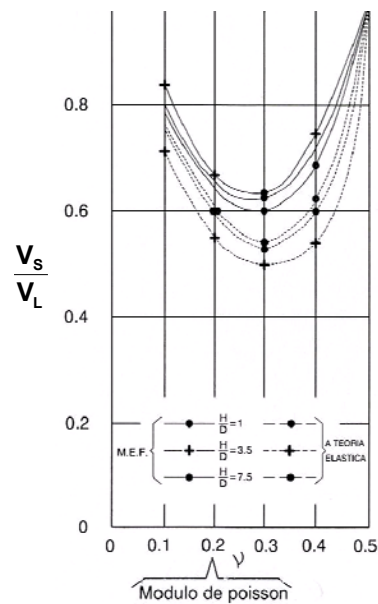
P diferencia entre la tensión vertical en el eje del túnel y la presión interior de confinamiento

Ko la relación entre la presión horizontal y la vertical en el mismo punto;

Vo la sección inicial del orificio

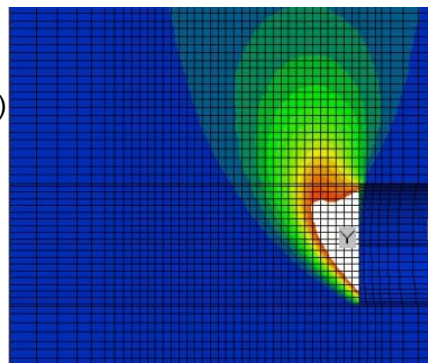
ν y E son los módulos de Poisson y elasticidad del terreno

- Los distintos autores evalúan V_L a partir de formulaciones elásticas y estiman V_s estableciendo distintas hipótesis de la relación entre V_s y V_L .
- Así:
- En arcillas a corto plazo: $V_s = V_L$
- Cuando hay variación de volumen. $V_s < V_L$
- Sagaseta y Oteo (1974) muestran las limitaciones de los modelos elastoplásticos bidimensionales.



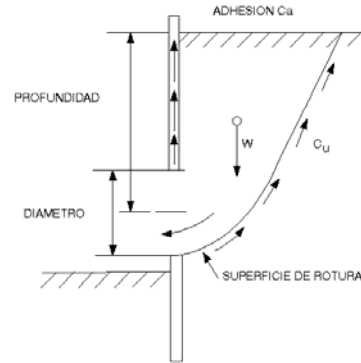
MODELOS TRIDIMENSIONALES INCORPORANDO LA ESTABILIDAD DEL FRENTE

- Métodos analíticos
 - Broms & Bennermark (1967)
 - Einsenstein & Ezzeldine (1994)
 - Sloan & Assadi (1993)
 - Támez (1997)
- Métodos numéricos
 - Modelos diferencias finitas
 - Modelos de equilibrio límite



FACTOR DE CARGA DEL FRENTE N (Broms y Bennermark, 1967).

$$N = \frac{P_o - P_i}{C_u}$$



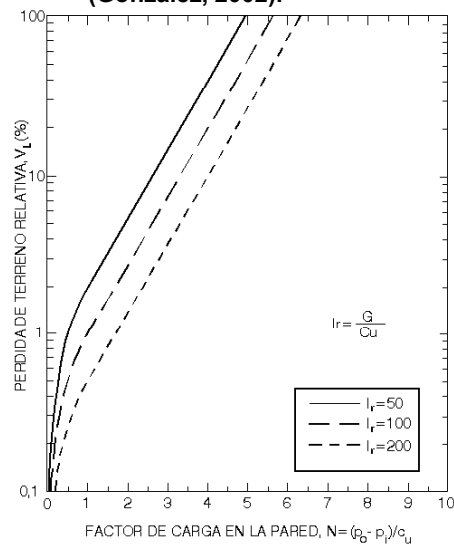
Po: Tensión total sobre un plano horizontal a cota del eje del túnel.

Pi: Contrapresión de estabilización del frente de excavación

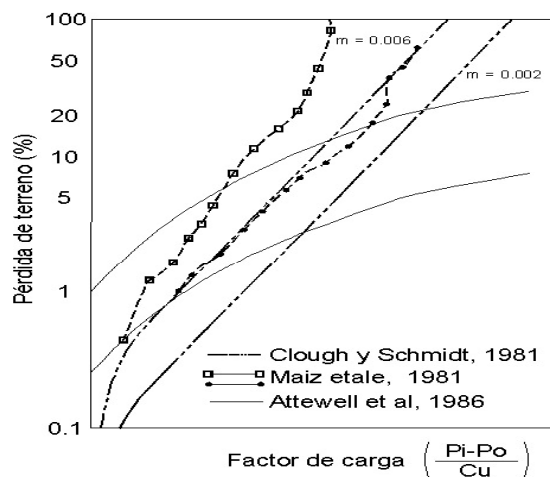
Cu: Resistencia al corte sin drenaje del terreno

•CORRELACIÓN ENTRE LA PÉRDIDA DE TERRENO Y EL FACTOR DE CARGA

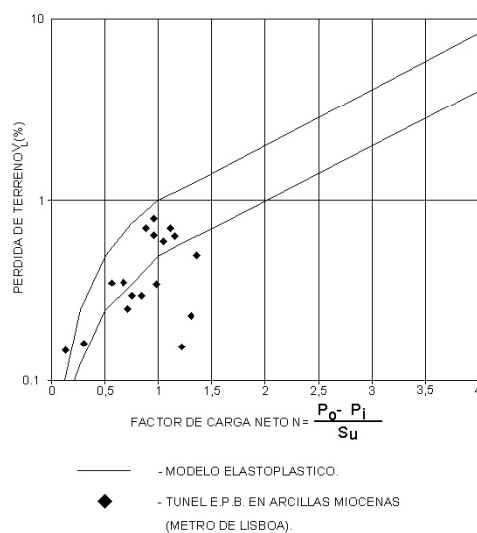
•utilizando el criterio de Tresca, para túnel profundo (González, 2002).



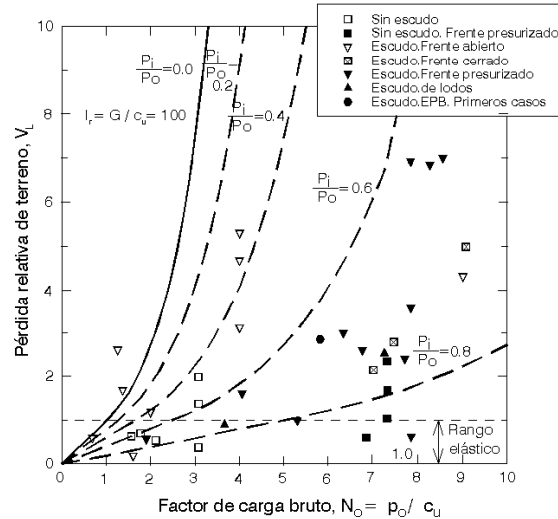
CORRELACIÓN ENTRE LA PÉRDIDA DE TERRENO Y EL FACTOR DE CARGA Modelos teóricos y experimentales en centrífuga. (González, 2002)



METRO DE LISBOA. TUNELADORA EPB MEDIDAS DE ASIENTO EN ARCILLAS (Simic, 1998)



Pérdida de terreno en función del factor de carga bruto. Curvas teóricas y medidas de casos reales. (Sagaset, 1998)



EFECTO DEL GRADO DE ESTABILIDAD DEL FRENTE DEFINICIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL FRENTE (I)

- Broms & Bennermark (1967)

$$F = \frac{N_c}{N}, \text{ CON } N = \frac{\sigma_c - \sigma_f}{C_u}$$

- N: Factor de carga
 N_c: Factor crítico
 σ_c: Tensión vertical en el eje del túnel
 σ_f: Presión en la cámara del frente EPB
 C_u: Resistencia al corte sin drenaje del terreno

EFECTO DEL GRADO DE ESTABILIDAD DEL FRENTE

DEFINICIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL FRENTE (II).

Támez (1997)

$$FSF = \frac{4 \frac{h_1}{D} + 3.4}{1 + \frac{D}{3(C + D/2)}} \left[\frac{C_u}{\sigma_c - \sigma_f} \right]$$

where:

FSF = Face safety factor for TBM in clays

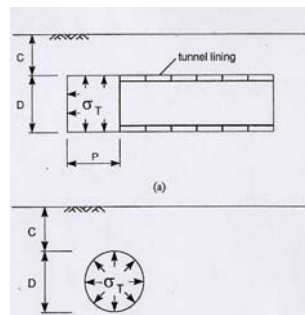
$h_1 = C$ if $C/D < 3$

$h_1 = 1.7 C$ if $C/D \geq 3$

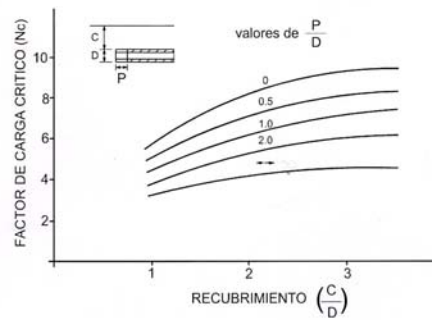
DETERMINACIÓN DEL FACTOR CRÍTICO

PARA LA DETERMINACIÓN DE N_c , EXISTEN DIVERSAS
CORRELACIONES

- Peck (1969): $N_c = 6$ for para túneles profundos.
- Gunn, Mair y Seneviratne (1980); Kimura and Mair (1981), correlacionan N_c en función del recubrimiento del túnel (C), la longitud del frente sin soporte (P) y el diámetro del túnel (D).

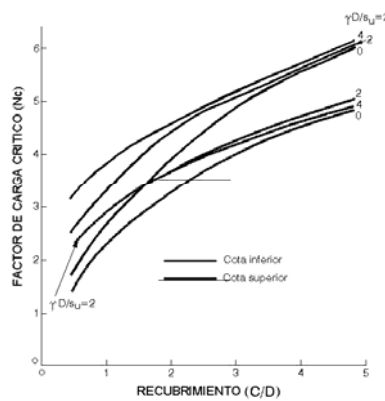


FACTOR CRÍTICO (Kimura y Mair, 1981)

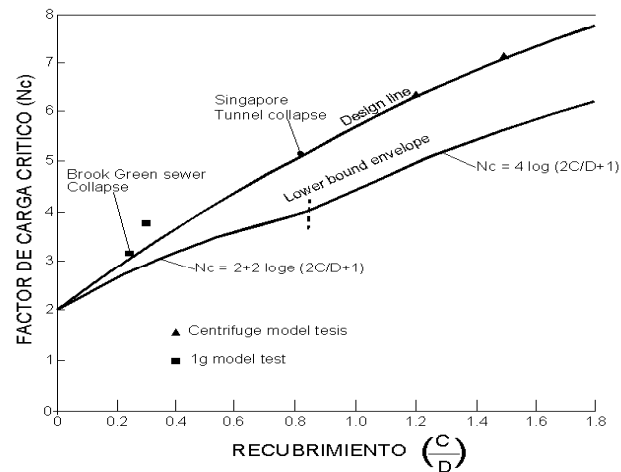


FACTOR DE CARGA CRÍTICO N_c PARA TÚNEL SUPERFICIAL $C/D < 1$.

- Caso $P=0$ para tuneladoras EPB.
- Davis, Gunn, Mair, Seneviratne 1980, utilizando la elastoplasticidad bidimensional.

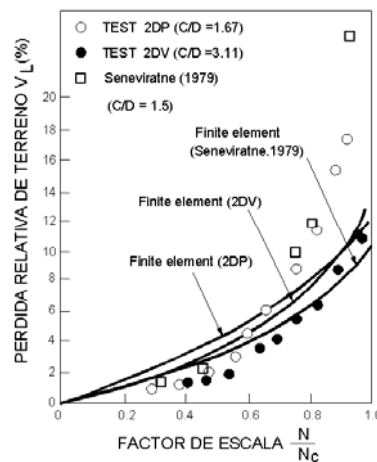


- **FACTOR DE CARGA CRÍTICO**
- **Mair (1993) extiende la solución para $C/D < 1$ (ensayos en centrífuga y estudio de casos reales)**

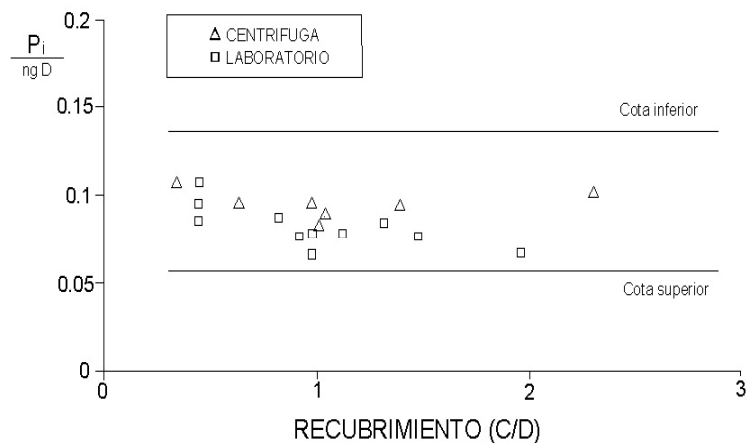


PÉRDIDA DE TERRENO V_L EN FUNCIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL FRENTE

- **Mair, Gunn y O' Reilly (1981), a partir de ensayos en centrífuga y elementos finitos bidimensionales.**

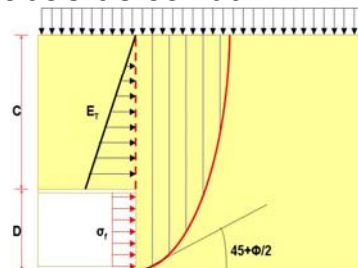


NECESIDAD DE UNA GENERALIZACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL FRENTE Túneles en arenas. Presión de estabilización P_i en el frente. (Atkinson y Potts, 1977)



MÉTODOS DE EQUILIBRIO LÍMITE PARA LA DEFINICIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL FRENTE

- Superficies de deslizamiento: círculos o espirales logarítmicas
- Empujes horizontales sobre el frente: E_T entre empuje en reposo y activo
- Método de rebanadas de Janbu.



MODELO NUMÉRICO FLAC 2D DE LA ESTABILIDAD DEL FRENTE

DATOS DEL TÚNEL:

D = 10 m

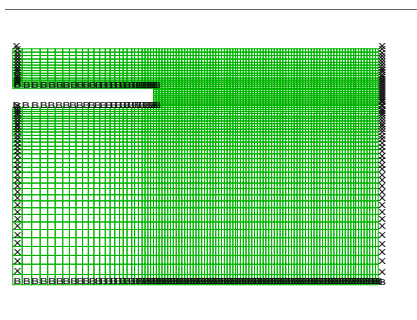
C = 20 m

$\gamma = 18 \text{ KN/m}^3$

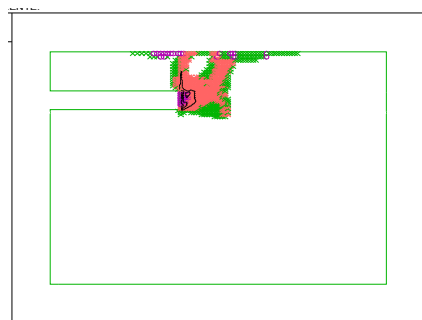
$C' = 30 \text{ Kpa}$

$\phi' = 27^\circ$

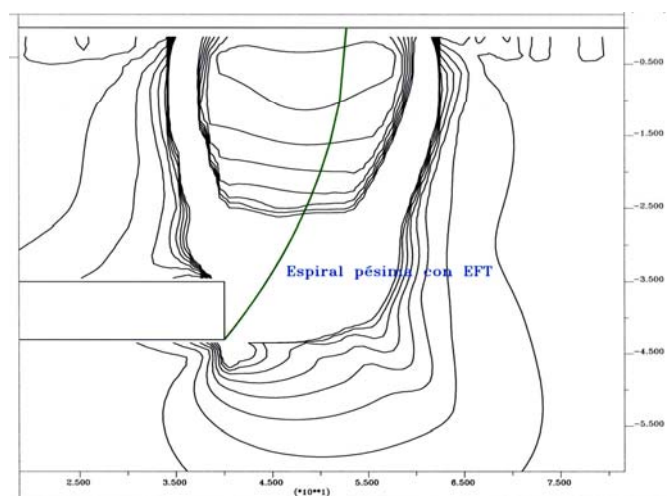
Geometría del modelo



Contorno de las zonas de plastificación

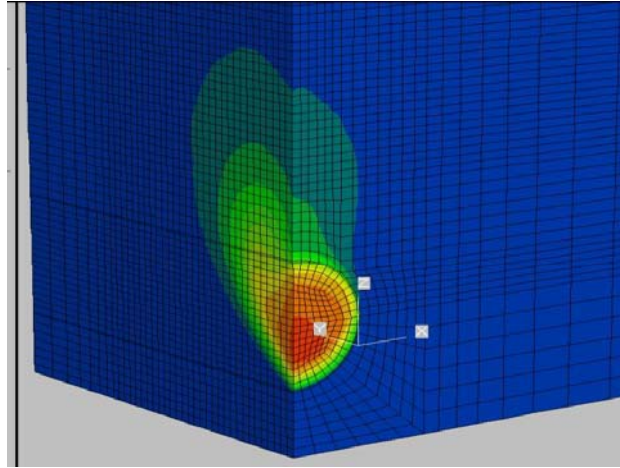


MODELO 2D DE LA ESTABILIDAD DEL FRENTE. CONTORNOS DE DEFORMACIÓN CORTANTE MÁXIMA



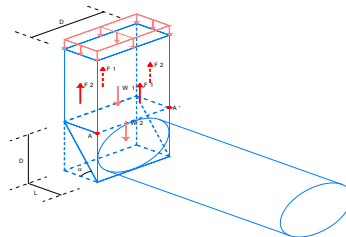
MODELO FLAC 3D DE LA ESTABILIDAD DEL FRENTE

Contornos de velocidad en el frente del túnel

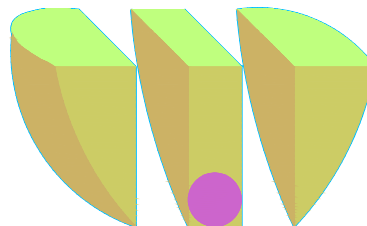


EXTENSIÓN 3D DEL MÉTODO DE EQUILIBRIO LÍMITE (Simic, 2007)

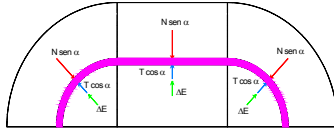
- Bloque central deslizante de anchura limitada.



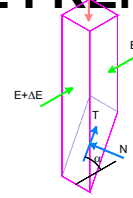
- Cuñas laterales deslizantes.



GENERALIZACIÓN 3D DEL MÉTODO DE LAS REBANADAS PARA LA ESTABILIDAD DEL FRENTE



Vista en planta de las rebanadas 3D



Fuerzas en una rebanada

$$T = \frac{c \Delta l + tg \phi N}{F}$$

$$W = N \cos \alpha + T \sin \alpha$$

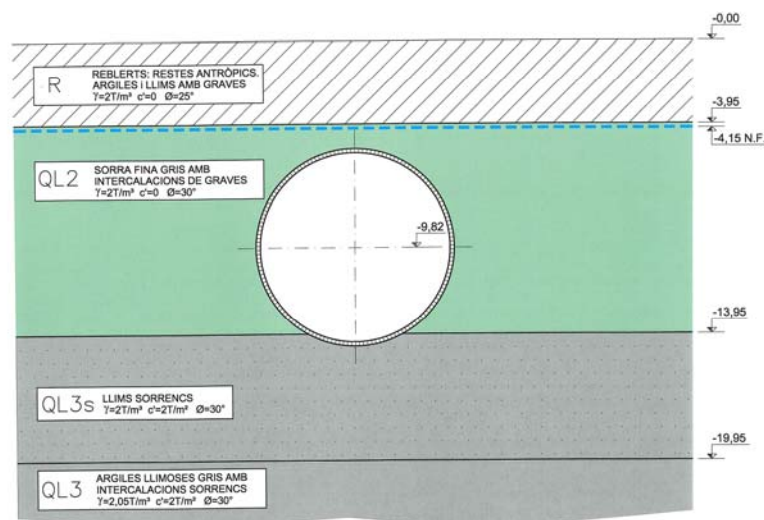
$$N = \frac{W - T \sin \alpha}{\cos \alpha}$$

$$\oint \Delta E_i \cos \beta = \oint (N \sin \alpha - T \cos \alpha) \cos \beta \quad \sum_1^n \oint \Delta E_i \cos \beta = \text{Total ground thrust above tunnel crown}$$

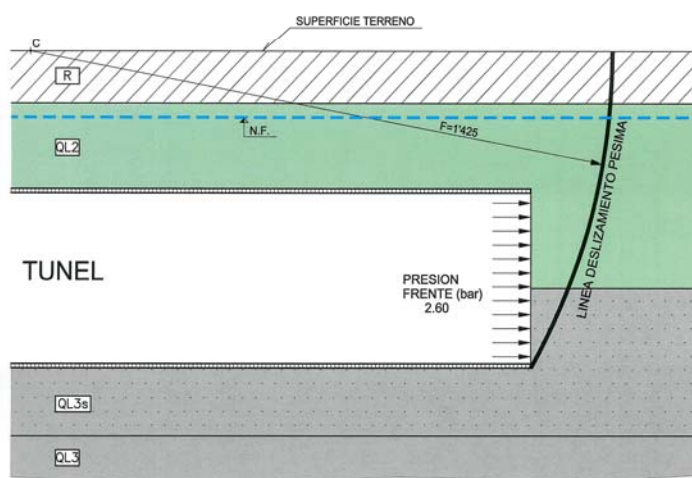
CORRELACIÓN PRESIÓN FRENTE-ASIENTOS METRO BARCELONA. LINEA 9 TRAMO AEROPUERTO. EPB DIAM.: 9.40m



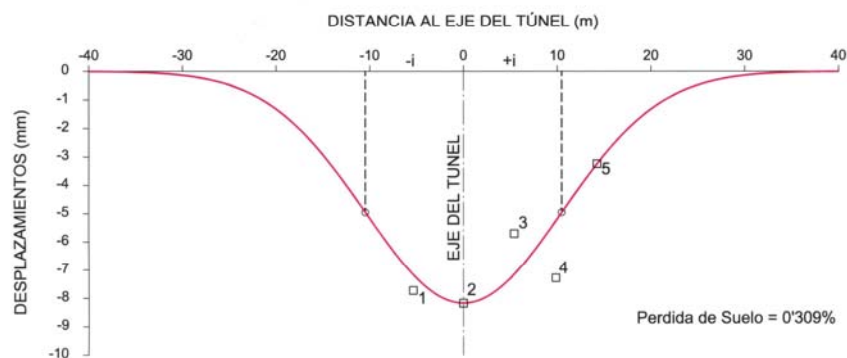
LINEA 9 DEL METRO DE BARCELONA. TRAMO AEROPUERTO PERFIL GEOTECNICO



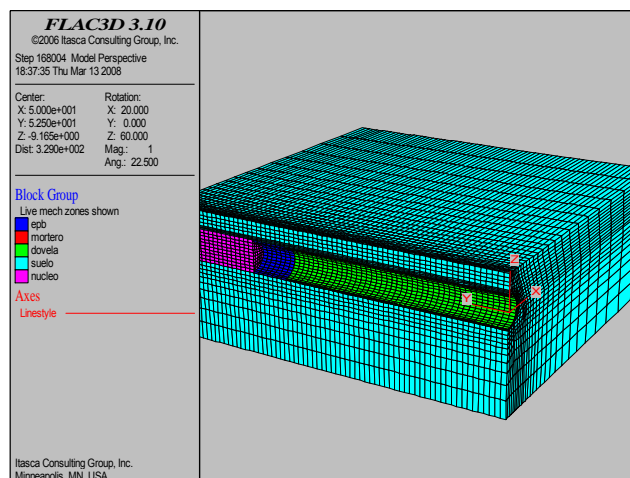
LINEA 9 DEL METRO DE BARCELONA. TRAMO AEROPUERTO ESTABILIDAD DEL FRENTE

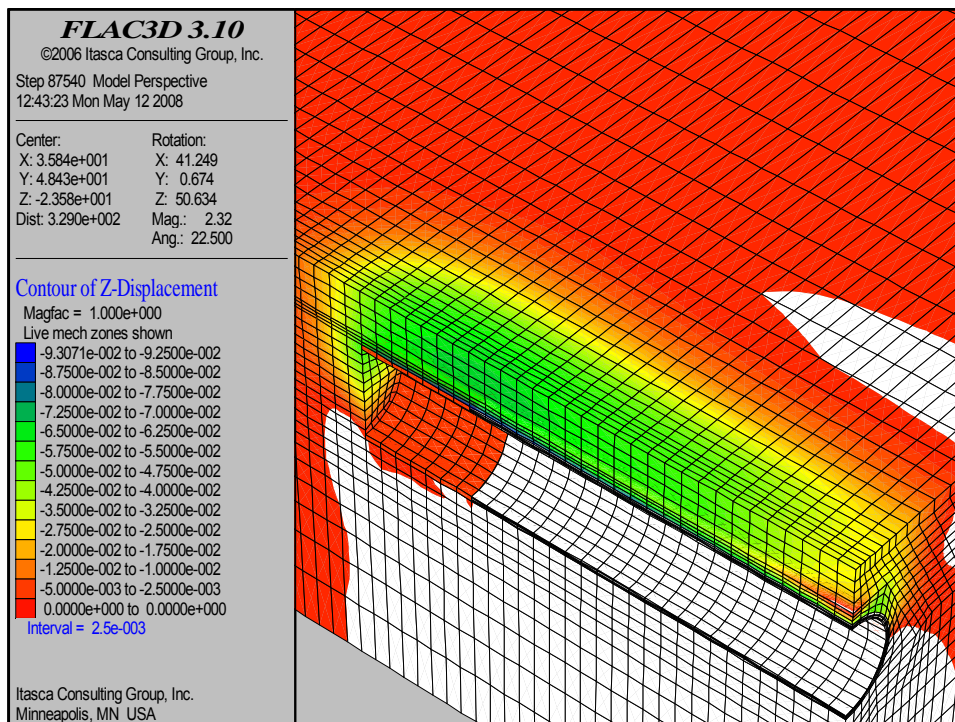


LINEA 9 DEL METRO DE BARCELONA. TRAMO AEROPUERTO ASIENTOS

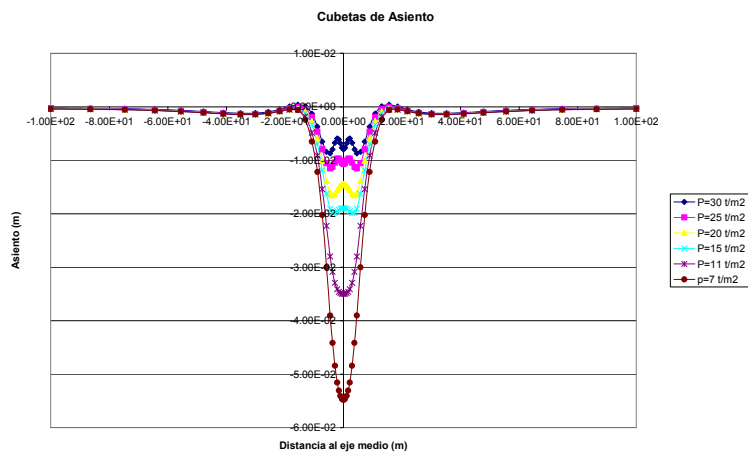


LINEA 9 DEL METRO DE BARCELONA. TRAMO AEROPUERTO MODELO FLAC 3D DE LA TUNELADORA

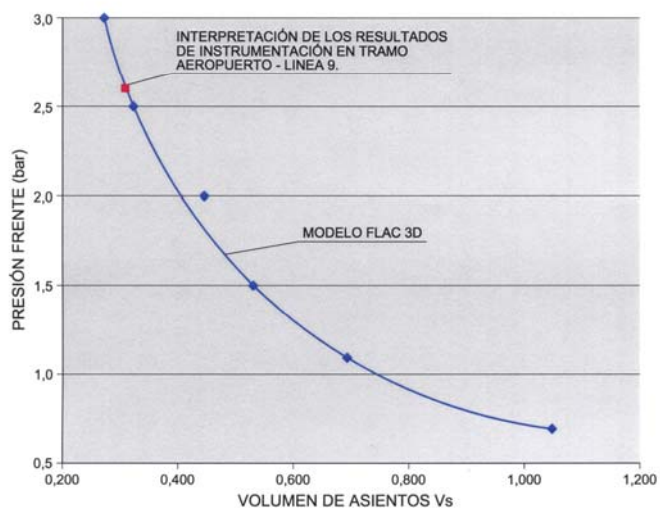




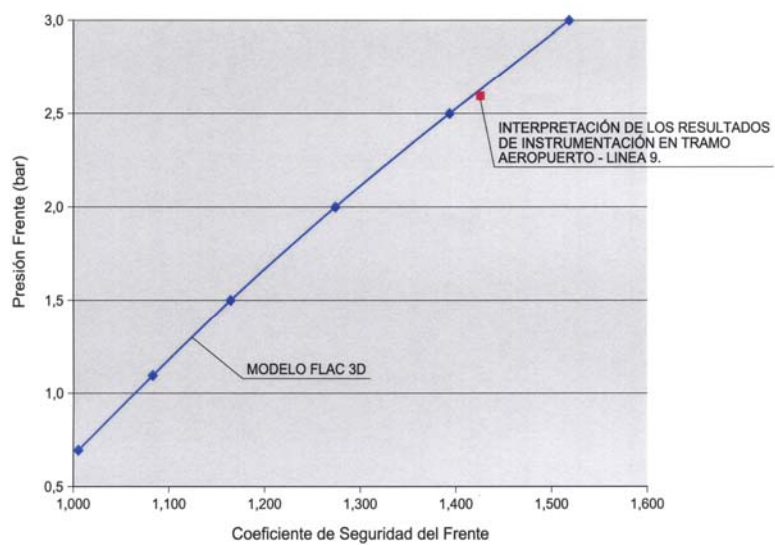
LINEA 9 DEL METRO DE BARCELONA. TRAMO AEROPUERTO MODELO FLAC 3D DE LA TUNELADORA



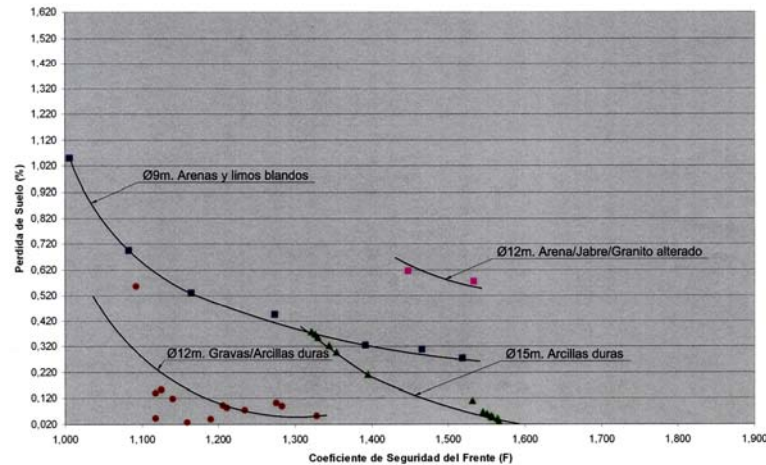
LINEA 9 DEL METRO DE BARCELONA. TRAMO AEROPUERTO PRESIÓN FRENTE-ASIENTOS



LINEA 9 DEL METRO DE BARCELONA. TRAMO AEROPUERTO FACTOR SEGURIDAD FRENTE POR EQUILIBRIO LÍMITE



CORRELACIÓN ENTRE EL COEFICIENTE DE SEGURIDAD DEL FRENTE Y EL VOLUMEN DE ASIENTOS PARA DISTINTAS TUNELADORAS EPB



TUNELADORAS DE FRENTE CERRADO: PRESIÓN DEL FRENTE Y SUBSIDENCIAS

- El frente es uno de los principales generadores de asiento, pero no el único
- El comportamiento tensodeformacional del frente requiere considerar la estabilidad en la determinación de las subsidencias
- Los modelos de estabilidad de la bibliografía se limitan a suelos cohesivos
- El método de las rebanadas puede ser generalizado para obtener las subsidencias a partir de la estabilidad del frente incluso en caso de suelos no cohesivos

TÚNELES EN ARCILLAS CORRELACIÓN ENTRE LAS DOS DEFINICIONES DEL FACTOR DE SEGURIDAD

