

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 TGF507
PROGRAMA DEL CURSO DE
Geodesia Satelital

Nombre del curso	Geodesia Satelital
Tipo de Curso	Regular
Código del curso	TGF507
Nivel y Grado Académico	V, Licenciatura
Período lectivo	II Ciclo 2024
Modalidad	17 semanas en formato Presencial
Naturaleza	teórico – práctico
Créditos	4
Horas totales semanales	11
Horas del curso	2 – Teoría: viernes 18:00-20:00, 1 – Práctica: viernes 20:00-20:30 8 – Estudio: Independiente
Horas docentes	3
Horas de atención al estudiante	2 (martes 17:00-18:00)
Requisitos	Geodesia Física
Correquisitos	Ninguno
Docente:	Dra. 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:

La Geodesia Satelital es una rama de la Geodesia que trata principalmente con satélites artificiales, cuya utilización resulta más cómoda y precisa que los métodos tradicionales, para el posicionamiento, aplica técnicas tridimensionales y contribuye a la solución de problemas de la Geodesia, tanto geométricos como físicos. Este curso es de carácter teórico-práctico y comprende la explicación general de los procesos de la mecánica orbital involucrados en el movimiento de los satélites en sus órbitas, el

conocimiento de las fuerzas que afectan ese movimiento, tanto a órbitas reales como a teóricas. Se describen los métodos de observación utilizados por la geodesia moderna para el establecimiento y mantenimiento del marco de referencia terrestre y celeste. En el componente práctico del curso se realizan sesiones prácticas de gabinete en las cuales se utilizan herramientas de software especializadas para el cálculo de los parámetros de las órbitas de los satélites, transformación entre sistemas de coordenadas celestes y sistemas de tiempo. El curso pretende que el estudiantado adquiera la fundamentación matemática rigurosa que le permita entender la importancia de los sistemas de posicionamiento satelital, las tecnologías GNSS, el potencial gravitacional y la geodesia física como elementos fundamentales de los datos espaciales, de tal manera que pueda liderar proyectos geodésicos de investigación, ingenieriles o aplicados, en las entidades públicas y privadas.

II. Objetivos

2.1 Objetivo General:

Desarrollar los fundamentos teóricos para el estudio de las órbitas de los satélites artificiales utilizados en Geodesia para el posicionamiento global y navegación, además de su relación con el establecimiento y mantenimiento del marco de referencia terrestre y celeste.

2.2 Objetivos específicos:

Al finalizar el curso el estudiante será capaz de:

1. Realizar los procesos de cálculo, corrección y predicción de las órbitas de los satélites artificiales, de forma tal que sea posible conocer la posición exacta del satélite en todo momento, aspecto fundamental para el posicionamiento global y navegación.
2. Comprender la física del movimiento de los satélites artificiales utilizados en geodesia, mediante su relación con los conceptos físicos como lo son fuerza, aceleración y velocidad angular, para aplicaciones prácticas en casos requeridos.
3. Aplicar la tecnología GNSS y las diferentes técnicas utilizadas en ella, con el fin de lograr altas exactitudes en la ejecución de proyectos de ingeniería y de investigación, mediante la identificación de las variables fundamentales que intervienen en su desarrollo.
4. Utilizar modelos matemáticos que permitan realizar las correcciones de los datos geodésicos satelitales para obtener resultados más exactos en el posicionamiento estático y en la navegación.
5. Utilizar observaciones satelitales, para el desarrollo de proyectos de ingeniería e investigación, mediante la aplicación de las tecnologías modernas como VLBI, LLR, SLR y DORIS que permitan la captura de datos y productos para la comunidad científica relacionados con el Sistema Internacional de Referencia Terrestre (ITRS), Sistema Internacional de Referencia Celeste (ICRS), y los parámetros de rotación de la Tierra (EOP).

III. Contenido temático o aprendizajes integrales:

1. Sistemas y marcos geodésicos de referencia

- 1.1. Antecedentes históricos: Astronomía Geodésica
- 1.2. Sistemas geodésicos clásicos de referencia.
- 1.3. Concepto moderno de sistema de referencia, marco de referencia y datum geodésico
- 1.4. Importancia y aplicación de los marcos de referencia geodésicos en otras ciencias
- 1.5. Sistema de referencia celeste (ICRS) y el marco de referencia celeste (ICRF)
- 1.6. Sistema de referencia terrestre (ITRS) y el marco de referencia terrestre (ITRF)
- 1.7. Parámetros de Orientación de la Tierra (EOP)
 - 1.7.1. Precesión
 - 1.7.2. Nutación
 - 1.7.3. Movimiento de Polq
- 1.8. Convenciones del IERS
- 1.9. Servicios científicos de la Asociación Internacional de Geodesia para el establecimiento y mantenimiento del ITRF y el ICRF
 - 1.9.1. International GNSS Service (IGS)
 - 1.9.2. International VLBI Service for Geodesy and Astrometry (IVS)
 - 1.9.3. International Laser Ranging Service (ILRS)
 - 1.9.4. DORIS
- 1.10. Densificación del ITRF en el continente-americano (SIRGAS)
- 1.11. Sistemas de tiempo
 - 1.11.1. Importancia del tiempo en los métodos geodésicos
 - 1.11.2. Tiempo sidéreo y tiempo universal
 - 1.11.3. Tiempo atómico: UTC, Tiempo GPS
 - 1.11.4. Leap seconds
- 1.12. Transformación del ICRF al ITRF y viceversa
 - 1.12.1. Aplicación en el procesamiento de datos GNSS

2. Órbitas normales

- 2.1. Fundamentos de mecánica celeste
 - 2.1.1. Ley de conservación del momento angular
 - 2.1.2. Problema de dos cuerpos
 - 2.1.3. Leyes de Kepler
 - 2.1.4. Ley de la caída de los cuerpos y la ley de atracción gravitacional
- 2.2. Geometría de la órbita elíptica.
 - 2.2.1. Secciones cónicas
 - 2.2.2. Ecuación de movimiento
 - 2.2.3. Ecuación de Kepler
 - 2.2.4. Elementos keplerianos
 - 2.2.5. El vector de estado
- 2.3. La órbita en el espacio.
- 2.4. Predicción de las órbitas.

- 2.4.1. Efemérides transmitidas
- 2.4.2. Conversión del vector de estado a elementos keplerianos
- 2.4.3. Conversión de elementos keplerianos al vector de estado
- 2.4.4. Clasificación de las órbitas
- 2.4.5. Trayectorias terrestres (Ground tracks)

3. Órbitas perturbadas

- 3.1. Ecuación del movimiento.
- 3.2. La elipse osculante
 - 3.2.1. Representación de la órbita perturbada
 - 3.2.2. Teoría General de Perturbación
 - 3.2.3. Ecuaciones de perturbación de Lagrange
 - 3.2.4. Ecuaciones de perturbación de Gauss
- 3.3. Perturbaciones gravitacionales y no gravitacionales
 - 3.3.1. Perturbaciones provocadas por el campo de gravedad de la Tierra
 - 3.3.1.1. Efecto de la perturbación gravitacional en la órbita
 - 3.3.1.2. Perturbación causada por los coeficientes zonales J_n
 - 3.3.2. Perturbación provocada por el Sol y la Luna
 - 3.3.3. Perturbación provocada por mareas terrestres y oceánicas
 - 3.3.4. Perturbación provocada por la atmósfera (Drag Atmosférico)
 - 3.3.5. Perturbación provocada por la radiación solar (directa e indirecta)
- 3.4. Efemérides precisas
 - 3.4.1. Cálculo por parte del IGS
 - 3.4.2. Necesidad de la integración de las órbitas (procesamiento GNSS)
 - 3.4.3. Métodos analíticos para la integración de órbitas
 - 3.4.4. Métodos numéricos para la integración de órbitas
 - 3.4.5. Aplicaciones

4. Observaciones satelitales

- 4.1. Conceptos fundamentales
 - 4.1.1. La importancia del ajuste geodésico para la Geodesia Satelital
- 4.2. Técnica Doppler
- 4.3. Interferometría de Líneas Bases Muy Largas (VLBI)
 - 4.3.1. Fundamentos
 - 4.3.2. Instrumental
 - 4.3.3. Aplicaciones
- 4.4. Mediciones Láser a Satélites (SLR) y a la Luna (LLR)
 - 4.4.1. Fundamentos
 - 4.4.2. Instrumental
 - 4.4.3. Aplicaciones
- 4.5. Sistema DORIS
 - 4.5.1. Fundamentos
 - 4.5.2. Instrumental

4.5.3. Aplicaciones

4.6. Altimetría satelital

4.6.1. Fundamentos

4.6.2. Instrumental

4.6.3. Misiones Topex/Poseidon y Jason

4.6.4. Aplicaciones

IV. Estrategia metodológica:

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

V. Estrategia evaluativa:

Detalle	Porcentaje	Fecha de entrega/realización
Tareas	25%	Se indicará al menos una semana antes de la fecha de entrega
Quiz	10%	06/09
Exámenes Parciales	50%	Examen Parcial I: 26/09 Examen Parcial II: 15/11
Investigación y exposición	15%	08/11
TOTAL	100	

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

- a) Las **TAREAS**: deben ser desarrolladas en las clases y en horas de estudio independiente usando software Matlab/Octave. Las mismas 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 señalados.

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 prácticas se evaluará:

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

- a) Un **QUIZ**: Se realizará un interrogante corto a través del cual el estudiantado debe demostrar conocimiento de fundamentos teóricos de los temas vistas en las clases anteriores.
- b) La **INVESTIGACIÓN y EXPOSICIÓN** 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 satelital.

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

tiempo	del tiempo en el intervalo de 1:30-1'	del tiempo en el intervalo de 1:00-0:30'	empleo del tiempo en el intervalo inferior a 0:30-0:01'	empleo del tiempo en el intervalo superior a 1:30'
--------	---------------------------------------	--	---	--

c) Dos **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. En la evaluación, 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.

En el examen parcial I, se evaluarán los temas 1 y 2, y en el examen parcial II, se evaluarán los temas 3 y 4 del programa del curso.

VI. Normas específicas para la ejecución del curso:

En el desarrollo de las clases el estudiantado deberá emplear de forma obligatoria los siguientes recursos:

- Las sesiones sincrónicas y semipresenciales tendrá como insumo la entrega obligatoria de video de la clase.
- En caso de ausencia a clases y/o evaluación se aplican las indicaciones del artículo 26 del Reglamento General del Proceso de Enseñanza y Aprendizaje de la Universidad Nacional:
Quien, como estudiante, por enfermedad u otra causa de fuerza mayor, no pueda efectuar una evaluación consignada en el programa, debe presentar a la persona a cargo de impartir el curso, por escrito, la justificación con los documentos probatorios en un tiempo límite de cinco días hábiles a partir de la fecha en que se realizó la evaluación. Si procede repetir la evaluación, de común acuerdo se fijará la fecha y la hora de su aplicación, la que se realizará dentro de los ocho días hábiles siguientes a la presentación de la justificación. En caso de no aceptarse la justificación, puede realizar el trámite de apelación correspondiente.
- Las fechas de entrega de las asignaciones de la metodología evaluativa, quedarán definidas desde el inicio del curso en el presente instructivo, y serán prorrogadas únicamente con un oficio remitido por la totalidad de los estudiantes matriculados y el docente a la dirección.
- La calificación mínima para aprobación del curso es 7.0 Toda calificación final deberá redondearse según lo indicado en el artículo 18 del Reglamento General del Proceso de Enseñanza y Aprendizaje de la Universidad Nacional:
El estudiantado será calificado con base en una escala que va de cero a diez. La calificación mínima de aprobación es siete. Toda calificación final deberá redondearse de la siguiente manera:

del 0.10 al 0.24, corresponde a 0.25

del 0.26 a 0.49, corresponde a 0.50
del 0.51 al 0.74, corresponde a 0.75
del 0.76 al 0.99, corresponde al entero superior

- El curso de naturaleza teórico práctico NO tiene examen extraordinario.
- En caso de plagio en cualquier trabajo presentado por el estudiantado se aplicará lo estipulado en el artículo 24 del Reglamento General del Proceso de Enseñanza y Aprendizaje de la Universidad Nacional:

ARTICULO 24. PLAGIO

Se considera plagio la reproducción parcial o total de documentos ajenos presentándolos como propios.

- **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 o por el medio no establecido para presentación del documento evaluativo.
- La asistencia a las clases presenciales es **obligatoria**
- Todas las actividades evaluativas son de carácter **obligatorio**
- Se permiten hasta 6 ausencias justificadas
- Se pierde el curso con 3 ausencias injustificadas
- Las fechas de entrega de los trabajos, quedarán definidas desde el inicio del curso en el presente instructivo.
- 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 u otro programa para presentaciones
- 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	26/07	clase	Tema 1	presentación del programa	

				del curso, clase magistral	
2	02/08	libre	Feriado		
3	09/08	Clase virtual	Tema 1	Clase magistral	
4	16/08	Clase virtual	Tema 1	Clase magistral	
5	23/08	Clase virtual	Tema 2	clase magistral	
6	30/08	Libre, participación en la Actividad de recreación e integración personal estudiantil, académico y administrativo (8 am a 12 md).			
7	06/09	clase, evaluación	Tema 2	Quiz, Clase magistral	
8	13/09	clase	Tema 2	Clase magistral	
9	20/09	clase	Tema 2, Tema 3	Clase magistral	
10	27/09	evaluación	Examen I		
11	04/10	clase	Tema 3	Clase magistral	
12	11/10	clase	Tema 3	Clase magistral	
13	18/10	clase	Tema 4	Clase magistral, actividad "Habilidades Blandas"	
14	25/10	Libre, participación en la Semana de Simposio Anual de Ingeniería en Topografía, Catastro y Geodesia			
15	01/11	clase	Tema 4	Clase magistral	
16	08/11	evaluación	Exposición	Presentaciones grupales	
17	15/11	evaluación	Examen II		

VIII. Bibliografía:

- Lowrie, W. (2011). A student's guide to Geophysical Equations. Cambridge University Press. New York, United States of America
- Meyer, T. (2010). Introduction to geometrical and physical geodesy: foundations of geomatics. Redland, Calif. : ESRI Press
- Petit, G., & Luzum, B. (Eds.) (2010). IERS Conventions. Frankfurt am Main, Germany: Verlag des Bundesamtes für kartographie und Geodäsie.
- Rebischung, P., Griffiths, J., Ray, J., Schimid, R., Collilieux, X., Garayt, B. (2011). IGS08: the IGS realization of ITRF2008, GPS Solutions, 16, 483–494, doi: 10.1007/s10291-011-0248-2
- Seeber, Günter (2003) Satellite Geodesy. 2nd Edition. Berlin, New York: De Gruyter. 589 pgs.
- Seitz, M. (2014). Comparison of different combination strategies applied for the computation of terrestrial reference frames and geodetic parameter series. In: Kutterer

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. 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 reprueba el curso con nota de 5.00 o su acumulado en caso de ser inferior al mismo.

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 el 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)

Firma de la docente	Firma de la Dirección y Sello de la ETCG
 Dra. Olga Pimenova Docente ETCG	 MEd. Gabriela Cordero Gamboa Directora ETCG

GEODESIA SATELITAL
II CICLO 2024 Grupo 1
PLAN DE TRABAJO

26 de julio 2024

Los abajo firmantes estamos de acuerdo en las indicaciones realizadas en el presente programa del curso de Geodesia Satelital, 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	Correo electronico	Firma
1	1-1120-0909	Karla Benavides G	Karla.benavides.galindo@est.una.cr	
2	20759-0354	Priscila Pérez C	priscila.perez.cerdas@gmail.com	
3	11520-0353	Sharon Obregon Jimenez	sharon.obregon.sanchez@est.una.ac.cr	
4	2-0834-0829	Keylin Marin Gonzalez	Keylin-marin-gonzalez@est.una.ac.cr	
5	3-0502-0368	Francini Rojas Mora	Francini.rojas.mora@est.una.ac.cr	
6	118120197	Josue Chaves Ch	josue.chaves.chavarria@est.una.ac.cr	
7	118380388	Tiffany Murillo Avila	tiffany.murillo.avila@est.una.ac.cr	
8	117830087	Karel Castillo Espinoza	Karel.castillo.espinoza@est.una.ac.cr	
9	116660745	Axel Segura Richmond	axel.segura.richmond@est.una.ac.cr	
10	201850251	Jose Saborio Rodriguez	Jose.saborio-rodriguez@est.una.ac.cr	
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				