

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
VICERECTORIA DE INVESTIGACION Y DESARROLLO  
DIRECCION DE ESTUDIOS POSGRADO Y EDUCACION CONTINUA  
DEPEC -UNI**



**Programa de curso:**

Ingeniería de Cimentaciones

**Elaborado por:** Ing. Yader Jarquin

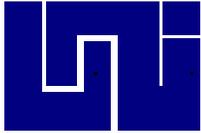
**Revisado por:** Comité Académico

**Visto Bueno:** Ing. Nelson Morrison, M.Sc  
**Coordinador del Programa**

**Autorizado por:** Ing Freddy González López M.Sc.,  
**Director de Estudios de Posgrado**

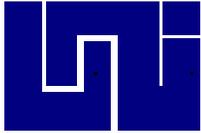
*Firma y sello  
Dirección de Estudios de posgrado*

Managua, Nicaragua  
2019



**I. INFORMACIÓN GENERAL:**

1. **Nombre de la Especialidad:** Maestría en Ingeniería Estructural y Sísmica
2. **Acreditado a Maestría:** Maestría en Ingeniería Estructural y Sísmica
3. **Nombre del Módulo:** Ingeniería de Cimentaciones
4. **Total de horas por curso:**       **60 horas**
5. **Créditos:**    **4 créditos**



## **II. INTRODUCCIÓN:**

El Objeto de estudio de la asignatura Ingeniería de Cimentación, permite al estudiante aprender métodos para diseño de los distintos tipos de cimentaciones superficiales y profundas, método puntal tensor, Interacción suelo-estructura y muros de sótanos, con la aplicación de las especificaciones técnicas de diseño estructural del ACI 318, lo que contribuye a que el estudiante desarrolle los criterios de diseño geotécnico y estructural.

La asignatura aporta al perfil de la carrera de Ingeniería Civil en el área estructural, el medio de obtener la capacidad para aprender a diseñar y/o revisar cimentaciones sometidas a fuerza axial, fuerza cortante, momento flexionante.

El prerrequisito de esta asignatura es: Resistencia de materiales, Análisis estructural, Diseño de concreto reforzado y Mecánica de suelo, la cual permite analizar el comportamiento, distribución de las cargas, y desplazamientos de estructuras isostáticas e hiperestáticas, mediante el uso de software de análisis y diseño estructural.

La asignatura está integrada por cinco unidades, en la unidad uno se estudia el diseño geotécnico de cimentaciones superficiales, el diseño estructural sísmico de acuerdo al ACI 318, ASCE 7 e IBC.

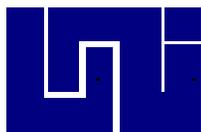
En la unidad dos se estudia de manera rápida el diseño geotécnico de cimentaciones profundas, el diseño estructural de cimentaciones superficiales de acuerdo al ACI 318, ASCE 7 e IBC.

En la unidad tres se estudia el método puntal tensor, específicamente para diseñar los cabezales de los pilotes mediante el ACI 318.

En la unidad 4 se estudia el efecto de considerar la interacción suelo-estructura en las edificaciones mediante ASCE 7 y ASCE 41, se hará una comparación entre edificio de base fija y con interacción suelo estructura.

En la unidad 5 se estudia el diseño geotécnico y estructural de muros de sótanos mediante ACI 318, IBC, la forma de modelar los edificios con muros de sótanos.

Aunque el diseño de cimientos es principalmente responsabilidad del ingeniero estructural, se basa en la información proporcionada por el ingeniero geotécnico y se beneficia de un buen diálogo entre las dos disciplinas.



### III. OBJETIVOS

#### Objetivo General:

1. Diseñar de forma manual y mediante el uso de software cimentaciones superficiales y profundas, muros de sótanos, sujetos a diferentes tipos de solicitaciones y deformaciones, generadas por las cargas a las que va a estar sometida durante su vida útil, de acuerdo con los reglamentos y especificaciones vigentes.

### IV. COMPETENCIAS PARA DESARROLLAR

Crear en el estudiante una actitud analítica, reflexiva, innovadora y de compromiso social en el diseño de las cimentaciones y muros de sótanos, de las obras de ingeniería civil

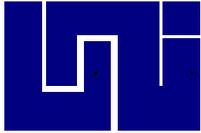
### V. DESCRIPCION:

En el curso de Diseño y Cálculo de Cimentaciones de Estructuras de Obra Civil se dan las principales pautas que permitan abordar el diseño de las cimentaciones más usuales, sobre las que se erigen estructuras de Obra Civil. Se presentarán conceptos básicos sobre Geotecnia, útiles para comprender la interacción entre las estructuras de obra civil y el suelo sobre el que se apoyan. Posteriormente se abordará el diseño estructural. Finalmente se presentarán conceptos esenciales para el diseño de muros de sótanos.

### VI. PLAN TEMÁTICO:

Nº	TEMAS	FORMAS ORGANIZATIVAS DE ENSEÑANZA (F.O.E)								TOTAL DE HORAS
		Horas teóricas		Horas prácticas y trabajo independiente						
		C	S	C.P	LAB	G.C	TE	TF	TI	
I	Cimentación Superficial	6		10						16
II	Cimentación profunda	4		10						14
III	Método Puntal tensor	4		6						10
IV	Interacción Suelo-Estructura	4		4						8
V	Edificios con niveles de subterráneos	4		6						10
Evaluación final										2
<b>TOTAL</b>		<b>22</b>		<b>36</b>						<b>60</b>

C-conferencias, S-Seminario, CP-Clases Prácticas, LAB-Laboratorio, G.C-Giras de Campo, TE-Trabajos extraclase, TC-Trabajo final - Trabajo independiente



## **VII. CONOCIMIENTOS NECESARIOS:**

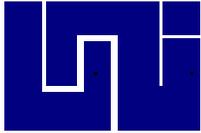
Para llevar el curso es recomendable que el participante posea conocimientos de:

- Resistencia de materiales
- Análisis estructural
- Diseño de concreto reforzado y
- Mecánica de suelo

## **VIII. DESCRIPCIÓN DE LOS CONTENIDOS POR TEMAS:**

Unidad 1. Cimentación superficial

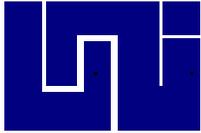
- 1.1. Introducción
- 1.2. Tipos de zapatas
- 1.3. Presiones permisibles del suelo
  - 1.3.1. Concepto general
  - 1.3.2. Diseño Geotécnico, Teoría de la capacidad de carga ultima de Terzaghi
    - 1.3.2.1 Zapata cuadrada
    - 1.3.2.2 Zapata circular
    - 1.3.2.3 Factor de seguridad
    - 1.3.2.4 Ejemplo 1: Determine la carga máxima en la pared que se puede permitir en la zapata
    - 1.3.2.5 Ejemplo 2: Determine el ancho "B" de zapata corrida
    - 1.3.2.6 Modificar las ecuaciones de capacidad portante para nivel freático
    - 1.3.2.7 Ecuación general de capacidad portante
    - 1.3.2.8 Factores de capacidad portante
    - 1.3.2.9 Factores de perfil, profundidad, e inclinación.
    - 1.3.2.10 Condición drenada y no drenada
    - 1.3.2.11 Ejemplo 3: Determine la carga máxima en la pared que se puede permitir en la zapata
    - 1.3.2.12 Ejemplo 4: Determine el tamaño de la zapata
    - 1.3.2.13 Losas de cimentación: tipos comunes
    - 1.3.2.14 Capacidad de carga de una malla de cimentación
    - 1.3.2.15 Ejemplo 5: Determine la capacidad de carga ultima de una losa de cimentación
    - 1.3.2.16 Cimentaciones compensadas
    - 1.3.2.17 Ejemplo 6: Encuentre  $D_f$  para una cimentación totalmente compensada
  - 1.3.3 Asentamiento elástico de cimentaciones en suelo de arcilla saturada
  - 1.3.4 Asentamiento elástico basado en la teoría de la elasticidad
    - 1.3.4.1 Ejemplo 7: Calcule el asentamiento elástico en el centro del asentamiento



- 1.4 Diseño estructural
  - 1.4.1 Presiones reales del suelo
  - 1.4.2 Consideraciones generales
    - 1.4.2.1 Cargas y reacciones
    - 1.4.2.2 Momento en zapatas
    - 1.4.2.3 Cortante en zapatas
    - 1.4.2.4 Transferencia de la fuerza en la base de la columna, muro, o pedestal reforzado
  - 1.4.3 Ejemplo 1: zapata cuadrada concéntrica
    - 1.4.3.1 Diseño del área de la zapata
    - 1.4.3.2 Diseño del espesor de la zapata
    - 1.4.3.3 Diseño del refuerzo de la zapata
    - 1.4.3.4 Chequeo de la longitud de desarrollo
    - 1.4.3.5 Diseño para la transferencia de la fuerza en la base de la columna
    - 1.4.3.6 Diseño para la transferencia de la fuerza mediante el refuerzo
    - 1.4.3.7 Diseño de la transferencia de la fuerza horizontal en la base de la columna
  - 1.4.4 Ejemplo 2: Diseño de zapata para muros
  - 1.4.5 Ejemplo 3: Diseño de zapata excéntrica
  - 1.4.6 Coeficiente de Balasto
    - 1.4.6.1 Introducción
    - 1.4.6.2 Concepto del coeficiente de balasto vertical
    - 1.4.6.3 Obtención de coeficiente de balasto verticales para fundaciones tipo placa
    - 1.4.6.4 El coeficiente de balasto vertical para perfiles heterogéneos
    - 1.4.6.5 Ejemplo 4: Modulo de reacción de subgrado  $k_s$  para losa de cimentación y placas
    - 1.4.6.6 Ejemplo 4: Resolver ejemplo 1 al 3 en el software SAFE
    - 1.4.6.7 Tarea 1: Diseño de zapata combinada y Diseño de losa de fundación

## **Unidad 2. Cimentaciones profundas**

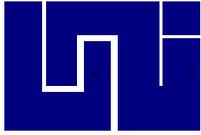
- 2.1 Introducción
- 2.2 Necesidad de los pilotes de cimentación
- 2.3 Tipos de pilotes y sus características estructurales
- 2.4 Estimación de la longitud del pilote
- 2.5 Mecanismo de transferencia de la carga
- 2.6 Ecuaciones para la estimación de la capacidad del pilote
- 2.7 Capacidad de soporte de carga de la punta del pilote,  $Q_p$
- 2.8 Método de Meyerhof para el cálculo de  $q_p$
- 2.9 Resistencia a la fricción,  $Q_s$



- 2.9.1 Resistencia a la fricción en arena
- 2.9.2 Resistencia a la fricción (o superficial) en arcilla
- 2.10 Capacidad admisible del pilote
- 2.11 Capacidad de carga de la punta de un pilote apoyado sobre roca
- 2.12 Ejemplo 1: Calcule la carga ultima en la punta del pilote
- 2.13 Ejemplo 2: Determine la resistencia total a la fricción para el pilote
- 2.14 Ejemplo 3: Estimar  $Q_p$
- 2.15 Ejemplo 4: Estime la carga admisible que el pilote puede soportar
- 2.16 Asentamiento elástico de pilotes
- 2.17 Ejemplo 5: Determine el asentamiento elástico del pilote
- 2.18 Pilotes agrupados: eficiencia
  - 2.18.1 Pilotes en arena
  - 2.18.2 Pilotes en arcilla
  - 2.18.3 Pilotes en roca
- 2.19 Ejemplo 6: Determine la capacidad de carga admisible del grupo de pilotes
- 2.20 Pilotes cargados lateralmente
- 2.21 Uso de Software Lpile y Geo5 para verificar solución manual
- 2.22 Solución elástica
  - 2.22.1 Ejemplo: Determine la carga lateral admisible (solución elástica)
- 2.23 Análisis por carga ultima: Método de Broms
  - 2.23.1 Ejemplo: Determine la carga lateral admisible (método de Broms)
- 2.24 Concepto del coeficiente de balasto horizontal
- 2.25 Descripción del método pilote no-lineal con curvas de respuesta p-y no lineales para el suelo.
- 2.26 Las curvas p-y para estimar el coeficiente de balasto horizontal
  - 2.26.1 Ejemplos de cálculo del coeficiente de balasto horizontal para pilotes con métodos normalizados.

### **Unidad 3. Método del Puntal-Tensor**

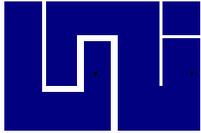
- 3.1 Introducción
  - 3.1.1 Teorema límite de perfecta plasticidad
  - 3.1.2 El modelo de puntal-tensor - una solución en el límite inferior
  - 3.1.3 Regiones D versus regiones B
  - 3.1.4 Bosquejo histórico
- 3.2 Desarrollando un modelo Puntal tensor
  - 3.2.1 Introducción
  - 3.2.2 Método de la ruta de carga
  - 3.2.3 Análisis de esfuerzos elásticos
  - 3.2.4 Optimización del modelo
  - 3.2.5 Campos de esfuerzos discontinuos básicos
  - 3.2.6 Modelos en 2D y 3D



- 3.3 Criterios de falla
  - 3.3.1 Introducción
  - 3.3.2 Puntal de concreto
    - 3.3.2.1 Comportamiento y resistencia
    - 3.3.2.2 ACI 319-19 Factor de efectividad para puntal
  - 3.3.3 Zona nodal
    - 3.3.3.1 Geometría y resistencia
    - 3.3.3.2 ACI 319-19 Factor de efectividad para zona nodal
  - 3.3.4 Refuerzo de tensores
  - 3.3.5 Anclaje de reforzamiento
    - 3.3.5.1 Acción de adherencia en barra recta
    - 3.3.5.2 Longitud de anclaje
    - 3.3.5.3 Junta de traslape
    - 3.3.5.4 Refuerzo curvo
  - 3.3.6 Ejemplo Cabezal de pilotes
    - 3.3.6.1 Introducción
    - 3.3.6.2 Distribución de cargas de pilotes
    - 3.3.6.3 Modelo de cabezal de pilote 2D
    - 3.3.6.4 Ejemplo 1: cabezal de pilote que soporta una columna
    - 3.3.6.5 Ejemplo 2: cabezal de pilote que soporta dos columnas
  - 3.3.7 Geometría de un puntal tensor en 3D
    - 3.3.7.1 Retos
    - 3.3.7.2 Simplificación de la geometría de zona nodal
    - 3.3.7.3 Límites del ángulo del puntal
  - 3.3.8 Ejemplo 5: Modelo de cabezal de pilote soportado por cuatro pilotes en SAP2000

#### **Unidad 4. Interacción Suelo-Estructura**

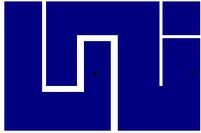
- 4.1 Introducción
- 4.2 Principios generales de la interacción suelo-estructura
- 4.3 Tipos de modelos interacción suelo-estructura
- 4.4 Terminología clave de SSI
  - 4.4.1 Movimiento en campo libre
  - 4.4.2 Interacción cinemática
  - 4.4.3 Interacción Inercial
- 4.5 Situaciones en las que SSI es importante
- 4.6 Grande área de aplastamiento del edificio reduce la fuerza de diseño
- 4.7 Sustancial empotramiento de la fundación reduce las fuerzas de diseño
- 4.8 Altas relaciones de rigidez entre la estructura y el suelo alargarán período y cambiarán las fuerzas de diseño
- 4.9 El balanceo de los cimientos impacta el comportamiento de la superestructura
- 4.10 Comportamiento



- 4.11 Flexibilidad de los cimientos y del suelo
- 4.12 Propiedades del suelo para el cálculo de la flexibilidad
- 4.13 Resortes verticales y rotativos
  - 4.13.1 Método 1: Fundación rígida y suelo flexible (país y Kausel)
  - 4.13.2 Método 2: Fundación flexible y suelo flexible no lineal
  - 4.13.3 Método 3: Fundación flexible y suelo flexible lineal (ASCE/SEI 41-17)
- 4.14 Ejemplo en ETABs comparación entre base rígida y interacción suelo-estructura

### **Unidad 5. Edificios con niveles de subterráneos**

- 5.1 Tipología
  - 5.1.1 Muros de sótanos de un nivel
  - 5.1.2 Muros de sótanos de varios niveles
- 5.2 Diferencias entre muros de sótano y muro de contención
- 5.3 Funciones de los muros de sótano
- 5.4 Presión activa de Coulomb para condiciones sísmicas
- 5.5 Ecuación de Mononobe-Okabe
- 5.6 Presión pasiva de tierra
- 5.7 Tipos de muros de concreto reforzado utilizados en sótanos
  - 5.7.1 Muro en voladizo
  - 5.7.2 Muro simplemente apoyado
  - 5.7.3 Muro doblemente empotrado (muro en dos apoyos)
  - 5.7.4 Otros tipos de muros
- 5.8 Análisis y diseño de muros de sótano
  - 5.8.1 Normas y especificaciones de diseño
  - 5.8.2 Ejemplo Muro de sótano de un nivel
  - 5.8.3 Ejemplo Muro de sótano de dos niveles
- 5.9 Ejemplo: Diseño de un muro de concreto de sótano mediante ACI E702
  - 5.9.1 Determinación de las cargas
  - 5.9.2 Presión del suelo
  - 5.9.3 Cortante y momento nivel de servicio debido a presión del suelo en la base del muro
  - 5.9.4 Cortante y momento factorado debido a presión del suelo en la base del muro
  - 5.9.5 Fuerza axial vertical factorado del edificio, losa arriba del sótano, peso propio del muro
- 5.10 Requerimientos del ACI 318-19 para el diseño de muros
  - 5.10.1 Diseño de muro por cortante
  - 5.10.2 Diseño por flexión y axial
  - 5.10.3 Mínimo requerimiento de refuerzo vertical y horizontal
  - 5.10.4 Chequeo del muro por esbeltez



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
VICERECTORIA DE INVESTIGACION Y DESARROLLO  
DIRECCION DE ESTUDIOS POSGRADO Y EDUCACION CONTINUA  
DEPEC -UNI**



- 5.10.5 Reforzamiento vertical en la base del muro
- 5.10.6 Chequeo del espaciamiento máximo
- 5.10.7 Reforzamiento horizontal

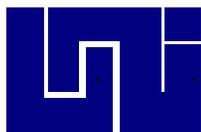
**5.11 Como modela un sótano**

- 5.11.1 Modelo 1: El edificio se asume que tiene base rígida, y no se considera el efecto SSI.
- 5.11.2 Modelo 2: El suelo a los lados del muro de retención se ignora, pero la estructura del sótano es explícitamente incluida en el modelo.
- 5.11.3 Modelo 3: Resorte horizontales se usan para capturar el efecto del suelo alrededor.
- 5.11.4 Modelo 4: Resortes horizontales se adhieren al muro rígido.

**IX. RECOMENDACIONES METODOLÓGICAS.**

Las clases teóricas se desarrollarán de forma clásica mediante conferencias. Recomendar a los estudiantes dedicar tiempo de lectura previa a la clase para familiarizarse con la materia con objeto de aprovechar al máximo la clase. Indicar a los estudiantes que el tema de clase se encuentra en el texto y que no es necesario tomar apuntes exhaustivos para tener atención a los aspectos conceptualmente más interesantes de cada clase. Las dudas o temas que los estudiantes planteen en clase se resolverán en la pizarra si son de interés general o deben asistir a las consultas del docente. Al finalizar la unidad el docente hará una recapitulación de los temas abordados.

Para la solución de problemas en clase se recomienda formar grupos pequeños de estudiantes, así como la discusión en el aula de la solución de éstos. El estudiante debe traer preparados los temas correspondientes a cada sesión, de manera que pueda establecerse un intercambio de opiniones sobre los temas tratados en clase. Las clases prácticas preferentemente realizarlas en el centro de cómputo para el uso y manejo de software de análisis y diseño estructural.



## X. RECURSOS DIDÁCTICOS:

### LOGÍSTICA:

#### Detalles del Curso:

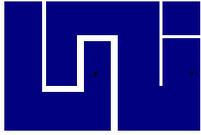
- 1 Modalidad: **Sesiones en Vivo**. Acceso al Aula virtual las 24 horas del día.
- 2 Chats en vivo, asistencia a los participantes durante todo el curso.
- 3 Foros de discusión.
- 4 Aplicación de teorías y conceptos mediante ejemplos detallados explicados paso a paso.
- 5 Ejemplos detallados de modelado, análisis y diseño geotécnico y estructural mediante el uso de software de última generación.
- 6 Material de apoyo (presentaciones, documentos complementarios...) se podrá descargar desde el Aula Virtual.

## XI. SISTEMA DE EVALUACIÓN.

	Alternativas 1	Alternativas 2
Evaluaciones parciales	50%	50%
Trabajos extra clase	10%	20%
Seminarios debates		
Gira de Campo		
Laboratorios		
Participaciones en exposición		
Trabajo final de curso	40 %	30 %
Total	100 %	100 %

## XII. BIBLIOGRAFÍA:

- 1 ACI 318-19, Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019.
- 2 Notes on ACI 318-11 Building Code Requirements for Structural Concrete, Portland Cement Association (PCA), Skokie, IL. 2012.
- 3 Calavera, J. Muros de contención y muros de sótano. 2a ed. Madrid: Instituto técnico de materiales y construcciones (Intemac), 1989. 307 pp.
- 4 Das, Braja M. Principios de Ingeniería de cimentaciones. 9a ed. México: International Thomson Editores, 2019. 885 pp.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**VICERECTORIA DE INVESTIGACION Y DESARROLLO**  
**DIRECCION DE ESTUDIOS POSGRADO Y EDUCACION CONTINUA**  
**DEPEC -UNI**



- 5 ACI (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE). Foundations for dynamic equipment. ACI 351.3 R-94, 2004.
- 6 Mylonakis, G., Nikolau, S., and Gazetas, G., 2006, "Footings under seismic loading: Analysis and design issue with emphasis on bridge foundations, " Soil Dynaic and Earthquake Engineering, Vol. 26, pp. 824-853.
- 7 NIST, 2012a, Soil-Structure Interaction for Building Structures, NIST GCR 12-917-21, prepared by the Applied Technology Council and the Consortium of Universities for Research in Earthquake Engineering for the National Institute of Standars and Technology, Gaithersburg, Maryland.
- 8 NIST, 2012b, NEHRP Seismic Design Technical Brief No. 7: Seismic Design of Reinforced Concrete Mat Foundations: A Guide for Practicing Engineers, NIST GCR 13-917-22, prepared by the Applied Technology Council and the Consortium of Universities for Research in Earthquake Engineering for the National Institute of Standars and Technology, Gaithersburg, Maryland.
- 9 ULRICH, Edward J., et al. Suggested analysis and design procedures for combined footings and mats. Journal of the American Concrete Institute, 1988, vol. 86, no 1, p. 304-324.
- 10 Robert, W. Day, Foundation Engineering Handbook. 2006.
- 11 Varghese, P. C. Design of reinforced concrete foundations. PHI Learning Pvt. Ltd., 2009.
- 12 Rao, NSV Kamesware. Foundation design: theory and practice. John Wiley & Sons, 2010.
- 13 Bowles, L. E., et al. Foundation analysis and design. McGraw-Hill, 1996.
- 14 Poulus, Harry G. Tall building foundation design. CRC Press, 2017.
- 15 Gunaratne, Manjriker (ed.). The foundation engineering handbook. CRC Press, 2013.
- 16 Huang, An-Bin; YU, Hai-Sui. Foundation engineering analysis and design. CRC Press, 2017.
- 17 Brown, Robert Wade, et al. Practical foundation engineering handbook. McGraw-Hill, 2001.