

 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES REPUBLICA ARGENTINA</p>	<p>Programa de:</p> <p>MECANICA DE SUELOS NO SATURADOS</p> <p>Código: 20613</p>
<p>Carrera: Doctorado en Ciencias de la Ingeniería</p>	<p>Créditos: 3</p> <p>Carga horaria: 60 horas</p> <p>Horas Semanales: 4 horas</p>
<p>Objetivos: Se pretende que los alumnos capten claramente ciertos conceptos de la Mecánica de los Suelos No Saturados y comprendan el comportamiento especial de este tipo de suelos (Suelos colapsables, suelos expansivos y suelos compactados), de modo que puedan cuantificar sus características y propiedades para interpretar adecuadamente los problemas que se analizan y los resultados que se obtengan. Por otra parte deben saber establecer las acciones que estos suelos ejercen sobre las estructuras, y la capacidad de soportar las sollicitaciones que la estructura produce en estos terrenos.</p>	
<p>Programa Sintético (títulos del analítico): 1. Introducción. 2. Suelos Colapsables. 3. Suelos Expansivos. 4. Relaciones Succión-Humedad. 5. Leyes De Flujo. 6. Medición de la Permeabilidad. 7. Resistencia al Corte. 8. Teoría de Evaluación de la Deformabilidad. 9. Modelación del Cambio de Volumen. 11. Aplicaciones en el Diseño de Cimientos: Cimentaciones superficiales, Fundaciones Profundas. 12. Aplicaciones en la Estabilidad de Taludes: Evaluación de la Resistencia, Evaluación de la Deformabilidad.</p>	
<p>Modalidad: Presencial</p>	
<p>Programa analítico: ver más adelante</p>	
<p>Bibliografía: ver más adelante</p>	
<p>Aprobado por Res.HCD Fecha:</p>	<p>Modificado/Anulado/ por Res.HCD: Fecha:</p>
<p>El Secretario Académico de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba certifica que el programa está aprobado por el/los número/s y fecha/s que anteceden. Córdoba,</p>	

MECANICA DE SUELOS NO SATURADOS

PROGRAMA ANALITICO

Capítulo 1. Introducción. Planteo General de los Problemas Involucrados. Influencia del Clima. Perfiles Típicos de los Suelos No Saturados. Terminología y Definiciones. Relaciones Volumétricas y Gravimétricas. Las presiones efectivas en suelos no saturados. Variables de estado.

Capítulo 2. Suelos Colapsables. Descripción de los Fenómenos de Colapso. Interpretación de los Mecanismos de Colapso. Formas de Identificación de los Suelos Colapsables. Evaluación del Cambio de Volumen.

Capítulo 3. Suelos Expansivos. Descripción de los Fenómenos de Expansión. Minerales Arcillosos. Fuerzas Físico - Químicas de Contacto. Efectos de la Succión en la Expansión. Métodos para la Medición de Expansión y Succión.

Capítulo 4. Relaciones Succión Humedad. Conceptos generales de la relación. Elementos componentes de la curva característica. Ecuaciones para las curvas características. Métodos de medición aplicables. Variación de la curva según la tipología de suelo.

Capítulo 5. Leyes de Flujo. Flujo de agua, Flujo de Aire, Flujo de calor en suelos no saturados. Teorías referidas a las condiciones de flujo: Ley de Darcy para flujo no saturado. Permeabilidad en la fase líquida y gaseosa. Conceptos de permeabilidad y difusividad. Relaciones entre la permeabilidad, la succión y el contenido volumétrico de humedad. Ecuaciones diferenciales parciales para flujo de agua en estado estacionario y en estado transitorio. Estimación de las funciones de permeabilidad. Teoría de flujo de airea libre. Leyes de Fick y de Darcy para el flujo de aire. Ecuaciones diferenciales parciales para el flujo de aire en suelos no saturados. Teoría de flujo de calor. Congelamiento y deshielo de suelos. Ecuaciones diferenciales para el flujo de calor por conductividad. Mediciones de las propiedades térmicas. Aplicaciones a problemas de flujo de calor.

Capítulo 6. Mediciones de la Permeabilidad. Mediciones In Situ y en Laboratorio. Mediciones bajo Régimen Estacionario y Transitorio. Evaluaciones a través del Perfil de Infiltración. Mediciones en Celda Triaxial y Celda de Presión. Medición de la Difusividad.

Capítulo 7. Resistencia al Corte. Teoría de la resistencia al corte en suelos no saturados. Variables de estado para suelos no saturados. Representación de las variables de estado. Ecuaciones del círculo de Mohr. Rol de la succión. Curva Intrínseca Lineal de Falla. Curvas intrínsecas No Lineal de Falla. Superficies de Fluencia p-q-s. Límites de los Campos Elásticos y Plásticos. Ejecución de Ensayos Triaxiales y de Corte. Requerimientos Particulares del Equipamiento. Presiones en la Masa de Suelo. Revisión de Conceptos de los Coeficientes de Presión Activa y Pasiva. Efecto de los Cambios de Succión. Capacidad de Carga en Sistemas Uni y Multicapas.

Capítulo 8. Teorías de Evaluación de la Deformabilidad. Relaciones Constitutivas. Variables intervinientes en el problema. Aplicación del Concepto de Superficie de Estado. Formas de Evaluación del Comportamiento.

Capítulo 9. Modelos Constitutivos. Modelos de Predicción: sus limitaciones. Modelo de Alonso. Aplicación a Distintos Sistemas de Carga. Relaciones constitutivas formas de ecuaciones de compresibilidad. Relación entre los coeficientes de deformación volumétrica Evaluación de Colapso o Hinchamiento. Formulación de las ecuaciones diferenciales en derivadas parciales para las relaciones tensión – deformación.

Capítulo 10. Aplicaciones en el Diseño de Cimientos. Cimentaciones Superficiales. Revisión de los Problemas de Cimentación sobre Suelos Expansivos y Colapsables. Soluciones Constructivas, Criterios de Selección de la Solución. Metodología de Proyecto. Métodos de cálculo. Cimentaciones Profundas. Esfuerzos Solicitantes de la solución. Soluciones para Suelos Expansivos y Colapsables.

Capítulo 11. Aplicaciones en Enterramientos Sanitarios e Infiltraciones. Clasificación de los sistemas de enterramiento. Problemas de flujo asociado. Barreras de contención: sistemas de capas múltiples. Problemas de flujo unidimensional. Comportamiento de la cubierta de enterramiento: barreras impermeables y permeables. Modelaciones.

Capítulo 12. Aplicaciones en Estabilidad de Terraplenes y Laderas. Caracterización de la Resistencia. Modificación de los criterios de estabilidad límite para aplicaciones al diseño. Análisis tenso – deformacional. Recomendaciones para diseño y aplicaciones prácticas. Aplicaciones en el diseño de terraplenes, casos prácticos. Aplicaciones en problemas de inestabilidad de laderas.

ACTIVIDADES PRACTICAS.

Las actividades prácticas consistirán en resolución de problemas mediante soluciones analíticas, numéricas y utilizando herramientas computacionales.

TP 1: Aplicaciones Mecánica de Suelos No Saturados: Lectura y análisis de artículos de aplicación específica.

TP 2: Curvas características de Suelos (SWCC): Análisis de modelos de estimación de curvas características. Lectura y análisis artículo relacionado.

TP 3: Suelos Expansivos: Análisis de caracterización de suelos expansivos. Análisis de resultados experimentales, determinación potencial de expansividad, presión de hinchamiento e hinchamiento libre.

TP 4: Suelos Colapsables: Determinación de potencial de colapso mediante análisis resultados ensayos compresión confinada doble. Estimación asentamiento por colapso.

TP 5: Flujo no saturado: Problemas de flujo e infiltración en medios suelos no saturados. Resolución ecuaciones de flujo mediante técnicas de diferencias finitas.

TP 6: Mediciones: Ensayos en suelos no saturados, determinación de curvas características, medición de permeabilidad relativa. Vista equipos y ensayos. Análisis e interpretación resultados de ensayos provistos por el docente.

TP 7: Resistencia al corte: ejercicios prácticos estimación resistencia al corte. Lectura y análisis artículo científico.

TP 8: Deformabilidad de suelos No Saturados. Lectura y análisis de artículo. Cálculo de deformaciones en suelos no saturados.

TP 9: Equilibrio Plástico: Cálculo empujes en muros y capacidad de carga de fundaciones.

TP 10: Flujo Transitorio: Resolución de problemas utilizando software de modelación en elementos finitos (Hydrus).

De acuerdo a la modalidad de los trabajos prácticos los mismos se desarrollaron en gabinete y en el laboratorio de Geotecnia de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba.

ACTIVIDADES DE LABORATORIO.

Debido a las complejidades de ejecución de ensayos en suelos no saturados, los trabajos de laboratorio son limitados. En algunos casos sólo se prepara el esquema experimental y luego se realiza análisis e interpretación de sets de resultados provistos por el cuerpo docente.

Determinación de curvas características – método de tensiómetro

Determinación de curvas características – método papel de filtro

Determinación conductividad térmica – método de sensor de aguja.
Determinación de potencial de colapso de suelos: Método doble edómetro
Determinación de expansión libre y presión de hinchamiento de suelos: Método anillo edométrico.
Determinación de parámetros de deformaciones.

MODALIDAD DE ENSEÑANZA

Se desarrollará mediante:

- Clases expositivas, a cargo del docente.
- Presentaciones por parte de los estudiantes sobre temas vinculados con el curso.
- Lecturas individuales y grupales sobre aspectos específicos.
- Integración de conceptos mediante resolución de problemas.
- Asistencia a actividades de laboratorio.
- Actividades individuales de consulta.

MODALIDAD DE ASISTENCIA Y EVALUACION DE LA ASIGNATURA.

La evaluación estará constituida por un promedio de las notas asignadas a dos exámenes parciales teórico – prácticos, los trabajos prácticos individuales y las actividades de laboratorio.

Las notas de los trabajos prácticos individuales tendrán en cuenta el desarrollo teórico aplicado, la resolución y la puntualidad en la entrega.

Las notas de las actividades de laboratorio se fijarán según los informes individuales realizados en relación con los ensayos y experiencias de laboratorio efectuadas.

La evaluación de los parciales tendrá en cuenta: el desarrollo teórico aplicado, el uso de herramientas disponibles y los resultados alcanzados.

Se establecen como condición de aprobación:

1. Asistencia al 80% de las clases.
2. Todos los trabajos prácticos aprobados
3. Todas las actividades de laboratorio aprobadas
4. Aprobar los exámenes teórico - prácticos

Ponderación de la nota final:

50% Actividades prácticas y de laboratorio.

50% Promedio Exámenes Teórico – Práctico.

Calificación final para aprobación: igual o mayor a 7 (siete).

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

- ASTM (2014), *Annual Book of ASTM Standards*. ASTM Interantional, West Conshohoken, PA
- Briaud, J.L. (2013). *Geotechnical Engineering: Unsaturated and Saturated Soils*. John Wiley and Sons, Hoboken, N.J.
- Fredlund, D.G.; Rahardjo, H.; Fredlund, M.D. (2012). *Unsaturated Soil Mechanics in Engineering Practice*. John Wiley and Sons, Hoboken, N.J.
- Fredlund, D.G.; Rahardjo, H. (1993). "Soils Mechnics for Unsaturated Soils" . Edit. John Wiley & Sons, Inc.
- Gupta, S. and Ranaivoson, A. (2007). *Pavement Design Using Unsaturated Soil Technology*.

- MN/RC-2007-11. Technical Report Documentation. Minnesota Department of Transportation
- Holtz, R. D.; Kovacs, W.D.; Sheahan, T. C. (2011). *An Introduction to Geotechnical Engineering*. 2nd Ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J.
- Jury, W.; Horton R. (2004). *Soil Physics*. John Wiley and Sons, Hoboken, N.J.
- NG, C. and Menzies, B. (2007). *Advance Unsaturated Soil Mechanics and Engineering*. Ed Taylor and Francis, New York.
- Radcliffe, D.E.; Simunek, J. (2010). *Soil Physics with HYDRUS: Modeling and Applications*. CRC Press, Boca Ratón, Florida.
- Schanz, T. (2007). *Theoretical and Numerical Unsaturated Soil Mechanics*. ISBN 978-3-540-69875-3 Springer Berlin Heidelberg New York
- Tarantino, A; Romero, E. and Cui, Y.J. (2008). *Laboratory and Field Testing of Unsaturated Soils*. Ed Springer. eISBN: 978 1 4020 8819 3

ARTICULOS

- Akrouch, G.A.; Sánchez, M.; Briaud, J.L. (2015). "Effect of Unsaturated Soil Condition on the Thermal Efficiency of Energy Piles". ASCE Geotechnical Special Publication. <https://doi.org/10.1061/9780784479087.146>
- Alonso E. (2006). "Field Applications of Unsaturated Soil Mechanics". GeoShanghai International Conference. [https://doi.org/10.1061/40860\(192\)1](https://doi.org/10.1061/40860(192)1)
- Alonso, E.E.; Olivella,S. (2006). "Unsaturated Soil Mechanics Applied to Geotechnical Problems". Proceedings of the fourth International Conference on Unsaturated Soils. [https://doi.org/10.1061/40802\(189\)1](https://doi.org/10.1061/40802(189)1)
- Alonso, E. y Lloret, A. (1985). "Comportamiento de Suelos Parcialmente Saturados". Revista de Obras Públicas, Madrid, Mayo - Junio 1985, pp 435 - 461.
- Alonso, E.; Gens, A and Josa, A (1990). "A constitutive Model for Partially Saturated Soils". Geotechnique, Vol 40 (3), pp. 405 - 430.
- Alonso, E.; Gens, A and Hight, D.W. (1987). "Special Problems Soils. General Report. (Sessions)". 9^o European Conference on Soils Mechanics and Foundation Engineering, vol 3. Pp 1087 - 1146.
- Arya, L.M.; Leij, F.J.; van Genuchten, M.Th.; Shouse, P.J. (1999). Soil Science Society of America Journal 63:510 – 519.
- Bishop, A.W. and Donald, I.B. (1961). "The Experimental Study of Partly Saturated Soils in the Triaxial Apparatus". Proc. of 5^o International Conference on Soils Mechanics and Foundation Engineering, París, Vol. 1, pp 13 - 21.
- Blatz, J.A.; Ferreira, N.J.; Graham, J. (2004). "Effects of near-surface environmental conditions on instability of an unsaturated soil slope". Canadian Geotechnical Journal. 41: 1111-1126. doi: 10.1139/T04-058.
- Chin, K.; Leong, E.; Rahardjo, H. (2010). "A simplified method to estimate the soil-water characteristic curve". Canadian Geotechnical Journal. 47:1382-1400. doi:10.1139/T10-033
- Fredlund, D.G. (2006). "Unsaturated Soil Mechanics in Engineering Practice". ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 132(3):286 – 321.
- Fredlund, D.G.; Xing, A. (1994). "Equations for the soil – water characteristic curve". Canadian Geotechnical Journal. 31:521-532.
- Gallage, C.; Uchimura, T. (2016). "Direct Shear Testing on Unsaturated Silty Soils to Investigate the Effects of Drying and Wetting on Shear Strength Parameters at Low Suction". ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 142(3):04015081. DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001416.
- Gulsen, F.; Senol, A. (2006). "Design of Shallow Square Foundations Using Saturated and Unsaturated Soil Parameters". Geo-Chinca 2016. ASCE Special Publication.
- Jensen-Page, L.; Narsilio, G.A.; Bidarmaghz, A.; Johnston, I.W. (2018). "Investigation of the effect of seasonal variation in ground temperatura on termal response tests". Renewable Energy. 125: 609 – 619. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.12.095>
- Kosugi, K. (1994). "Three Parameter lognormal distribution model for soil wáter retention". Water Resources Research, 30(4):891-901.

- Liu, Y.; Vanapali, S. (2017). "Design of Retaining Wall and Single Pile in Expansive Soils Using Unsaturated Soil Mechanics as a Tool". Panamerican Conference on Unsaturated Soils.
- Matyas, E.S. and Radhakrishna (1968). "Volume Change Characteristics of Partially Saturated Soils". *Geotechnique*, Vol. 18, pp. 432 - 448.
- Rahardjo, H.; Fredlund, D.G. (1995). "Experimental verification of the theory of consolidation for unsaturated soils". *Canadian Geotechnical Journal*. 32:749-766.
- Redolfi, E.R. (1993). "Comportamiento de Pilotes en Suelos Colapsables". Cuadernos de Investigación. CEDEX, Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente.
- Rojas, E.; Pérez-Rea, M.L.; López – Lara, T.; Hernández, J.B.; Horta, J. (2015). "Use of Effective Stresse to Model the Collapse upon Wetting in Unsaturated Soils". *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001251.
- Sun, D.; Wang, L.; Li, L. (2019). "Stability of Unsaturated Soil Slopes with Cracks under Steady – Infiltration Conditions". *ASCE International Journal of Geomechanics*. DOI: 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0001398.
- Tinjum, J.M.; Benson, C.H.; Blotz, L.R. (1997). "Soil Water Characteristic Curves for Compacted Clay". *Journal of Geotechnical Engineering* 123 (11):1060 – 1069.
- Travis, Q.B.; Houston, S.L.; Marinho, F.A.M.; Schmeedkle, M. (2010). "Unsaturated Infinite Slope Stability Considering Surface Flux Conditions". *ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. DOI: 10.1061/ ASCE GT.1943-5606.0000301.
- Vahedifard, F.; Leschinsky, D.; Mortezaei, K.; Lu, N. (2016). "Effective Stress-Based Limit – Equilibrium Analysis of Homogeneous Unsaturated Slopes". *ASCE International Journal of Geomechanics*. DOI: 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000554.
- Vanapalli, S.K.; Han, Z. (2017). "Simple Approaches for the Application of the Mechanics of Unsaturated Soils into Conventional Geotechnical Engineering Practice". Panamerican Conference on Unsaturated Soils.
- Vanapalli, S.K.; Fredlund, D.G.; Pufhal, D.E.; Clifton, A.W. (1996). "Model for the prediction of shear strength with respect to soil suction". *Canadian Geotechnical Journal*.33:379-392.
- Van Genuchten, M.Th. (1980). "A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils". *Soil Science Society of America Journal*. 44(5):892-898.
- Wang, X; Zhu, Y; Huang, X. (2014). "Field Test on Deformation Property of Self – Weight Collapsible Loess with Large Thickness". *ASCE International Journal of Geomechanics*. DOI: 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000320.
- Yang, H.; Rahardjo, H.; Leong, E.; Fredlund, D.G. (2004). "Factors affecting drying and wetting soil-water characteristic curves of sandy soils". *Canadian Geotechnical Journal*. 41:908 – 920.
- Zornberg, J.G.; Bouazza, A.; McCartney, J.S. (2010). "Geosynthetic capillary barriers: current state of knowledge". *Geosynthetics International*, 17(5):273 – 300. doi: 10.1680/gein.2010.17.5.273