Facultad de Ingeniería OBERA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES

TRABAJO PRÁCTICO N.º 3

RELACIONES VOLUMÉTRICAS Y GRAVIMÉTRICAS DE LOS SUELOS

Diagrama de fases, densidades, vacíos, humedad y saturación

INGENIERIA GEOLOGICA Y GEOTECNICA - SEGUNDO AÑO

Carrera:	INGENIERIA CIVIL
Asignatura:	Ingeniería Geológica y Geotécnica
Docentes:	Dr. Ing. Gustavo O. Bogado Mgter. Ing. Hugo Orlando Reinert Ing. Marcelo Hugo Ernesto Gross
Integrantes:	- - - -
Grupo:	
Fecha de entrega:	

Oberá, Misiones – Argentina

Cursado 2026

1. Presentación del trabajo práctico

PROPÓSITO
Resolver problemas de relaciones volumétricas y gravimétricas mediante el diagrama de fases, utilizando unidades coherentes y verificando la admisibilidad física de los resultados. El objetivo no es aplicar fórmulas de manera aislada, sino reconstruir el estado del suelo y explicar qué representa cada variable.

2. Resultado de aprendizaje

RA1. Caracterizar propiedades físicas, químicas y mecánicas de suelos y rocas con la finalidad de resolver problemas geotécnicos, aplicando procedimientos establecidos por las Normas IRAM vigentes y utilizando referencias de la ISSMGE y la ISRM.

3. Objetivos

- Representar las fases sólida, líquida y gaseosa de una muestra de suelo.
- Diferenciar masa, peso, densidad y peso unitario, utilizando unidades compatibles.
- Calcular contenido de agua, densidades, pesos unitarios, relación de vacíos, porosidad y grado de saturación.
- Determinar pesos unitarios seco, saturado y sumergido.
- Aplicar las relaciones de fases a compactación, densidad relativa y control de obra.
- Detectar resultados físicamente imposibles y discutir errores de medición, unidades o datos de entrada.

4. Modalidad y condiciones de entrega

Modalidad	En grupos.
Desarrollo	Todos los ejercicios deben incluir datos, diagrama de fases, ecuaciones, reemplazo numérico, unidades y control del resultado.
Unidades	Resolver preferentemente en SI. Se admiten g/cm³ y t/m³ cuando se indique la equivalencia.
Presentación	Entrega manuscrita legible o archivo PDF generado a partir de Word/hoja de cálculo.
Criterio central	No se considerará completo un ejercicio que presente solamente el valor final.

5. Convenciones de cálculo

- Adoptar ρ_w = 1,00 g/cm³ = 1000 kg/m³ y γ_w = 9,81 kN/m³, salvo indicación diferente.
- Tener cuidado de las unidades. Manejar las unidades.
- Expresar el contenido de agua w y el grado de saturación S como número decimal durante el cálculo y como porcentaje en el resultado.
- Redondear los resultados finales a tres cifras significativas.
- Verificar: $e \geq 0$; $0 \leq n < 100$; $0 \leq S \leq 100$; $\gamma_d < \gamma_n \leq \gamma_{sat}$; $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$.
- Distinguir densidad ρ [kg/m³], de peso unitario γ [kN/m³]. Se relacionan mediante $\gamma = \rho g$.

6. Diagrama de fases

Toda resolución deberá comenzar identificando las masas y los volúmenes de las tres fases. La masa del aire se considera despreciable.

Fase	Masa	Volumen	Símbolos y observaciones
Aire	Ma ≈ 0	Va	Ocupa parte de los vacíos.
Agua	Mw	Vw	ρw = Mw / Vw.
Sólidos	Ms	Vs	Gs = ρs / ρw.

RELACIONES TOTALES

M = Ms + Mw ; V = Vs + Vw + Va ; Vv = Vw + Va

7. Magnitudes fundamentales

Magnitud	Definición	Expresión	Unidad / rango
Contenido de agua	Agua respecto de los sólidos	$w = Mw / Ms$	%
Densidad natural	Masa total respecto volumen total	$\rho = M / V$	kg/m³; g/cm³
Densidad seca	Masa de sólidos respecto volumen total	$\rho d = Ms / V$	kg/m³; g/cm³
Relación de vacíos	Vacíos respecto de sólidos	$e = Vv / Vs$	e ≥ 0
Porosidad	Vacíos respecto del volumen total	$n = Vv / V$	0 ≤ n < 100
Grado de saturación	Agua respecto de vacíos	$S = Vw / Vv$	0 ≤ S ≤ 100
Gravedad específica	Densidad de sólidos respecto del agua	$Gs = \rho s / \rho w$	Adimensional
Peso unitario	Peso total especto volumen total	$\gamma = W / V$	kN/m³
Densidad relativa	Estado entre emax y emin	$Dr = (emax - e)/(emax - emin)$	%

8. Relaciones de uso frecuente

Deducir las siguientes relaciones frecuentes. No memorizarlas.

$\rho d = \rho / (1 + w)$	$\gamma d = \gamma / (1 + w)$
$e = Gs\ \rho w / \rho d - 1$	$n = e / (1 + e)$
$S = w\ Gs / e$	$w = S\ e / Gs$
$\gamma sat = \gamma w\ (Gs + e)/(1 + e)$	$\gamma' = \gamma sat - \gamma w$
$wsat = e / Gs$	$Va / V = n(1 - S)$
	$Dr = (emax - e)/(emax - emin)$

9. Ejercicios base

Ejercicio N.º 1

Un molde de volumen V = 1000 cm³ contiene 1740 gr. de suelo húmedo compactado. Después del secado en estufa hasta masa constante, la masa seca es de 1520 gr. Adoptar Gs = 2,70.

Determinar:

- Contenido de agua w.
- Densidad y peso unitario natural.
- Densidad y peso unitario seco.
- Relación de vacíos e y porosidad n.
- Grado de saturación S.
- Peso unitario saturado γsat y sumergido γ′.

w	γn	γd	e	n	S	γsat	γ′

Ejercicio N.º 2

OPERARIO/Laboratorista A) Una muestra de suelo húmedo tiene una masa de 24,40 kg. y un volumen total de 12 000 cm³. Después de 24 horas en estufa, su masa seca es de 17,20 kg. Adoptar Gs = 2,70.

OPERARIO/Laboratorista B) Una muestra de suelo húmedo tiene una masa de 24,40 kg. y un volumen total de 12 000 cm³. Después de 24 horas en estufa, su masa seca es de 20,20 kg. Adoptar Gs = 2,70.

Determinar:

- Densidad y peso unitario natural.
- Contenido de agua w.
- Densidad y peso unitario seco.
- Relación de vacíos e y porosidad n.
- Grado de saturación S.

Control / reflexión: Comprobar si las propiedades índices calculadas son físicamente admisibles, identificando posibles errores de datos, volumen, masa o unidades. Destacar cual de los operarios le inspiran más confianza.

ρn / γn	w	ρd / γd	e	n	S	Diagnóstico

Ejercicio N.º 3

Un suelo se encuentra saturado. Su densidad saturada es ρsat = 1,90 g/cm³ y su contenido de agua es w = 35 %.

Determinar:

- Relación de vacíos e.
- Gravedad específica de los sólidos Gs.
- Porosidad n.
- Peso unitario saturado γsat.

e	Gs	n	γsat

Ejercicio N.º 4

Una muestra cilíndrica posee 60 mm de diámetro, 25 mm de altura y una masa húmeda de 120 g. El contenido de agua es w = 20 %. Adoptar Gs = 2,65.

Determinar:

- Volumen total de la muestra.
- Densidad y peso unitario natural.
- Densidad y peso unitario seco.
- Relación de vacíos e y porosidad n.
- Grado de saturación S.
- Peso unitario saturado γsat y sumergido γ′.

V	γn	γd	e	n	S	γsat	γ′

Ejercicio N.º 5

En un suelo saturado se conoce una densidad saturada ρsat = 1980 kg/m³ y un contenido de agua w = 25 %.

Determinar:

- Gravedad específica de los sólidos Gs.
- Relación de vacíos e.
- Porosidad n.
- Peso unitario saturado γsat y sumergido γ′.

Gs	e	n	γsat	γ′

Ejercicio N.º 6

En un terraplén de arena se determinó una densidad natural ρ = 1750 kg/m³ y un contenido de agua w = 8,6 %. En laboratorio se obtuvieron emax = 0,68 y emin = 0,45. Adoptar Gs = 2,60.

Determinar:

- Densidad seca ρd y peso unitario seco γd.
- Relación de vacíos in situ e.
- Porosidad n y grado de saturación S.
- Densidad relativa Dr.
- Clasificación cualitativa del estado: suelto, medianamente denso o denso.

ρd / γd	e	n	S	Dr	Estado

10. Ejercicios adicionales

Ejercicio N.º 7

Un terraplén vial se construye con una arcilla compactada a una densidad húmeda ρ = 1,78 t/m³ y un contenido de agua w = 15,0 %. Adoptar Gs = 2,71.

Determinar:

- Densidad y peso unitario seco.
- Relación de vacíos e.
- Porosidad n.
- Grado de saturación S.
- Contenido de agua de saturación wsat.
- Porcentaje de vacíos de aire Va/V.

ρd / γd	e	n	S	wsat	Va/V

Ejercicio N.º 8

Una muestra cilíndrica de 76 mm de diámetro y 38 mm de altura tiene una masa húmeda de 342 g. Después del secado en estufa, la masa seca es de 298 g. Adoptar Gs = 2,66.

Determinar:

- Volumen total y masa de agua.
- Contenido de agua w.
- Densidad natural y seca.
- Relación de vacíos e, porosidad n y grado de saturación S.
- Volúmenes Vs, Vw, Va y Vv.
- Diagrama de fases completo con valores.

V	Mw	w	ρd	e	n	S	Vs / Vw / Va

Ejercicio N.º 9

Un volumen de 0,75 m³ de suelo compactado posee γd = 16,2 kN/m³, w = 8,0 % y Gs = 2,70. Se agregará agua sin modificar el volumen total.

Determinar:

- Relación de vacíos e y porosidad n.
- Grado de saturación inicial.
- Peso unitario natural inicial.
- Contenido de agua necesario para alcanzar S = 85 %.
- Litros de agua que deben agregarse para alcanzar S = 85 %.
- Contenido de agua y litros adicionales requeridos para saturación completa.

e	n	Si	γn	w85	ΔVw,85	wsat	ΔVw,sat

Ejercicio N.º 10

En un control de compactación se obtiene γ = 19,20 kN/m³ y w = 10,2 %. El ensayo Proctor de referencia informó γd,máx = 18,40 kN/m³ y wópt = 12,5 %. Para el suelo, adoptar Gs = 2,68.

Determinar:

- Peso unitario seco de campo.
- Grado de compactación RC = γd,campo / γd,máx.
- Verificación del requisito RC ≥ 95 %.
- Relación de vacíos e, porosidad n y grado de saturación S.
- Porcentaje de vacíos de aire Va/V.

γd,campo	RC	Cumple	e	n	S	Va/V	Interpretación

Ejercicio N.º 11

Un estrato homogéneo saturado posee Gs = 2,65, relación de vacíos e = 0,75 y espesor H = 4,0 m. El nivel freático coincide con la superficie del estrato.

Determinar:

- Porosidad n y contenido de agua de saturación.
- Peso unitario seco, saturado y sumergido.
- Tensión vertical total en la base del estrato.
- Presión de poros en la base.
- Tensión vertical efectiva en la base.

n	wsat	γd	γsat	γ′	σv	u	σ′v

Ejercicio N.º 12

En un ensayo con picnómetro se registran: masa del picnómetro vacío W1 = 146,35 g; picnómetro + suelo seco W2 = 196,35 g; picnómetro + suelo + agua W3 = 645,85 g; y picnómetro lleno con agua W4 = 614,20 g.

Determinar:

- Gravedad específica de los sólidos mediante Gs = (W2 − W1)/[(W2 − W1) + W4 − W3].
- Si una muestra del mismo suelo tiene V = 400 cm³, masa húmeda de 760 g y w = 18 %, determinar e, n y S.
- Comprobar si los resultados son físicamente admisibles.

Gs	ρd	e	n	S	Control

Ejercicio N.º 13

Un suelo posee Gs = 2,72, relación de vacíos e = 0,82 y contenido de agua inicial w = 9 %. El volumen total considerado es de 2,00 m³.

Determinar:

- Grado de saturación inicial.
- Peso unitario seco, natural y saturado.
- Contenido de agua de saturación.
- Masa de sólidos contenida en los 2,00 m³.
- Litros de agua necesarios para alcanzar S = 70 %, sin cambio de volumen.

Si	γd	γn	γsat	wsat	Ms	ΔVw

11. Actividad de detección de errores

REVISIÓN CRÍTICA

Un estudiante afirma que, para e = 0,60, la porosidad es n = e/(1 − e) = 1,50; que S = e/(w Gs); y que γ′ = γsat + γw. Identifique y corrija cada error. Luego explique por qué los resultados propuestos son físicamente imposibles.

Expresión revisada	Corrección	Justificación física
Porosidad n		
Saturación S		
Peso sumergido γ′		

12. Desafío integrador opcional

Ejercicio N.º 14

Una muestra tiene Gs = 2,70, e0 = 0,95 y w = 18 %. Durante una compresión sin drenaje de agua, su relación de vacíos disminuye hasta ef = 0,70. La masa de sólidos y la masa de agua permanecen constantes.

Determinar:

- Grado de saturación inicial y final.
- Variación porcentual del volumen total.
- Peso unitario seco y natural en ambos estados.
- Determinar si se alcanza la saturación antes de llegar a ef = 0,70.
- Calcular el valor de e para el cual S = 100 % manteniendo w constante.

Si	Sf	ΔV/V0	γd,0	γd,f	γn,0	γn,f	e a S=1

13. Preguntas de cierre

1. ¿Por qué una muestra puede tener alto contenido de agua y no estar saturada?
2. ¿Cuál es la diferencia física entre porosidad y relación de vacíos?
3. ¿Qué datos mínimos se necesitan para reconstruir completamente un diagrama de fases?
4. ¿Qué significa obtener S > 100 % y cómo debería actuar el profesional ante ese resultado?
5. ¿Cómo cambian γsat y γ′ cuando aumenta la relación de vacíos?