



CONGRESO ARGENTINO DE MECÁNICA DE SUELOS E INGENIERÍA GEOTÉCNICA - SALTA / ARGENTINA

17 - 18 - 19 de Octubre de 2018

Análisis de estabilidad a largo plazo de la ampliación en altura del relleno sanitario de Rivadavia, Provincia de San Juan, Argentina



J. P. Ibañez

Juan.pablo.ibanez@ingenieria.uncuyo.edu.ar

Instituto IMERIS, Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina.



M. H. Turcumán

mturcuman@ims.unsj.edu.ar

Instituto de Materiales y Suelos. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de San Juan, Argentina.



• Emplazamiento del relleno de Rivadavia

- Los rellenos sanitarios son instalaciones físicas diseñadas para contener los rechazos provenientes de los residuos sólidos urbanos (RSU)
- Son obras de ingeniería geotécnica diseñadas para reducir el impacto sobre el ambiente y la salud pública.

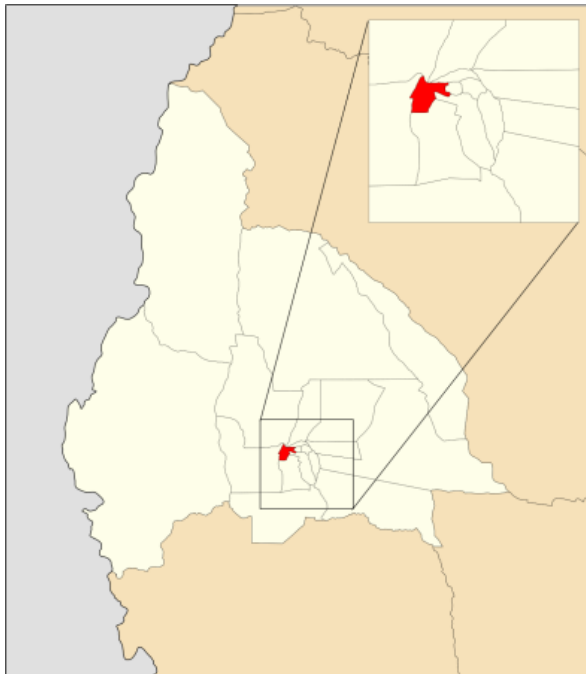


Figura 1. Emplazamiento del relleno de Rivadavia, construido con forma de pentágono

• El relleno original

- El relleno sanitario de Rivadavia fue **construido en el año 2011**.
- Se encuentra ubicado entre lomadas pedemontanas y depósitos aluviales.
- Es una de las áreas más desérticas del país, con veranos muy calurosos e inviernos fríos, y días soleados todo el año
- Fue proyectado para una **vida útil de 15 años**.

Una pequeña fracción del RSU es sometido a separación para reciclado (aluminio, plástico, vidrio, cartón...)



Figura 1. Emplazamiento del relleno de Rivadavia, construido con forma de pentágono

Se gestionan más del 80% de los RSU generados en la provincia de San Juan

• La ampliación

- Debido a la deficiencia en alcanzar las **densidades** de proyecto, el relleno fue **completado (>90%) en el año 2015**.
- En el año 2016 se propuso la ampliación del relleno sanitario en tres celdas.
- Se diseñó y ejecutó una **ampliación en altura** del mismo.
- El proyecto contempló la construcción de un **terraplén perimetral** para la contención de las nuevas celdas a ser incorporadas al relleno.

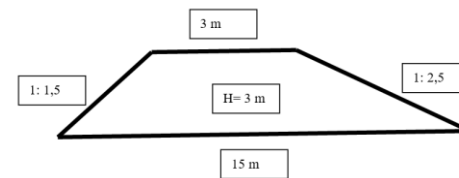


Figura 2. Foto satelital del emplazamiento del y obras de ampliación

• Proyecto

- Como parte del diseño de los terraplenes perimetrales, las nuevas celdas y sus respectivos taludes, se realizaron estudios de **estabilidad de los taludes** mediante:
 - análisis estático para cargas de servicio: **FS = 1,617** para el círculo mostrado en la figura.
 - pseudo-estático para el caso de sismo: para un sismo severo **FS < 1**, con lo cual es de esperarse desplazamientos importantes en caso de sismo.

Alturas de las celdas de 7.70m,
10m y 10m respectivamente.
Pendientes de talud 1:3 (V:H)

Tabla 1. Parámetros geotécnicos de los materiales adoptados para los análisis de estabilidad

Material	Densidad (kN/m ³)	Cohesión (kN/m ²)	Ángulo de fricción ϕ (°)
Suelo natural de base	17	-	25
Suelo de cierre del relleno	20	-	33
Terraplén existente	21	-	35
Terraplén proyectado (caballón)	22	-	33
Residuo compactado	14	-	23

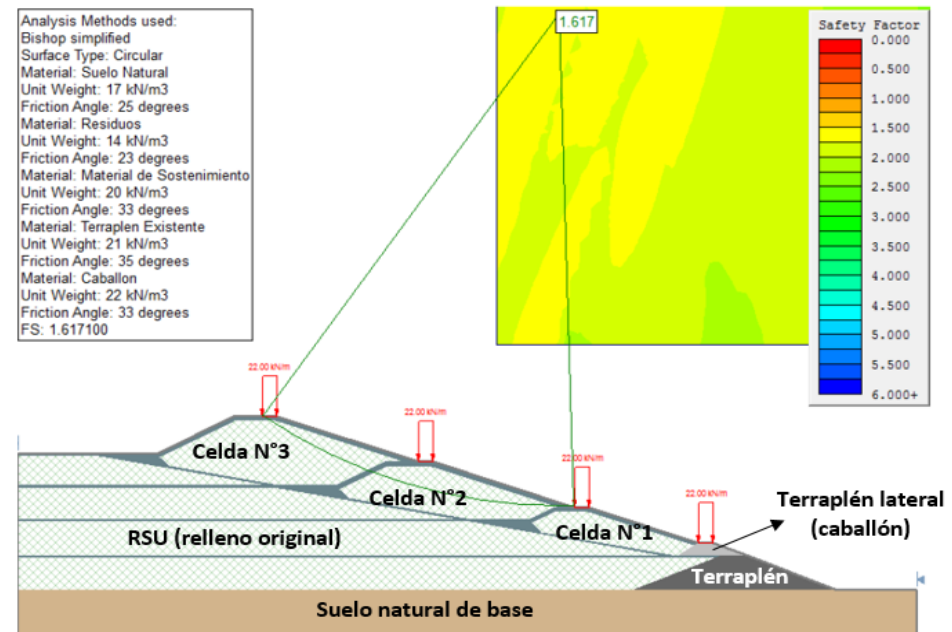


Figura 3. Sección para análisis de estabilidad por método de Bishop simplificado

- La investigación

- Modelado tenso-deformacional por Elementos Finitos
- Estimación de los parámetros geotécnicos
- Estabilidad de los taludes proyectados
- Estimación de asentos
- Análisis de sensibilidad

• Modelado tenso-deformacional

- El análisis de equilibrio límite no considera las deformaciones de los materiales ni el comportamiento reológico de los RSU.
- Se analizó el comportamiento tenso-deformacional diferido en el tiempo de la obra de ampliación del relleno
- Se analizó mediante MEF una sección representativa del mismo.
- Para el **RSU** fue utilizado un **modelo constitutivo de suelo blando con fluencia** (Soft Soil Creep Model, SSCM).

Modelo de creep

- Ley de fluencia

$$\varepsilon = \varepsilon_c - C_\alpha \cdot \log\left(\frac{t}{t_c}\right) \text{ para } t > t_c$$

- Se asemeja a la fórmula de Sowers(1973) para describir la consolidación secundaria de RSU:

$$S_s = (C_\alpha / (1 + e_0)) \cdot H \cdot \log\left(\frac{t_2}{t_1}\right)$$

- Donde C_α es el parámetro de fluencia del material

• Parámetros

- Se balancearon los valores recomendados en la bibliografía con los datos disponibles de los RSU del relleno de Rivadavia y la técnica de deposición empleada.
- Para la estabilidad de los taludes resulta crítico establecer parámetros de resistencia al corte que reflejen la real condición de los residuos compactados.
- Variabilidad de los RSU, mala compactación y falta de medición agregan incertidumbre.

Tabla 2. Parámetros para modelado del material RSU

Material	e0	Cc	Cα	γ [kN/m3]	c [kPa]	φ (°)
RSU actual	0,60	0,125	0,01	13	5	23
RSU ampliación	0,80	0,200	0,03	10	5	20

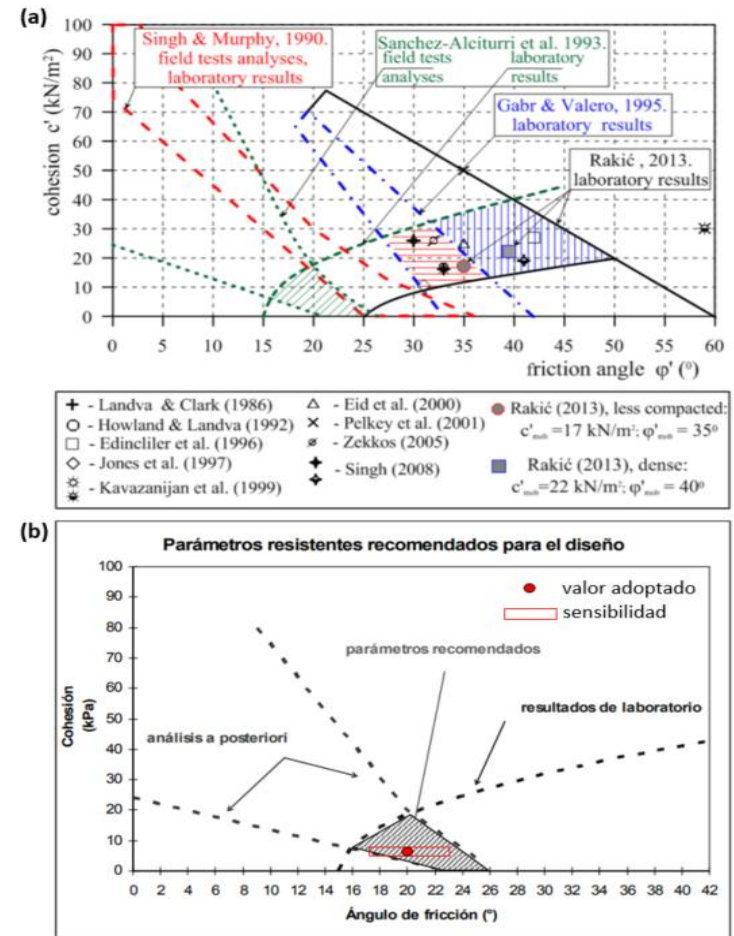


Figura 4. a) Parámetros de resistencia al corte de RSU medidos y rangos estimados por diversos autores; b) Parámetros recomendados por Palma y valores adoptados para el análisis de estabilidad

• Desplazamientos

- Análisis para cada una de las tres etapas de ampliación.
- Se consideró un periodo de **180 días** a partir de la ejecución de cada etapa para la evolución del fenómeno de "creep".
- Para el modelado logarítmico de los asentamientos, estos se continúan desarrollando indefinidamente con una tasa de crecimiento residual.
- Tomando un periodo de 180 días aseguramos que se desarrollen más del 80% de los asentamientos totales.

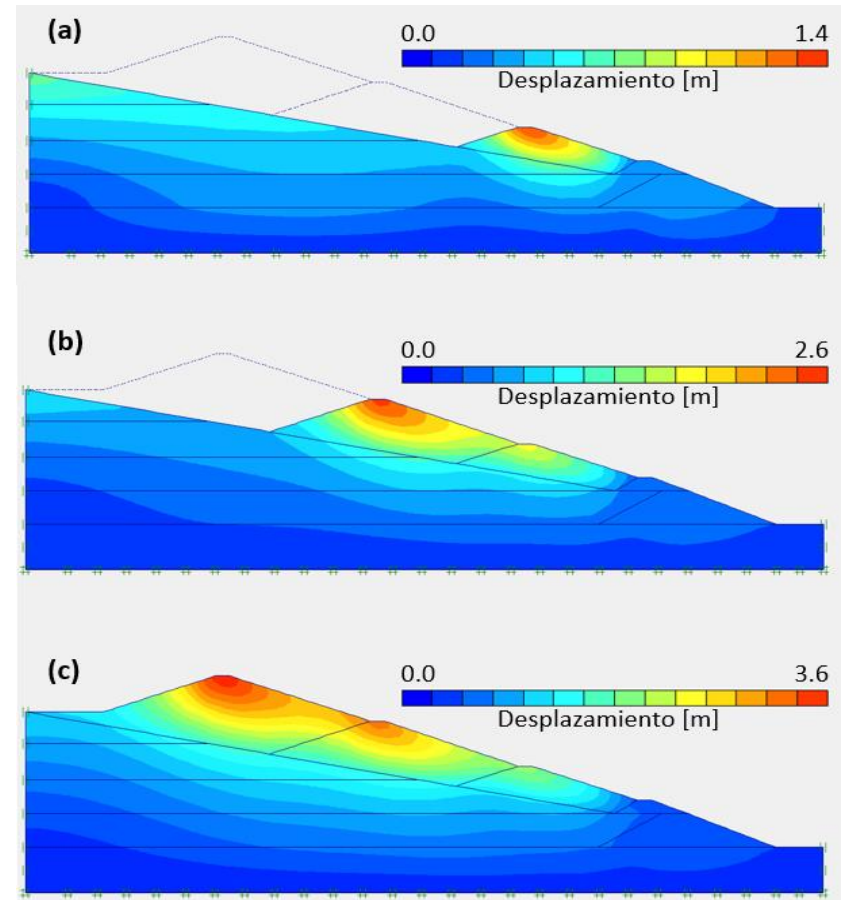


Figura 5. Desplazamientos totales en el relleno para las tres etapas de ampliación: a, b, c

• Desplazamientos

- Los asientos en el coronamiento de la ampliación del relleno se deben a la suma de dos factores:
 - Principalmente asientos por **deformación elástica y "creep"** de los nuevos RSU compactados en las tres celdas de la ampliación;
 - Asientos adicionales por deformación elástica y "creep" de los RSU del relleno existente por debajo de las nuevas celdas;
- El **terraplén perimetral** de soporte de la ampliación sufre **desplazamientos horizontales**.

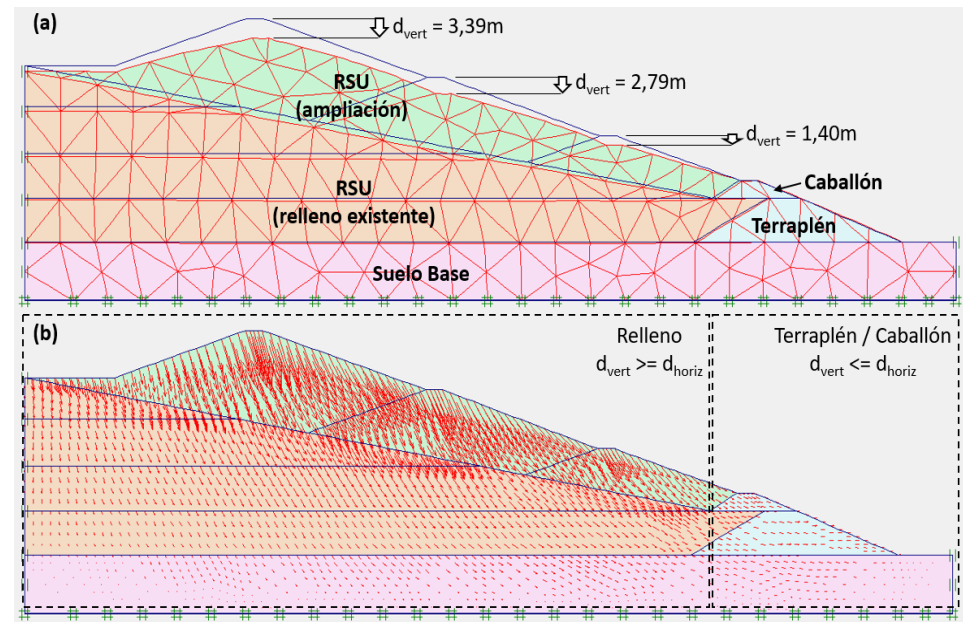


Figura 6. Estimación de asientos "d" en el relleno 180 días luego de la construcción de la ampliación: a) Malla deformada; b) Vectores de desplazamiento total con destaque de predominio de desplazamientos verticales y horizontales.

• Desplazamientos del terraplén perimetral

- Desplazamientos horizontales (7a) y verticales (7b) en la base y el coronamiento del terraplén perimetral (caballón) que soporta lateralmente las tres nuevas celdas del relleno.
- Se pueden apreciar tres escalones correspondientes a las tres fases constructivas de la ampliación.
- Se destacan los desplazamientos horizontales de "cuerpo rígido" de 0.35m.

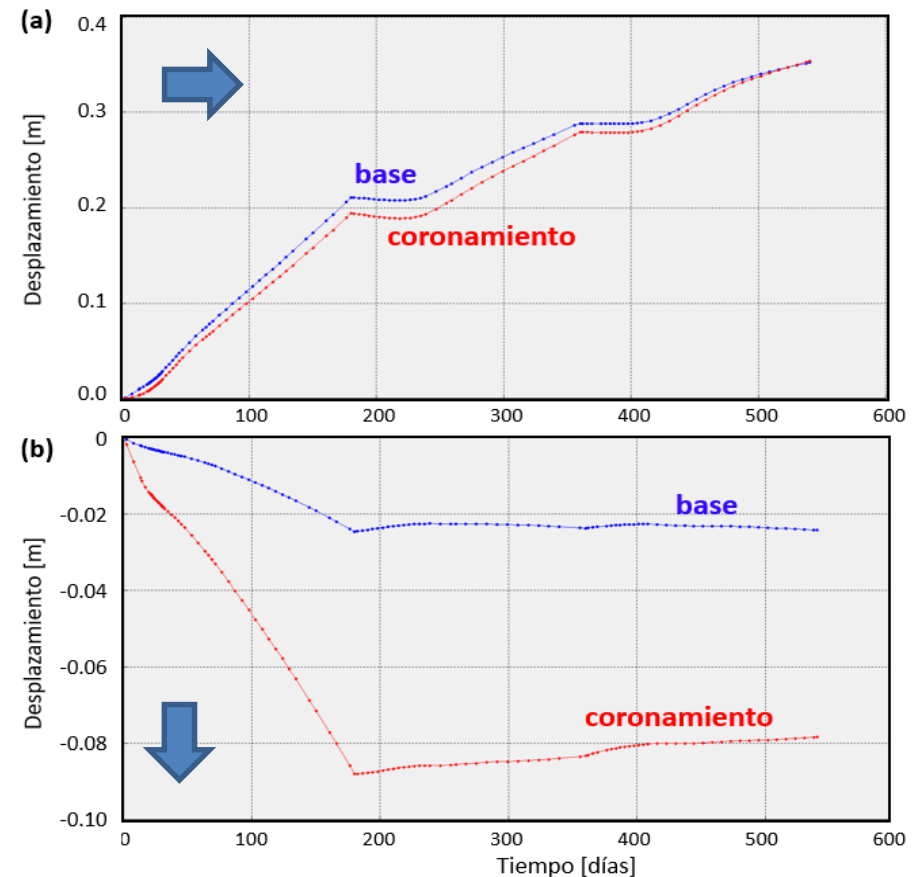
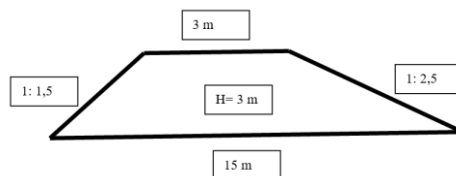


Figura 7. Estimación de: a) desplazamientos laterales, y b) asientos, del terraplén perimetral en la base (azul) y en el coronamiento (rojo).

• Desplazamientos en la celda N°1

- Desplazamientos horizontales (8a) y verticales (8b) en el coronamiento de la celda N°1 de la ampliación del relleno.
- Se pueden apreciar aquí también tres escalones de desplazamientos laterales y asentos de las tres fases constructivas de la ampliación

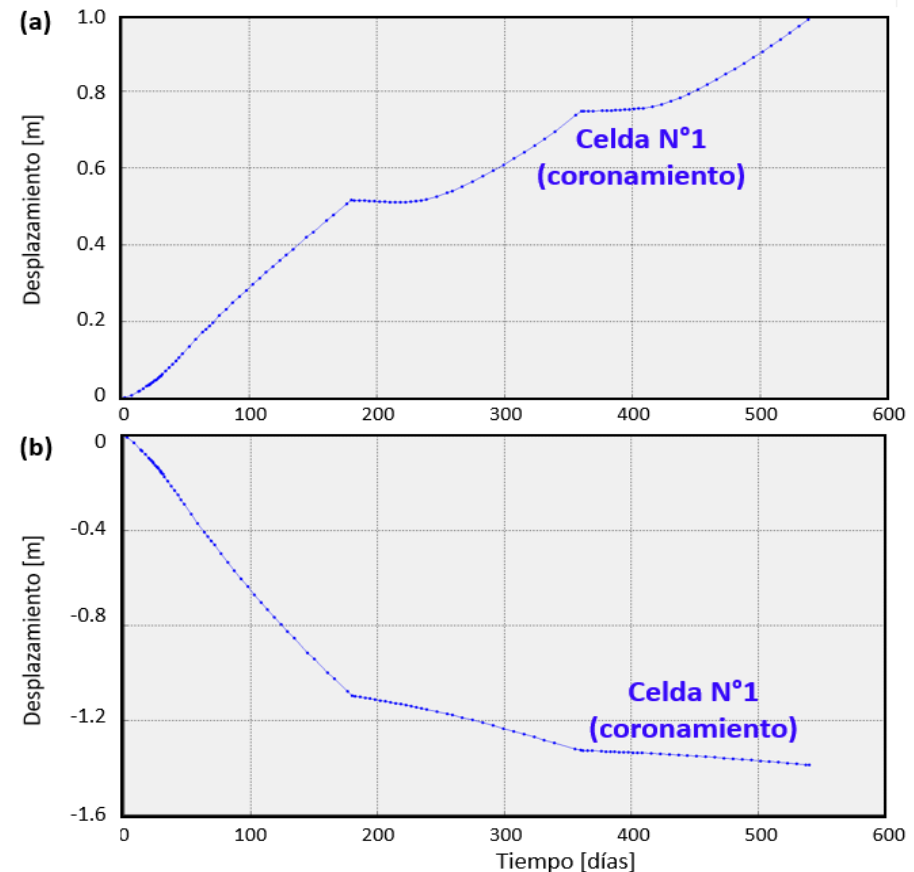
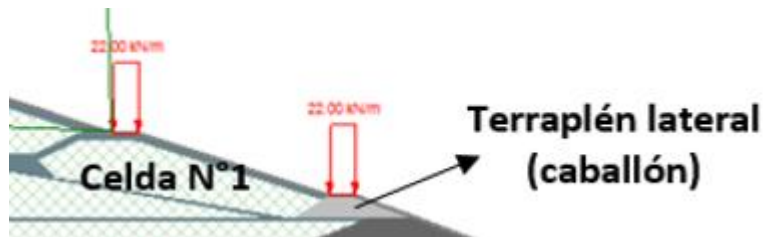


Figura 8. Estimación de: a) desplazamientos laterales, y b) asentos, del coronamiento de la celda N°1.

• Estabilidad

- Se realizó para cada una de las tres etapas de ampliación, incluyendo una carga de 22kN/m en cada camino de acceso para considerar la carga de los equipos que operan el relleno.
- En las tres etapas, la superficie de rotura obtenida por la técnica de reducción de resistencia se situó en las celdas de RSU de la ampliación.

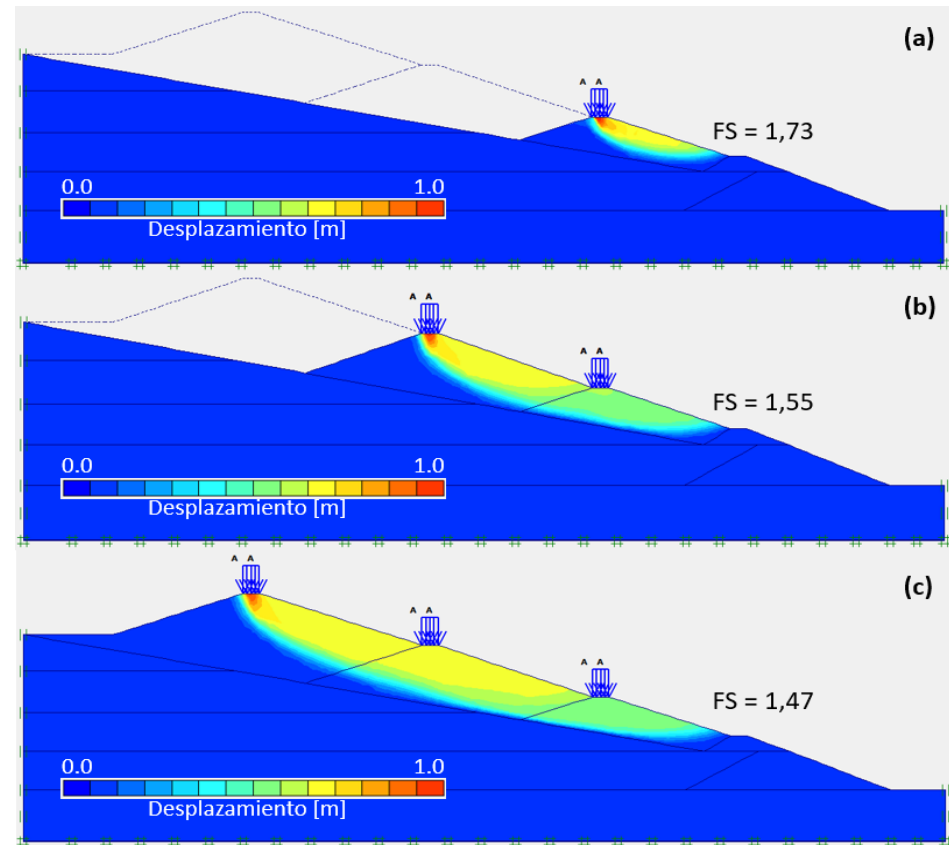


Figura 9. Superficies de rotura potenciales en el relleno y factor de seguridad FS para las tres etapas de ampliación: a) Después de completada la primera celda; b) Después de completada la segunda celda; c) Después de completada la tercera celda.

• Sensibilidad FS(ϕ)

- La estabilidad depende altamente del ángulo de fricción interna del material.
- Para el RSU fue estimado en ($\phi=20^\circ$), siendo éste un material heterogéneo y sujeto a variación temporal en su composición.
- Por tal motivo se realizó una sensibilidad del FS en relación a este parámetro ($\phi=20^\circ \pm 3^\circ$), como se muestra en la Figura 10.
- En la hipótesis de una mala compactación ($\phi=17^\circ$), la ampliación del relleno contaría con un escaso factor de seguridad (FS=1,28).

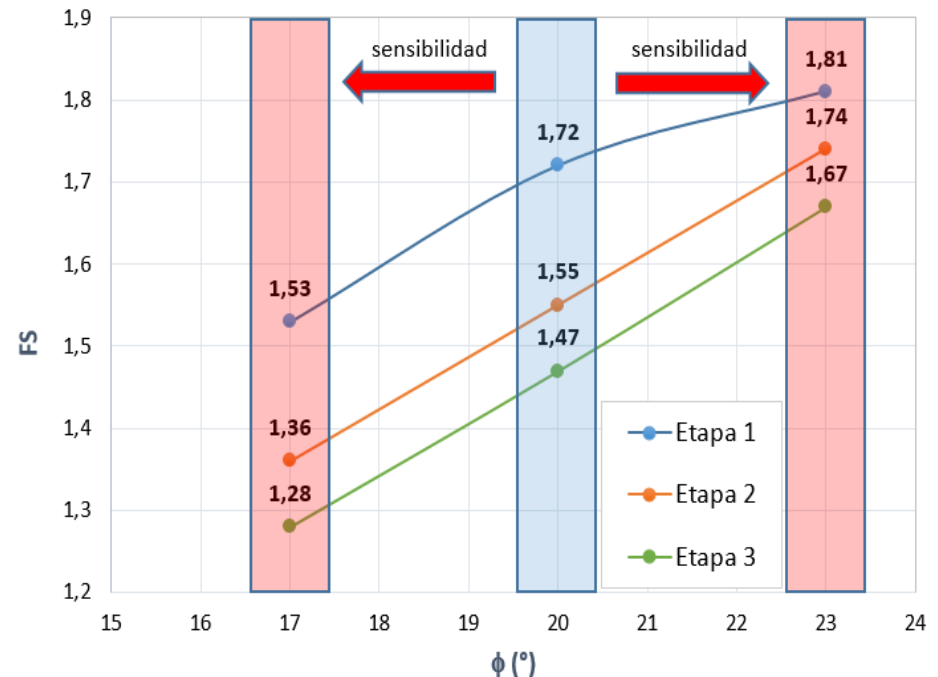


Figura 10. Sensibilidad del FS al parámetro f del RSU, para cada etapa de la ampliación del relleno.

• Conclusiones

- Se puede considerar que el terraplén perimetral se diseñó adecuadamente para las cargas de servicio, siempre y cuando las **características de los RSU compactados** se correspondan con los parámetros asumidos.
- Sin embargo, los resultados apuntan la necesidad de verificar con mayor detalle la **estabilidad a deslizamiento** por la base del terraplén perimetral (caballón).
- El estudio de sensibilidad muestra la importancia de la **medición de parámetros** de RSU en campo y laboratorio, a fin de que las estimaciones se ajusten mejor al material efectivamente dispuesto en el relleno.

• Referencias

- [1] Turcumán, M.H.; Ibañez, J. P. (2013). Sensibilidad Paramétrica de los Modelos de Sowers, Meruelo y Gandola. V Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos Sólidos. Facultad de Ingeniería. UNCuyo, Mendoza, Argentina.
- [2] Turcumán, M. H. (2014). Análisis de la compresibilidad de residuos sólidos urbanos en rellenos sanitarios. Modelos teóricos y su aplicación a la región de Cuyo. Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina.
- [3] Ibañez, J. P.; Turcumán, M.H. (2015). Estimación de asentos en rellenos de RSU utilizando un Modelo Constitutivo de Creep en dos dimensiones. Memorias del VI Simposio Iberoamericano de Ingeniería en Residuos Sólidos, hacia la carbono neutralidad 2021. Cartago, Costa Rica, 9 a 11 de Nov. 2015.
- [4] Vermeer, P.A. & Neher, H. (1999). A soft soil model that accounts for creep. In R.B.J. Brinkgreve, Beyond 2000 in Computational Geotechnics, Balkema, Rotterdam, 249-261.
- [5] Sowers G. F. (1973). "Settlements of waste disposal fill". Proc 8th Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Moscow, Rusia. Vol 2/2.
- [6] Rakic, D., Aki, L & Ori, S. (2013). Shear strength of municipal waste materials from two landfills in Serbia. In book: Coupled Phenomena in Environmental Geotechnics, pp.347-354. 10.1201/b15004-41.
- [7] Palma, J.H. (1995). Comportamiento Geotécnico de Vertederos Controlados de Residuos Sólidos Urbanos. Tesis Doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, U. de Cantabria, Santander, España.