

UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
ESCUELA DE TOPOGRAFÍA, CATASTRO Y GEODESIA
LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN TOPOGRAFÍA Y GEODESIA



INGENIERÍA EN TOPOGRAFÍA Y GEODESIA, CÓDIGO TGF502
PROGRAMA DEL CURSO DE
Geodesia Física



Nombre del curso	Geodesia Física
Tipo de Curso	Regular
Código del curso	TGF502
Nivel y Grado Académico	V, Licenciatura
Período lectivo	I Semestre 2023
Modalidad	18 semanas en formato Presencial
Naturaleza	teórico – práctico
Créditos	4
Horas totales semanales	11
Horas del curso	3 – Teoría: jueves 18:00-20:00, 1 – Práctica: jueves 20:00-21:30 8 – Estudio: Independiente
Horas docentes	3
Horas de atención al estudiante	2 (martes 10:30-12:00)
Requisitos	Geodesia Geométrica
Correquisitos	Ninguno
Docente:	MSc. Olga Pimenova olga.pimenova@una.cr

En esta Universidad nos comprometemos a prevenir, investigar y sancionar el hostigamiento sexual entendido como toda conducta o comportamiento físico, verbal, no verbal escrito, expreso o implícito, de connotación sexual, no deseado o molesto para quien o quienes lo reciben, reiterado o aislado. Si usted está siendo víctima de hostigamiento diríjase a la Fiscalía de Hostigamiento Sexual de la UNA o llame al teléfono: 2277-3961.

PLAN DE TRABAJO

I. Descripción del curso:

Este es un curso teórico-práctico donde se proporcionan los conceptos fundamentales referentes al estudio, modelado y representación del campo de gravedad de la Tierra, mostrando las propiedades del campo de gravedad real y las variaciones temporales del mismo, las características del campo de gravedad normal (teórico), así también como el cálculo e interpretación de anomalías de gravedad. Se

introducen los conceptos para el establecimiento y validación de modelos geoidales o cuasi-geoidales y se enseñan los conceptos físicos y matemáticos requeridos para cumplir con los fines del curso.



Se complementa esta temática mostrando los conceptos modernos referentes al establecimiento de sistemas de alturas, los cuales proveen de la base conceptual para la modernización de los sistemas de alturas clásicos y su compatibilización con el marco de referencia geométrico global. Estos conceptos permiten forjar la base conceptual de la geodesia moderna y sus aplicaciones, especialmente en relación con la geodesia satelital.

La parte práctica del curso tiene como meta lograr una mejor comprensión y asimilación del conocimiento por parte del estudiantado, mediante la realización de sesiones prácticas de gabinete. En ellas, el estudiantado podrá identificar cuestiones teóricas planteadas con anterioridad y resolverá problemas prácticos de una forma experimental utilizando herramientas de cómputo específicas para la temática del curso.

II. Objetivos

2.1 Objetivo General:

Desarrollar los conceptos y criterios técnicos fundamentales para la determinación, análisis y modelado del campo de gravedad de la Tierra, generando así la base conceptual que permite la representación de la verdadera forma de la Tierra a partir del cálculo y uso de modelos geoidales.

2.2 Objetivos específicos:

Al finalizar el curso el estudiante será capaz de:

1. Modelar el campo de gravedad de la Tierra, aspecto fundamental para el estudio y determinación de la forma real de la Tierra aplicando métodos y teorías de la Física y la Matemática.
2. Generar modelos geoidales locales o regionales, aplicando las teorías modernas para este fin, utilizando datos de misiones satelitales y datos de gravimetría de alta resolución.
3. Establecer sistemas de altura a un nivel nacional o regional con significado físico mediante el cálculo de números geopotenciales y la posterior conversión de estos a una altura, con el fin de definir una superficie de referencia para determinar la altura de puntos de interés.
4. Utilizar información obtenida de misiones satelitales como GRACE, CHAMP y GOCE para el estudio del campo de gravedad de la Tierra, la determinación de sus variaciones temporales y el cálculo del geóide mediante el uso de productos derivados de estas misiones.

III. Contenido temático o aprendizajes integrales:

1. Introducción

- 1.1. Antecedentes históricos
- 1.2. Importancia de la determinación del campo de gravedad terrestre

2. Elementos de Geodesia Física

- 2.1. Teoría del potencial
- 2.2. Atracción y potencial
- 2.3. Potencial de un cuerpo sólido, una esfera, de un cascaron esférico y de un cilindro
- 2.4. Concepto físico de campo
- 2.5. Ecuación de Poisson y ecuación de Laplace
- 2.6. Solución de la ecuación de Laplace
- 2.7. Funciones armónicas
- 2.8. Funciones de Legendre, Polinomios de Legendre y coeficientes armónicos esféricos
 - 2.8.1. Armónicos esféricos sectoriales, teserales y zonales
 - 2.8.2. Representación gráfica de los Polinomios de Legendre
- 2.9. Normalización de las funciones armónicas esféricas
- 2.10. Interpretación de los coeficientes armónicos esféricos de grado bajo
- 2.11. Problemas de valores de frontera
 - 2.11.1. Problemas de valores de frontera geodésicos
- 2.12. Momentos de inercia de la Tierra

3. Campo de gravedad de la Tierra y sus anomalías

- 3.1. Concepto de gravedad
- 3.2. Superficies de nivel y la línea de plomada
- 3.3. Curvatura de las superficies de nivel y la línea de plomada
- 3.4. Sistema de coordenadas naturales
- 3.5. Potencial de gravedad real y potencial de gravedad normal
 - 3.5.1. El potencial real de la Tierra en termino de armónicos esféricos
- 3.6. El campo de gravedad normal: el elipsoide normal y la fórmula de Stokes
- 3.7. Teorema de Clairaut
- 3.8. Cálculo de la gravedad normal en la superficie del elipsoide: la fórmula de Somigliana y desarrollos en serie
- 3.9. Cálculo de la gravedad normal para una altura h
- 3.10. Potencial anómalo de la Tierra
- 3.11. Anomalías de gravedad
- 3.12. Variaciones temporales en el campo de gravedad de la Tierra.

4. Determinación del geoide y cuasi-geoide

- 4.1. Ecuación de Bruns
- 4.2. Ecuación fundamental de la Geodesia Física
- 4.3. La teoría de Stokes para la determinación del Geoide

- 4.4. La teoría de Molodensky para la determinación del Cuasi-Geoide
- 4.5. Reducciones y correcciones de gravedad
 - 4.5.1. Razones del porque hay que reducir la gravedad
 - 4.5.2. Reducción de aire libre
 - 4.5.3. Reducción de Bouguer
 - 4.5.4. Reducción de Poincare y Prey
 - 4.5.5. Corrección de terreno
- 4.6. Teoría de la Isostasia
 - 4.6.1. Enfoque de Pratt-Hayford
 - 4.6.2. Enfoque de Airy-Heiskanen
- 4.7. Reducciones isostáticas y su interpretación
- 4.8. Métodos de condensación de Helmert
- 4.9. El método Remove - Restore
- 4.10. Efecto indirecto en la determinación del geoide
- 4.11. Uso de la transformada rápida de Fourier en el cálculo de modelos geoidales

5. Sistemas de alturas

- 5.1. Relación entre la nivelación geodésica y el campo de gravedad terrestre
- 5.2. Números geopotenciales
 - 5.2.1. Características
 - 5.2.2. Cálculo
 - 5.2.3. Importancia de los números geopotenciales para el establecimiento de los modernos sistemas de alturas
- 5.3. Alturas dinámicas
 - 5.3.1. Características
 - 5.3.2. Cálculo
- 5.4. Alturas ortométricas
 - 5.4.1. Características
 - 5.4.2. Cálculo
 - 5.4.3. Hipótesis para la reducción de la gravedad observada al geoide
 - 5.4.4. Consecuencia de la formulación de la hipótesis en el cálculo del geoide: determinación de co-geoides
- 5.5. Alturas normales
 - 5.5.1. Características
 - 5.5.2. Cálculo
- 5.6. Análisis comparativo de los diferentes sistemas de alturas
- 5.7. Nivelación GPS
 - 5.7.1. Características
 - 5.7.2. Requerimientos metodológicos
 - 5.7.3. Exactitudes alcanzables
 - 5.7.4. Fuentes de error

6. Modelos de geoide globales y regionales

- 6.1. Misiones satelitales para la determinación de modelo geoidales: GRACE, CHAMP, GOCE 6.1.1. Fundamentos de la gravimetría satelital
 - 6.1.2. Introducción a la Gradiometría
 - 6.1.3. Características de la misión GRACE
 - 6.1.4. Características de la misión GOCE
 - 6.1.5. Características de la misión CHAMP
- 6.2. Gravimetría Aerotransportada
 - 6.2.1. Fundamentos
 - 6.2.2. Requerimientos instrumentales
 - 6.2.3. Aplicaciones
- 6.3. Modelos globales EGM96 y EMG08
- 6.4. Modelo CARIB97
- 6.5. Modelos de geoide derivados de misiones satelitales: familia de las EIGEN y otros
- 6.6. Aplicaciones de los modelos geoidales en geodesia y geofísica

IV. Estrategia metodológica:

El curso es de naturaleza teórico-práctico. Para el desarrollo de tareas y proyecto prácticas, primeramente, el estudiante debe conocer los fundamentos teóricos de Geodesia Física. Después de conocer los fundamentos, las clases teóricas se complementarán con variedad de ejercicios y tareas prácticas para que estudiante reafirme fuera del aula los visto en clase y de esta forma se puede profundizar en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

El tema de investigación grupal se puede elegir cada grupo de estudiantes desde la lista de temas actuales para geodesia el día de hoy y presentados en el workshop Comité de Inter-comisiones de Geodesia para la Investigación del Clima (ICCC) de la Asociación Internacional de Geodesia (IAG) los días 28-30 de marzo de 2023.

V. Estrategia evaluativa:

Detalle	Porcentaje	Fecha de entrega/realización
Tareas	15%	Tarea 1: 30/03 Tarea 2: 20/04 Tarea 3: 25/05
Quices	10%	Quiz 1: 30/03 Quiz 2: 01/06
Exámenes Parciales	50%	Examen Parcial I: 27/04 Examen Parcial II: 29/06
Investigación y exposición	10%	15/06
Proyecto Final	15%	22/06
TOTAL	100	

Todas las actividades evaluativas tienen carácter obligatorio. A continuación, el detalle de cada actividad:

- a) Las **PRACTICAS**: deben ser desarrolladas en las clases y en horas de estudio independiente, los mismos constan de la solución de ejercicios relacionados con las temáticas desarrolladas en el curso. La docente hará una evaluación del desempeño de los estudiantes en cada una de las prácticas. El estudiantado ha de demostrar el saber hacer, así como las competencias que integren en el pensamiento y la acción de esos elementos, en las cuales realizarán resolución de problemas planteados y se deberá demostrar el procedimiento para llegar a los resultados señalado.

Cada asignación tendrá un valor determinado, en función de su grado de complejidad y análisis requerido. Luego de la comparación de la solución de la docente con la del estudiantado, así como el análisis de los resultados obtenidos, la docente asignará el puntaje a la respuesta y sumará el puntaje total. Además, en los reportes de las practicas se evaluará:

Criterio	Excelente (4)	Buena (3)	Satisfactorio (2)	Deficiente (1)
Formato general	Contiene la información del título, el nombre y cedula de estudiante, la tarea está ordenada y sigue el orden lógico. La letra, los cálculos y las figuras son fácil de leer e interpretar.	Contiene la información del título, el nombre de estudiante. La letra, los cálculos y las figuras son fácil de leer e interpretar	Contiene la información del título, el nombre de estudiante. La letra, los cálculos y las figuras no son fácil de leer e interpretar.	Contiene la información del título, el nombre de estudiante. La letra, los cálculos y las figuras no son fácil de leer e interpretar.

- a) Dos **QUICES**: Se realizarán interrogantes cortos a través de los cuales el estudiantado debe demostrar conocimiento de fundamentos teóricos de los temas vistos en las clases anteriores. En el Quiz 1 se evaluará el conocimiento del Tema 2 del contenido temático y en el Quiz 2, los Temas 4 y 5.
- b) La **INVESTIGACIÓN y PRESENTACIÓN** será realizada por cada grupo de los estudiantes en Power Point o aplicación similar, empleando medios que considere pertinentes de forma técnica y científica sobre los aportes e innovaciones de geodesia.

Rúbrica	Excelente 4 pts.	Satisfactorio 3 pts.	Puede mejorar 2 pts.	No cumple lo mínimo requerido 1 pt.
Formalidad de la presentación	Modula correcta y apropiadamente el tono de voz. Su presentación personal demostraba	Modula apropiadamente el tono de voz. Su presentación personal	Su presentación personal demostraba la seriedad de su trabajo	No le dio ninguna formalidad a su exposición

	la seriedad de su trabajo	demostraba la seriedad de su trabajo		
Dominio del tema	Habló con fluidez demostrando conocimiento del tema Uso los apoyos visuales para guiar a los espectadores	Leyó un poco de las diapositivas, pero habló fluidamente Uso los apoyos visuales para guiar a los espectadores	Mencionó únicamente lo que había en la presentación leyéndolas	Demostró claramente que no había preparado el tema
Organización del equipo	Presenta de forma organizada el contenido del tema. Se evidencia un dominio de la actividad grupal que desarrolla.	Presenta de forma organizada el contenido del tema. Se evidencia un dominio parcial de la actividad grupal que desarrolla.	Presenta el contenido del tema con algunas dudas. Se evidencia poco dominio de la actividad grupal que desarrolla.	No se organiza
Asignación del tiempo	Consideró el empleo del tiempo en el intervalo de 1:30-1'	Consideró el empleo del tiempo en el intervalo de 1:00-0:30'	Consideró el empleo del tiempo en el intervalo inferior a 0:30-0:01'	Consideró el empleo del tiempo en el intervalo superior a 1:30'

- c) Los **EXAMENES PARCIALES**: Se realizarán interrogantes a través de los cuales el estudiantado debe demostrar de manera teórico-práctica y analítica el logro de los objetivos vistos en las clases. Se aplica para detectar la eficacia en el desarrollo de actividades reales.

En exámenes cada de las preguntas tendrá un valor determinado, en función de su grado de complejidad. Luego de la comparación de la solución de la docente con la del estudiantado, así como el análisis del conocimiento del estudiante, la docente asignará el puntaje a la respuesta y sumará el puntaje total, para luego obtener la calificación total y el porcentaje obtenido por parte del estudiantado.

- d) Se realizará un **PROYECTO FINAL** que consiste en la elaboración por parte del estudiante de un programa de cómputo basado en Matlab/Octave. El estudiante deberá ir desarrollando el código del programa conforme avanza el tratamiento de los temas del curso. El estudiante deberá de realizar entregas parciales del desarrollo, de forma tal que la docente pueda verificar y controlar el avance del proyecto. El estudiante deberá entregar un reporte final con los resultados y el código del programa desarrollado. La docente durante el desarrollo del curso entregara a los estudiantes una guía para la elaboración de proyecto final.

VI. Normas específicas para la ejecución del curso:

- **No se permite uso de teléfonos celulares en las clases.** Los cálculos deben realizarse con Matlab/Octave o en una calculadora.
- Cada actividad tiene una fecha de entrega, la cual se le ratificará al estudiantado al menos una semana antes de la fecha final de entrega o al momento de la formulación de la actividad evaluativa
- No se recibirá ningún documento para evaluar fuera de la fecha final de entrega definida y comunicada al estudiantado
- La asistencia a las clases presenciales es importante pero **NO es obligatoria**
- Todas las actividades evaluativas son de carácter **obligatorio**
- Las fechas de entrega de los trabajos, quedarán definidas desde el inicio del curso en el presente instructivo.
- El curso se aprueba con nota ≥ 7.0 y debido a ser un curso de naturaleza teórico práctico **NO tiene examen extraordinario.**
- Cuando se realice una prueba evaluativa en la cual obligatoriamente tiene que estar presente el estudiante se deben respetar las condiciones para realización de la prueba: sin ruidos, obstáculos, intromisiones, ayudas externas o el uso de elementos adicionales no autorizados por la profesora.
- En el desarrollo de las clases el estudiantado deberá emplear de forma obligatoria los siguientes recursos:
 - Matlab/Octave
 - Microsoft Word
 - Power Point
- El medio oficial de comunicación entre el estudiantado y la docente es a través del correo olga.pimenova@una.cr.

VII. Cronograma Tentativo de actividades:

# sesión	Fecha	Tipo de sesión	Contenido	Actividades	Recursos didácticos requeridos
1	02/03	clase	Tema 1	presentación del programa del curso, clase magistral	
2	09/03	clase	Tema 2	Clase magistral <i>practica</i>	
3	16/03	clase	Tema 2	Clase magistral	
4	23/03	clase	Tema 2	Clase magistral	
5	30/03	clase, evaluación	Tema 3	Quiz 1, clase magistral, entrega Tarea 1	
7	06/04	feriado	Semana Santa	No hay lecciones	
6	13/04	clase	Tema 3	Clase magistral	
8	20/04	clase	Tema 3	Clase magistral,	

				entrega Tarea 2	
9	27/04	evaluación	Examen I		
10	04/05	clase	Tema 4	Clase magistral	
11	11/05	clase	Tema 4	Clase magistral	
12	18/05	clase	Tema 5	Clase magistral	
13	25/05	clase	Temas 5 y 6 Entrega Tarea 3	Clase magistral, entrega Tarea 3	
14	01/06	evaluación, clase	Tema 6	Quiz 2, clase magistral	
15	08/06	clase	Tema 6	Clase magistral	
16	15/06	evaluación, practica	Presentaciones Practica	Presentaciones grupales, Clase practica	
17	22/06	clase, evaluación	Practica y repaso	entrega Proyecto Final	
18	29/06	evaluación	Examen II		

VIII. Bibliografía:

- Hofmann-Wellenhof, B., & Moritz, H. **Physical Geodesy**. 1st Edition, SpringerWienNewYork, 2005.
- Lowrie, W. **A student's guide to Geophysical Equations**. Cambridge University Press. New York, 2011.
- Mertikas, S. **Gravity, geoid and earth observation**. Berlin: Springer, 2010
- Sanso, F & Sideris, M. **Geoid Determination: Theory and Methods**. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013.
- Serpas, J. **Gravimetría Aérea para la determinación del geoid local**. *Uniciencia*, 21 (1), 165-176, 2004.
- Serpas, J. **The downward continuation of the disturbing potential based on Poisson's Integral**. *Uniciencia*, 21 (1), 157-164, 2004.
- Torge, W. **Gravimetry**. De Gruyter. Berlin-New York, 2008.
- Xu. G. **Theory, Algorithms and Applications**. Alemania: Springer Berlin Heidelberg, 2007.

7.2. Webgrafía:

- <http://icgem.gfz-potsdam.de/home>
- https://www.isgeoid.polimi.it/Geoid/reg_list.html

Información adicional:

La aceptación del programa del curso se realizará por medio de firma del estudiantado el primer día de clase. El programa se distribuirá impreso en la primera clase, y en forma digital para la segunda clase. Se recalca las fechas de clase. El estudiante que falte a alguna de las clases deberá ser responsable en la adquisición de la información, en caso evaluativo se aplica lo indicado en el reglamento de evaluación de la UNA.

El estudiante que falte con la entrega de uno de los medios de evaluación no podrá presentarlo después sin justificación.

Es importante recordar al estudiantado el **DEBIDO PROCESO** para apelaciones:

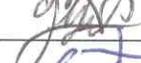
- 1) La persona estudiante se comunica de forma oral con la persona docente en los próximos 5 días hábiles de una revisión y se aclara el inconveniente.
- 2) La persona estudiante se comunica con la docente de forma escrita (correo institucional o carta firmada con puño y letra entrega y recepción) indicando las evidencias de su reclamo en los siguientes 5 días hábiles de la entrega de la calificación. La persona docente deberá dar respuesta por escrito en un periodo de 5 días hábiles (art. 52, Reglamento Gral de Enseñanza y Aprendizaje de la UNA)
- 3) Agotada la vía de revisión con la persona docente, la persona estudiante se comunica con la dirección por medio escrito (direccionetcg@una.cr), en los siguientes 5 días hábiles adjuntando todas las evidencias de su reclamo y de haber realizado el proceso del paso 2. (art. 53, Reglamento Gral de Enseñanza y Aprendizaje de la UNA)
- 4) La dirección procede a conformar un tribunal integrado por 3 académicos. (art. 53, Reglamento Gral de Enseñanza y Aprendizaje de la UNA)
- 5) El tribunal tendrá 5 días hábiles para examinar los antecedentes y atestados de la apelación, consultar a las partes interesadas y brindar la respuesta al fallo, este indicará si se modifica o mantiene la nota apelada. La decisión del tribunal es inapelable y se debe comunicar a la persona estudiante, con copia a la persona docente y la dirección para que se actúe en la consecuencia. (art. 54, Reglamento Gral de Enseñanza y Aprendizaje de la UNA)

<i>Firma de la docente</i>	<i>Firma de la Dirección y Sello de la ETCG</i>
 MSc. Olga Pimenova Docente ETCG	 MEd. Gabriela Cordero Gamboa Directora ETCG

GEODESIA FÍSICA
I CICLO 2023 Grupo I
PLAN DE TRABAJO

02 de marzo 2023

Los abajo firmantes estamos de acuerdo en las indicaciones realizadas en el presente programa del curso de Geodesia Física, presentado en los primeros ocho días hábiles de inicio del curso e indicamos que la docente realizó la lectura y sometió a consideración del estudiantado la evaluación propuesta, llegando al acuerdo de desarrollar la evaluación indicada en este documento.

#	Cédula	Nombre	Firma
1	604640038	Taylor Rojas Rodriguez	Taylor R
2	604320696	Daniela Sequeira Sibaja	
3	305150769	Maren Ruiz Diaz	Maren Ruiz Diaz
4	110530893	Oliver Sánchez Simitsina	
5	116610659	Dayana Flores Porras	
6	117380723	DI Dylana Montoya Cabillo	
7	117780702	Lorenzo Aguilar Elizondo	
8	207870727	Sergio Quirós Arce	
9	117410825	Gloriana López Vizcaino	
10	115120862	José Daniel Chavarría Fallas	
11	11503-0692	César Alberto Araya Flores	
12	114780700	Gary Tenorio Monge	
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			