

Desarrollo de recursos didácticos y herramientas para apoyar el proceso de enseñanza y aprendizaje del curso de Fundaciones I

Jeison Andres Vega Leal

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Civil

Director

Ing. PhD. Vladimir Ernesto Merchan Jaimes

Universidad Industrial de Santander  
Facultad de Ingeniería Fisicomecánicas  
Escuela de Ingeniería Civil  
Ingeniería Civil  
Bucaramanga  
2026

### **Dedicatoria**

Doy gracias a todas las personas que hicieron parte de este proceso, a mis padres por siempre brindarme apoyo incondicional, a mi novia, porque ella sabe lo mucho que he luchado por lograr mis metas y al profesor Vladimir por tenerme paciencia. ¡Esto es por ellos!

### **Agradecimientos**

Agradezco a cada persona que hizo parte de este proyecto de vida. A mis padres por sus valores, por sus fortaleza y consejos que me daban a diario. Agradezco principalmente a Dios por todas las bendiciones, porque él siempre me mantuvo firme en este proceso y también por que puso en mi camino a mi novia que trabajó fuertemente conmigo para cumplir este sueño.

Agradezco a mi director, el profesor Vladimir por ser parte fundamental de este proceso, que gracias a su profesionalismo fue llenándome de conocimientos para la realización de este proyecto, un guía y ser humano espectacular.

**Tabla de Contenido**

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN.....	12
1. OBJETIVOS .....	14
1.1 Objetivo General.....	14
1.2 Objetivos Específicos.....	14
2. MARCO DE REFERENCIA .....	15
2.1 Aspectos relevantes del PEP del programa aplicables.....	15
2.2 Estrategias de enseñanza.....	16
2.3 Metodologías de enseñanza .....	16
2.4 Evaluación del aprendizaje .....	17
2.5 Articulación pedagógica con la propuesta metodológica .....	18
3. METODOLOGÍA.....	19
3.1 Diseño metodológico del Proyecto de Aula.....	19
3.2 Estructura metodológica del proyecto .....	19
3.3 Fase 1. Revisión de contenidos del curso Fundaciones .....	20
3.4 Fase 2. Aprendizaje del software Code-Bright en entorno GiD .....	20
3.5 Fase 3. Desarrollo de simulaciones numéricas .....	21
3.6 Fase 4. Elaboración del material didáctico .....	22
4. DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA DOCENTE .....	23
4.1 Actividades realizadas .....	23

4.2 Simulación del estado de esfuerzos geostático sin presión de agua.....	24
4.2.1 Geometría del modelo.....	24
4.2.2 Asignación de propiedades del material .....	25
4.2.3 Condiciones de contorno.....	25
4.2.4 Aplicación de condiciones iniciales.....	27
4.2.5 Mallado del modelo .....	27
4.2.6 Resultados y análisis .....	28
4.3 Simulación del Estado de Esfuerzos Mecánico con Carga Superficial sin presión de agua.....	30
4.3.1 Descripción y geometría del problema .....	30
4.3.2 Aplicación de un esfuerzo de contacto en superficie.....	31
4.3.3 Resultados y análisis .....	32
4.4 Simulación del Estado de Esfuerzos Hidro-Mecánico.....	34
4.4.1 Descripción y propiedades del problema.....	34
4.4.2 Incorporación del flujo de agua .....	35
4.4.3 Resultados y análisis .....	35
4.5 Simulación de Estado de Esfuerzos para el Modelo de Excavación .....	37
4.5.1 Geometría del modelo.....	37
4.5.2 Condiciones de contorno.....	38
4.5.3 Propiedades de la excavación .....	39
4.5.4 Resultados y análisis .....	40
4.6 Simulación de Modelo Tridimensional (Zapata 3D) .....	42
4.6.1 Geometría del modelo.....	42

4.6.2 Condiciones de Contorno.....	43
4.6.3 Resultados y análisis .....	45
4.7 Simulación del Modelado de Pilote .....	48
4.7.1 Geometría del modelo.....	48
4.7.2 Condiciones de Contorno.....	49
4.7.3 Resultados y análisis .....	50
5. REFLEXIÓN PEDAGÓGICA .....	54
6. CONCLUSIONES .....	55
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	57

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 <i>Orden de los Modelos Realizados.</i> .....	23

### Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1 <i>Geometría del Modelo Geoestático.</i> .....	24
Figura 2 <i>Materiales en el Modelo Geoestático.</i> .....	25
Figura 3 <i>Condición de Frontera.</i> .....	26
Figura 4 <i>Condición de Porosidad.</i> .....	26
Figura 5 <i>Distribución de esfuerzos.</i> .....	27
Figura 6 <i>Mallado del Modelo.</i> .....	28
Figura 7 <i>Distribución de esfuerzos del Modelo Geoestático.</i> .....	29
Figura 8 <i>Esfuerzos Verticales del Modelo Geoestático.</i> .....	30
Figura 9 <i>Geometría del modelo mecánico.</i> .....	31
Figura 10 <i>Aplicación de carga superficial.</i> .....	31
Figura 11 <i>Desplazamientos Verticales del Modelo Mecánico.</i> .....	32
Figura 12 <i>Estado final de esfuerzos del Modelo Mecánico.</i> .....	33
Figura 13 <i>Desplazamientos generados por la carga.</i> .....	33
Figura 14 <i>Propiedades Hidro-Mecánica del modelo.</i> .....	34
Figura 15 <i>Condición de Flujo.</i> .....	35
Figura 16 <i>Distribución de presión de agua.</i> .....	36
Figura 17 <i>Presión de agua.</i> .....	36
Figura 18 <i>Geometría del modelo de excavación.</i> .....	38
Figura 19 <i>Condiciones de borde.</i> .....	38
Figura 20 <i>Propiedades de excavación.</i> .....	39

Figura 21 <i>Materiales del Modelo</i> .....	40
Figura 22 <i>Resultados de los Esfuerzos Horizontales</i> .....	40
Figura 23 <i>Resultados de la Presión de Líquidos</i> .....	41
Figura 24 <i>Presión de Líquidos Modelo de Excavación</i> .....	41
Figura 25 <i>Esfuerzos Horizontales del Modelo de excavación</i> .....	42
Figura 26 <i>Geometría del modelo tridimensional de la zapata</i> .....	43
Figura 27 <i>Aplicación de carga sobre la zapata</i> .....	44
Figura 28 <i>Flujo libre en Superficie</i> .....	44
Figura 29 <i>Evolución de desplazamientos en el punto de análisis</i> .....	45
Figura 30 <i>Evolución de la Presión de líquido en el punto de análisis</i> .....	46
Figura 31 <i>Distribución del Desplazamiento con el tiempo</i> .....	47
Figura 32 <i>Distribución de la Presión de Líquidos</i> .....	47
Figura 33 <i>Geometría del modelo de pilote</i> .....	49
Figura 34 <i>Aplicación de carga en el pilote</i> .....	50
Figura 35 <i>Evolución de la presión de Líquidos</i> .....	51
Figura 36 <i>Presión de Líquidos Modelo de Pilote</i> .....	51
Figura 37 <i>Evolución de los esfuerzos Horizontales Modelo de Pilote</i> .....	52
Figura 38 <i>Esfuerzos Horizontales Modelo de Pilote</i> .....	53

## Resumen

**Título:** Desarrollo de recursos didácticos y herramientas para apoyar el proceso de enseñanza y aprendizaje del curso de Fundaciones I.

**Autor:** Jeison Andrés Vega Leal

**Palabras Clave:** Fundaciones I, Code-Bright, GiD, simulación numérica, recursos didácticos, geotecnia, elementos finitos, aprendizaje activo.

**Descripción:** El diseño de cimentaciones es un pilar de la Ingeniería Civil, ya que solicita un análisis profundo de la mecánica del suelo y la estructura para garantizar la seguridad y estabilidad de la obra. A pesar de la importancia de los conceptos, la enseñanza de la materia de Fundaciones I en la Universidad Industrial de Santander se ve afectada por la falta de material didáctico transcrito que organice las herramientas computacionales especializadas para la formación de los estudiantes. En esa medida, el presente trabajo de grado como objetivo desarrollar una guía de aprendizaje del software geotécnico Code-Bright en entorno GiD, además de material audiovisual y una metodología transcrita para fortalecer los aprendizajes analíticos y técnicos de los estudiantes.

Para tal fin, se llevaron a cabo seis simulaciones numéricas progresivas con el uso de Elementos Finitos: una de tipo geoestática, otra mecánica con carga superficial, una hidromecánica acoplada, una de excavación por etapas, una tridimensional de zapata y una de pilote sometido a carga puntual. Cada simulación fue acompañada de guías de procedimiento y videos explicativos, siguiendo los principios del aprendizaje multimedia y del aprendizaje basado en problemas.

Los resultados de cada modelo tuvieron congruencia con los fundamentos de mecánica de suelos, según a que se lograron validar el incremento de esfuerzos con la profundidad, disipación de presiones de poro en procesos de consolidación y redistribución de esfuerzos efectivos ante diferentes condiciones de carga e interacción hidráulica. Los recursos elaborados conforman un repositorio académico que puede ser utilizado en el curso de Fundaciones I para la correlación de la teoría geotécnica con la práctica computacional.

---

Trabajo de Grado

Facultad de Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Vladimir Ernesto Merchan Jaimes. PhD. Ingeniería del Terreno Cartográfica y Geofísica

### Abstract

**Title:** Development of teaching resources and tools to support the teaching and learning process of the Foundations I course.

**Author:** Jeison Andres Vega Leal

**Key Words:** Foundations I, Code-Bright, GiD, numerical simulation, teaching resources, geotechnics, finite elements, active learning.

**Description:** Foundation design is a cornerstone of Civil Engineering, requiring in-depth analysis of soil mechanics and the structure itself to ensure the safety and stability of the construction. Despite the importance of these concepts, the teaching of Foundations I at the Industrial University of Santander is hampered by a lack of transcribed learning materials that organize the specialized computational tools necessary for student training. Therefore, this thesis aims to develop a learning guide for the geotechnical software Code-Bright in a GiD environment, along with audiovisual materials and a transcribed methodology to strengthen students' analytical and technical learning.

To this end, six progressive numerical simulations were carried out using Finite Elements: one geostatic, one mechanical with surface loading, one coupled hydromechanical, one staged excavation, one three-dimensional footing simulation, and one pile simulation subjected to a point load. Each simulation was accompanied by procedural guides and explanatory videos, following the principles of multimedia learning and problem-based learning.

The results of each model were consistent with the fundamentals of soil mechanics, as they successfully validated the increase in stress with depth, the dissipation of pore pressures during consolidation processes, and the redistribution of effective stresses under different loading and hydraulic interaction conditions. The resulting resources form an academic repository that can be used in the Foundations I course to correlate geotechnical theory with computational practice.

---

Degree Work

Faculty of Physical and Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Vladimir Ernesto Merchán Jaimes. PhD. Geotechnical Engineering, Cartography and Geophysics

## Introducción

El diseño de cimentaciones incorpora una parte que se considera fundamental para la Ingeniería Civil. Esto se debe a que, mediante el correcto análisis de la interacción entre el suelo y la estructura, y el estudio del comportamiento del terreno dada ciertas cargas, es posible asegurar la seguridad y estabilidad de las estructuras (Das, 2009). Fundaciones I es un curso del pensum de Ingeniería Civil de la Universidad industrial de Santander, que abarca los fundamentos teóricos y analíticos de la ingeniería de cimentaciones, no solo para su diseño, sino también para el cálculo de asentamientos en tipos de suelo, lo que implica en la geotecnia moderna (Bowles, 1996).

El avance de las herramientas computacionales ha facilitado que los análisis geotécnicos sean más precisos y fiables, permitiendo la simulación en diferentes escenarios y la evaluación del comportamiento del suelo mediante modelos numéricos (Carter et al., 2000). Estas herramientas facilitan el análisis de la influencia de las condiciones de contorno y las variables geotécnicas sobre deformaciones y esfuerzos, acercando los procesos académicos a situaciones reales del diseño ingenieril.

En este escenario, Code\_Bright, en combinación con GID, se riga como una herramienta que empleando el método de los elementos finitos puede realizar análisis termo-hidro-mecánicos en medios geológicos, lo cual permite el modelado de geometrías, la obtención de los parámetros del suelo y la observación de resultados numéricos y gráficos para su (*GiD SIMULATION*, s. f.) (Olivella et al., 1996).

No obstante, la efectiva inclusión de software especializado en contexto de los procesos de enseñanza-aprendizaje se ve limitada por la inexistencia de suficiente cantidad de recursos didácticos bien organizados para facilitar su implementación pedagógica (Abuso, 2017). Para

fortalecer no sólo las habilidades analíticas sino también técnicas de los estudiantes y el proceso educativo del curso Fundaciones I, la actual propuesta de trabajo sugiere desarrollar una guía de aprendizaje, material documental y un medio audiovisual sobre utilización del software Code\_Bright en GiD, a través de simulaciones numéricas aplicadas a casos concretos de mecánica de suelos, entre los que se incluyen excavaciones, empuje de tierra, asentamientos y pilotes.

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo General**

Desarrollar una guía de aprendizaje del software geotécnico Code-Bright en entorno GID para desarrollar competencias asociadas al curso de Fundaciones I del Programa de Ingeniería Civil.

### **1.2 Objetivos Específicos**

- Producir simulaciones numéricas de casos típicos de problemas geotécnicos asociados a excavaciones, distribución de la presión lateral, asentamientos y pilotes.
- Elaborar documentos guía donde se detalle el proceso metodológico para construir las simulaciones numéricas y se detalle el análisis e interpretación de resultados.
- Elaborar recursos audiovisuales que permitan a los estudiantes del curso entender y utilizar de manera autónoma el software Code-Bright en entorno GID.

## **2. Marco de Referencia**

### **2.1 Aspectos relevantes del PEP del programa aplicables**

El PEP de ingeniería civil de la Universidad Industrial de Santander tiene como propósito brindar a los individuos la capacidad de unir habilidades analíticas, conocimiento teórico y herramientas tecnológicas para resolver los problemas concretos que enfrenta el campo ingenieril. Esta perspectiva se enmarca en el contexto de los modelos educativos enfocados en el estudiante, en los que el aprendizaje se construye mediante el uso activo del conocimiento científico y la formación en habilidades blandas (ABET, s. f.) (John & Catherine, 2011).

Desde una mirada más concreta para explicar la noción de aprendizaje significativo se indica que: El aprendizaje significativo promociona la adquisición de nuevos conocimientos si puede relacionar esa nueva información con estructuras cognitivas ya existentes y preexistentes para lograr una comprensión exhaustiva y duradera (Ausubel, 2002). En el ámbito de Fundaciones I, los procesos de integración se fortalecen por el uso de herramientas informáticas que permiten la visualización de comportamiento de suelos y comprender fenómenos con complejidades geotécnicas.

Como parte de esos alineamientos formativos, el trabajo de grado actual propone la creación y el diseño de recursos didácticos y herramientas pedagógicas para el uso del software geotécnico Code-Bright, en entorno GIS. De esta manera, se propone afianzar la relación entre la teoría y su implementación concreta a través de la simulación numérica. Por lo tanto, el modelo educativo centrado en el alumno también es beneficiado por la propuesta, ya que se promueve la participación, el aprendizaje autónomo y el desarrollo de habilidades tecnológicas pertinentes al ejercicio profesional del Ingeniero Civil (Felder, 2016).

## **2.2 Estrategias de enseñanza**

Las estrategias pedagógicas en el presente trabajo se encuentran inmersas en la propuesta del aprendizaje activo, pero soportadas por tecnologías digitales. Desde dicha perspectiva, se busca que el estudiante participe de forma activa en la construcción de conocimientos propios mediante el análisis, la indagación y la experimentación de los resultados que puedan ser generados a partir de simulaciones numéricas (Arenal Jorquera, 2012) (Crawley et al., 2014).

El uso de guías metodológicas y materiales audiovisuales son una buena oportunidad para mostrar los procedimientos complejos por parte de los autores en un desarrollo estructurado y progresivo, que definitivamente resultará en un mejor entendimiento de los procesos de modelado geotécnico. De acuerdo con Prince (2004), las metodologías tradicionales que se basan solamente en la exposición del maestro no son efectivas como el aprendizaje activo, que mejora considerablemente el entendimiento conceptual.

Por otra parte, incluso la combinación de explicaciones teóricas con ilustraciones visuales y gráficas resulta efectiva para varias maneras de aprender y mejora la secuencia de comprensión de conceptos técnicos en estudiantes de ingeniería (Felder, 2016). En este caso, con la ayuda de videos instructivos, los estudiantes pueden repetir y recuperar los contenidos una y otra vez, lo que promueve el proceso de aprendizaje independiente.

## **2.3 Metodologías de enseñanza**

La propuesta pedagógica está apoyada en el aprendizaje basado en problemas (ABP). Estas son metodologías en donde se fomenta la producción de nuevo conocimiento a través de la investigación y la solución de situaciones reales o simuladas (Savery, 2006). Esa visión permite

desarrollar habilidades de interpretación, razonamiento y juicio, aspectos claves en la formación de un ingeniero (Hmelo-Silver, 2004) .

Los estudiantes se exponen a situaciones que reflejan el entorno real de diseño, manejando simulaciones de situaciones comunes en la ingeniería de cimentación, incluidas excavaciones, asentamientos, presiones laterales en el suelo y pilas, lo que fortalece la práctica y la teoría.

#### **2.4 Evaluación del aprendizaje**

La evaluación del aprendizaje se rige por una perspectiva formativa, centrada en el progreso de las habilidades analíticas y técnicas (Tobón, 2013). En este sentido, más allá de evaluar únicamente los valores numéricos, se busca: poder discernir si el alumno fue capaz de interpretar el modelo geotécnico construido, descifrar cuáles son los valores numéricos que arroja, y establecer cuáles son las posturas teóricas con las que se relacionó.

Con la evaluación formativa es posible el seguimiento constante del proceso de aprendizaje a través de una retroalimentación, lo que impulsa un progreso sostenible en la calificación académica y el desarrollo del pensamiento crítico (John & Catherine, 2011).

Los recursos didácticos permiten la implementación de actividades de evaluación orientadas a resolver problemas y al análisis de resultados lo que, a su vez, fortalece la integración de conocimientos conceptuales, habilidades computacionales y aplicación a la práctica de la ingeniería geotécnica.

## **2.5 Articulación pedagógica con la propuesta metodológica**

Los principios pedagógicos expuestos evidencian que el aprendizaje en ingeniería demanda tácticas centradas en el estudiante apoyadas de metodologías activas, aprendizaje basado en problemas y lenguajes digitales que faciliten la materialización del saber para la resolución de problemas. Dichas concepciones permiten afianzar las habilidades tecnológicas, analíticas y profesionales, imprescindibles para comprender los fenómenos complejos en ingeniería geotécnica (Felder, 2016).

Según estos fundamentos, la propuesta de este trabajo de grado se sustenta en una metodología orientada al diseño y la creación de recursos didácticos. Concretamente, se consideraron simulaciones numéricas, guías metodológicas y soportes audiovisuales como recursos complementarios de promoción, respaldo y asesoría al proceso de enseñanza-aprendizaje del curso Fundamentos I. De esta manera, se concreta en una estrategia metodológica aplicada a las bases pedagógicas descritas con el fin de potencial el aprendizaje significativo a partir de la relación directa del estudiante con modelos computacionales y con los contextos analíticos inherentes al ejercicio profesional.

Con base a lo anterior, se describen los métodos aplicados para el diseño, desarrollo e implementación de las propuestas de recursos didácticos, así como las fases de construcción de las simulaciones numéricas y la producción de material educativo sobre el uso del software Code-Bright en entorno GID.

### **3. Metodología**

#### **3.1 Diseño metodológico del Proyecto de Aula**

El diseño metodológico del proyecto de aula responde a la creación de recursos didácticos aplicados a la facilitación del proceso de enseñanza-aprendizaje del curso de Fundaciones I del programa de formación de Ingeniería Civil. La estructuración metodológica parte de la organización secuencial de etapas entre las cuales se presentan el análisis académico del curso, la adquisición de herramientas informáticas, la creación de simulaciones numéricas y la elaboración de material educativo apuntado al aprendizaje independiente.

Así, el presente enfoque metodológico permitirá una articulación de los principios pedagógicos expuestos con anterioridad con una estrategia aplicada basada en el uso de tecnología digital y simulación numérica, para un aprendizaje explícito de los fenómenos geotécnicos por medio de experiencia de aprendizaje activo (Felder, 2016).

#### **3.2 Estructura metodológica del proyecto**

Para la realización del proyecto, se identificaron cuatro etapas principales, que permitieron llevar a cabo una organización gradual del diseño y la producción de recursos educativos. Cada etapa tiene un propósito específico que garantiza una relación coherente entre el contenido del curso, la integración con un software especial y el desarrollo del material educativo.

### **3.3 Fase 1. Revisión de contenidos del curso Fundaciones**

La primera fase se enfocó en el análisis académico del curso de Fundaciones I, con el fin de establecer los contenidos emergentes y las competencias formativas para el fortalecimiento en el uso de herramientas tecnológicas. Durante esta etapa se realizó:

- Consulta de guías bibliográficas, educativas y de uno u otro orden sobre los objetivos de la disciplina.
- Identificación de ideas fundamentales con respecto a la asignatura Fundaciones I.
- Selección de problemas geotécnicos que caractericen el curso.

En resumen, este análisis definió también los casos base de estudio: las excavaciones, las presiones laterales ejercidas por el suelo, el asentamiento de bases de cimentación y las cimentaciones geotécnicas de gran profundidad. Por lo tanto, esta etapa permitió que los recursos desarrollados cumplan directamente con la necesidad académica del curso y estén alineados con el resultado de aprendizaje previsto.

### **3.4 Fase 2. Aprendizaje del software Code-Bright en entorno GiD**

La segunda etapa consistió en técnicas de “Code-Bright” en contorno GiD. Code-bright es una herramienta utilizada para simular problemas geotécnicos mediante el método de elementos finitos. El aprendizaje del programa se realizó mediante:

- Lectura del material técnico entregado por el profesor.
- Visualización de videos referidos al funcionamiento del software.
- Explorar el ambiente de preproceso, proceso y postproceso.

En esta fase se posibilitó comprender la estructura operativa del programa, así como determinar los métodos necesarios para edificar modelos numéricos viables en el ámbito de cuestiones de ingeniería de cimentaciones.

### **3.5 Fase 3. Desarrollo de simulaciones numéricas**

En la tercera fase se realizaron las simulaciones geotécnicas pertinentes a esta fase, se utilizaron técnicas de modelación numérica y análisis geomecánico. Las actividades más importantes de esta fase son las siguientes:

- Determinar las geometrías y las condiciones de contorno
- Asignación de propiedades mecánicas e hidráulicas de los materiales.
- Elección de modelos constitutivos del terreno.
- Realización de simulaciones a través de elementos finitos.

Finalmente, se hicieron las representaciones graficas de los factores antes mencionados para el análisis e interpretación los cuáles son:

- Distribución de esfuerzos.
- Deformaciones del terreno.
- Desplazamientos producidos por las condiciones de carga.

Este paso logró, que los temas vistos en el curso pasaran de la teoría para situarnos en situaciones simuladas que permiten de manera más clara observar el comportamiento de un suelo.

### 3.6 Fase 4. Elaboración del material didáctico

Finalmente, la última fase incluyó la generación de los recursos educativos que están diseñados para promover el entendimiento de las simulaciones creadas y el aprendizaje del software. Como resultado, se han producido los siguientes materiales:

- Documentación donde se presentan procedimientos detallados para la creación de modelos numéricos.

- Material visual que se basa en imágenes de simulaciones.

- Recursos audiovisuales que explican el procedimiento de modelar y analizar resultados.

El material se diseñó conforme a la teoría de aprendizaje multimedia, que establece que la combinación de información visual y verbal da lugar a una mejor comprensión de los métodos y conceptos técnicos (Mayer, 2009).

Los recursos didácticos elaborados constituyen un repositorio académico cuyo propósito será respaldar el proceso de enseñanza y aprendizaje del curso Fundaciones I. Dichos materiales didácticos fueron elaborados para que luego el docente a cargo pueda incluirlos en las estrategias pedagógicas del curso, en correspondencia con los contenidos académicos y las metas educativas previstas por el programa. Por lo tanto, la labor actual consiste en elaborar y diseñar el material educativo en términos de desarrollo y estructura didáctica. Su aplicación en cuanto a su uso efectivo en la institución docente se deja para una etapa posterior al trabajo académico.

## 4. Desarrollo de la Experiencia Docente

### 4.1 Actividades realizadas

Durante la experiencia en docente, se han hecho y se han creado ejercicios prácticos con el fin de comprender la modelación de problemas geotécnicos modelado a través del software Code-Bright en el kit de herramientas del GID. Todos ellos se estructuraron con un tutorial orientado sobre ellos, que incluía simulaciones numéricas sobre los problemas comunes del curso Fundaciones I, además de sus respectivas diapositivas explicativas y material audiovisual.

La Tabla 1 proporciona un resumen general de los ejercicios efectuados, indicando el tipo de análisis realizado y la finalidad en general de los modelos numéricos.

**Tabla 1**

*Orden de los Modelos Realizados.*

Nº	Ejercicio/Tutorial	Contenido
1	Modelo Geoestático	Construcción de modelo bidimensional con dos tipos de materiales(suelos), condiciones de contorno y cálculo de esfuerzos bajo condiciones geoestáticas.
2	Modelo con Carga Superficial	Reajuste del modelo geoestático, con las mismas condiciones de contorno y los materiales, pero bajo la acción de una carga.
3	Modelo Hidro-Mecánico	Continuación de los modelos anteriores, esta vez agregando flujo de agua y permeabilidad.
4	Modelo de Excavación Hidro-Mecánico	Construcción del modelo, asignación de condiciones de contorno, materiales y evaluación de la distribución de esfuerzos cerca a la pantalla.
5	Modelo de Idealización de Zapata 3D Hidro-Mecánico	Construcción de modelo idealizado en 3D, con material, condiciones de contorno, bajo acción de carga y flujo, evaluando los asentamientos.
6	Modelo de Pilote Hidro-Mecánico	Idealización del modelo, asignación de los materiales, condiciones de contorno, flujo, carga, cálculo de los esfuerzos y asentamientos.

La secuencia de la metodología permite entender cómo el comportamiento del suelo evoluciona bajo varias condiciones mecánicas, además de cómo la respuesta es influenciada por las cargas estructurales y el flujo de agua.

## 4.2 Simulación del estado de esfuerzos geostático sin presión de agua.

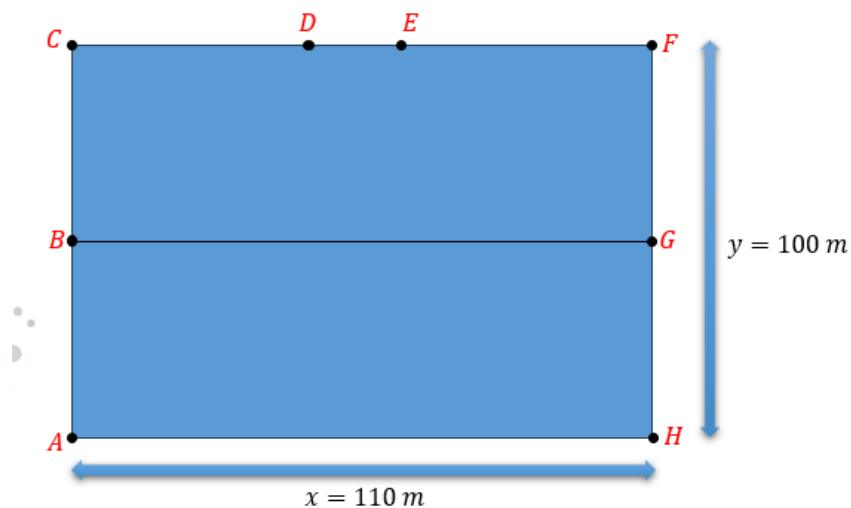
### 4.2.1 Geometría del modelo

El modelo geostático se generó para identificar la existencia inicial de los esfuerzos en el suelo, que es fundamental para su posterior análisis. Esto representa un equilibrio de los elementos del terreno por efecto gravitacional en un estado de deformación plana.

La tarea de cálculo se describió con la ayuda de una geometría 2D de 110 m en la horizontal y 100 m en la profundidad (Sus respectivas propiedades mecánicas), que incluía dos tipos de suelos Sus respectivas propiedades mecánicas

#### Figura 1

*Geometría del Modelo Geoestático.*



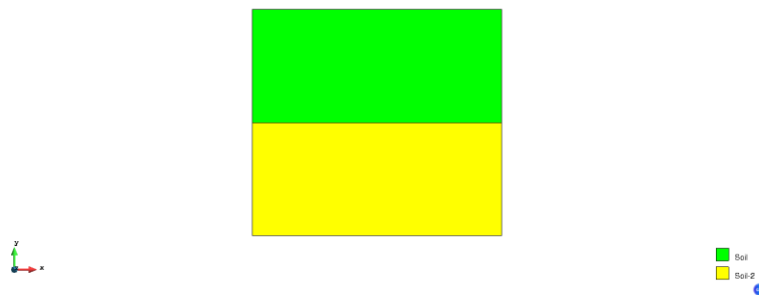
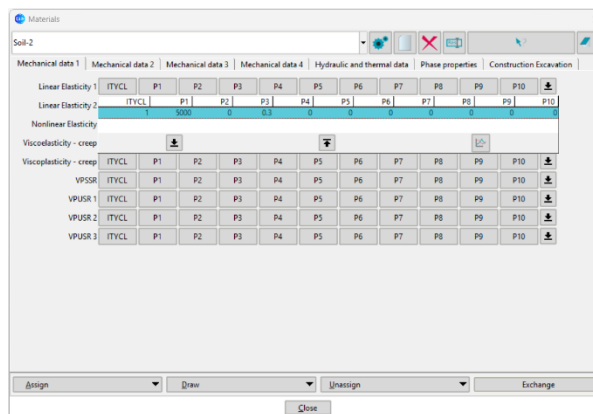
La geometría del suelo se muestra a través de la separación de las capas que se tienen en cuenta en el análisis.

### 4.2.2 Asignación de propiedades del material

Para representar su comportamiento deformacional en el medio continuo, se otorgaron propiedades a cada material (Figura 2). En este caso, se asume que el comportamiento de las capas de suelo es elástico lineal. Por tanto, sólo se requieren dos constantes para definir completamente su comportamiento mecánico.

**Figura 2**

*Materiales en el Modelo Geoestático.*



Se observa la distinción entre los estratos y su localización dentro del dominio.

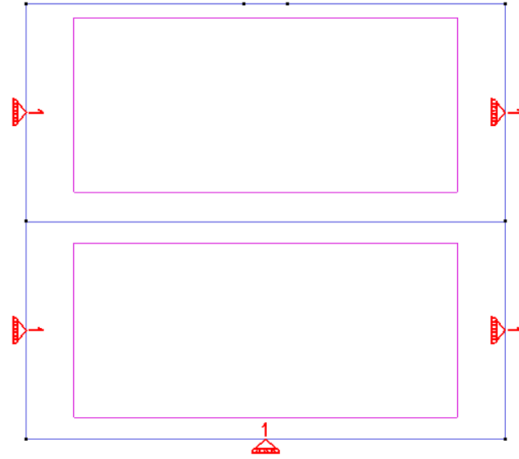
### 4.2.3 Condiciones de contorno

Se establecieron las condiciones de frontera (Figura 3) para simular la restricción del suelo, controlando los desplazamientos en la base del modelo y restringiendo el movimiento lateralmente, al mismo tiempo que la parte superior se mantuvo sin restricciones. Se introdujo un

valor de porosidad inicial en cada estrato de suelo (0.30 para el estrato superior y 0.24 para el estrato inferior), como se muestra en la Figura 4.

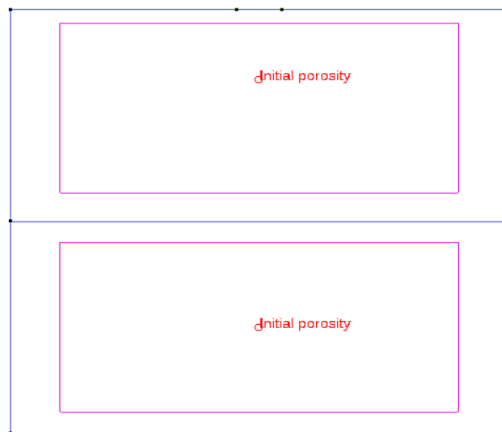
**Figura 3**

*Condición de Frontera.*



**Figura 4**

*Condición de Porosidad.*



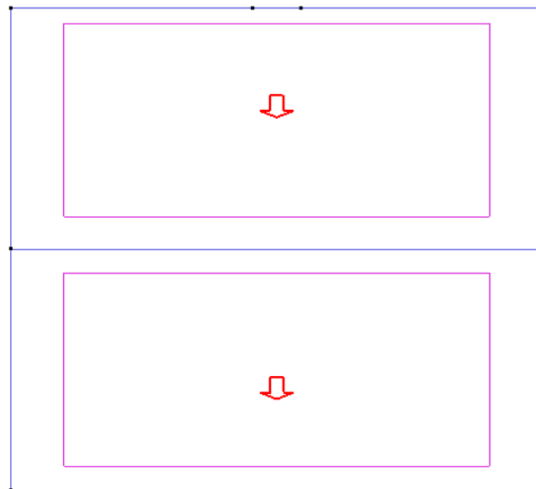
Se muestran las restricciones aplicadas y porosidad inicial que ayudan a garantizar la estabilidad del sistema.

#### 4.2.4 Aplicación de condiciones iniciales

Desde el punto de vista de los esfuerzos, el estado inicial se caracteriza por tener esfuerzos iguales y uniformes en todas las direcciones principales ( $-0.1$  Mpa en las tres direcciones), lo que refleja una situación de compresión inicial en el terreno. A partir de estas condiciones se efectúa un análisis numérico para determinar la estabilidad del sistema (ver Figura 5).

#### Figura 5

*Distribución de esfuerzos.*



Estas condiciones permiten simular la distribución natural de esfuerzos antes de cualquier intervención.

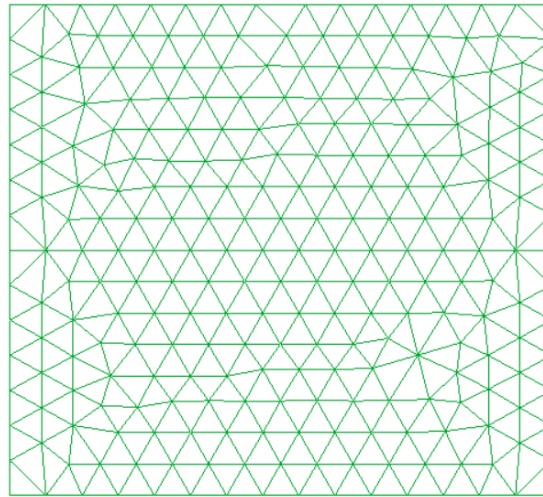
#### 4.2.5 Mallado del modelo

Se discretizó el dominio utilizando elementos finitos para asegurar una representación adecuada del comportamiento del suelo (Figura 6). Se utilizó un mallado uniforme, que fue

suficiente para describir la distribución de esfuerzos dentro del modelo. Se establece un intervalo de tiempo para el proceso de cálculo. Por facilidad, este intervalo puede iniciar desde un valor negativo de tiempo hasta cero. De manera que después se puedan estudiar fenómenos de cargas externas o flujo.

**Figura****6**

*Mallado del Modelo.*



Se observa la discretización del dominio empleada para el análisis numérico.

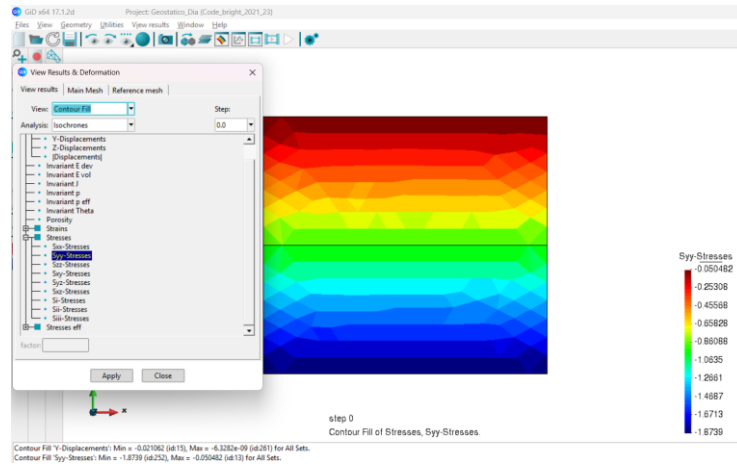
**4.2.6 Resultados y análisis**

Los resultados obtenidos muestran que la distribución de los esfuerzos obtenidos es consistente con el concepto de esfuerzos geoestático (ver Figura 7). El estado geoestático se caracteriza por un aumento en los valores de esfuerzo con la profundidad debido a la acción gravitacional del material adyacente, lo que define el comportamiento del suelo cuando se encuentra en condiciones de equilibrio.

**Figura**

7

*Distribución de esfuerzos del Modelo Geoestático.*

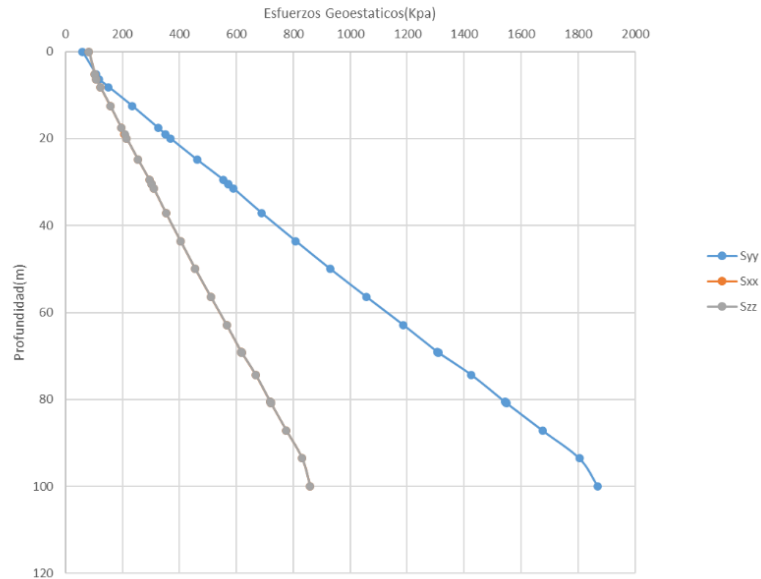


Se evidencia el incremento de esfuerzos con la profundidad como resultado del peso propio del suelo.

En el modelo geoestático se analizó la variación de los esfuerzos verticales y horizontales en función de la profundidad, con el fin de verificar el comportamiento del suelo bajo su propio peso. Se observa que los esfuerzos verticales (la línea de color azul) son mayores mediante aumenta la profundidad que los esfuerzos horizontales (la línea naranja y gris). Los esfuerzos horizontales son iguales en todo momento (Figura 8).

**Figura 8**

*Esfuerzos Verticales del Modelo Geoestático.*



El esfuerzo vertical aumenta a medida que aumenta su profundidad. Esto está de acuerdo con el comportamiento previsto del suelo debido al material suprayacente cada vez más cargado. Por lo tanto, el modelo proporciona validación del estado geostático definido correctamente.

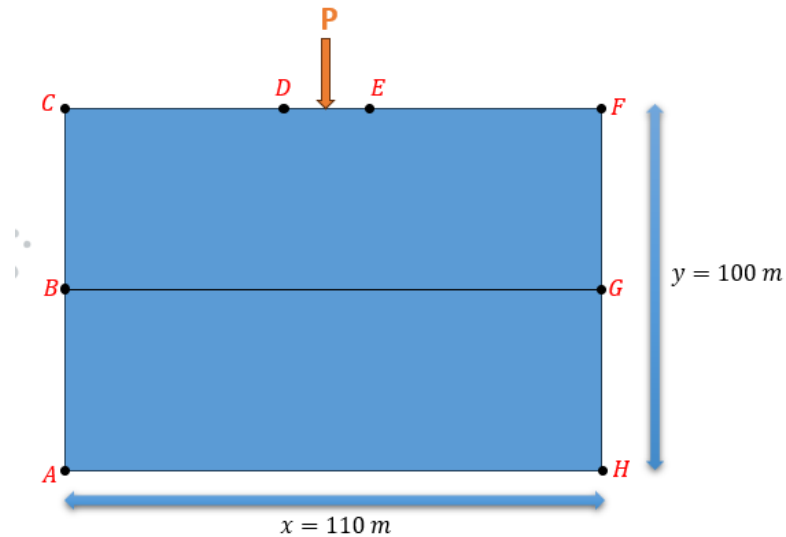
### **4.3 Simulación del Estado de Esfuerzos Mecánico con Carga Superficial sin presión de agua.**

#### **4.3.1 Descripción y geometría del problema**

Se ha desarrollado el modelo mecánico desde el estado geostático original y se ha añadido una carga en la superficie (ver Figura 9), el cual se utiliza para estudiar la respuesta del terreno a una sollicitud externa. La geometría del modelo es la misma que en el caso del estudio geostático, que es imprescindible para que el análisis sea coherente y se pueda comparar los resultados producidos por la carga.

**Figura 9**

*Geometría del modelo mecánico.*



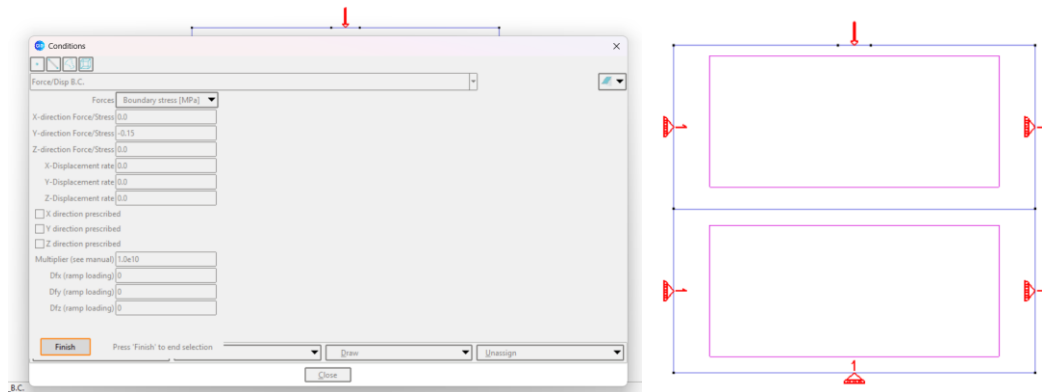
Se muestra la geometría del terreno donde se aplica la carga superficial.

**4.3.2 Aplicación de un esfuerzo de contacto en superficie**

La carga fue definida como una presión distribuida aplicada en la superficie del terreno (de -0.15 Mpa), la cual en consecuencia permitía analizar el comportamiento del suelo al cargarse (Figura 10).

**Figura 10**

*Aplicación de carga superficial.*



Se muestra la ubicación y magnitud de la carga aplicada sobre el modelo.

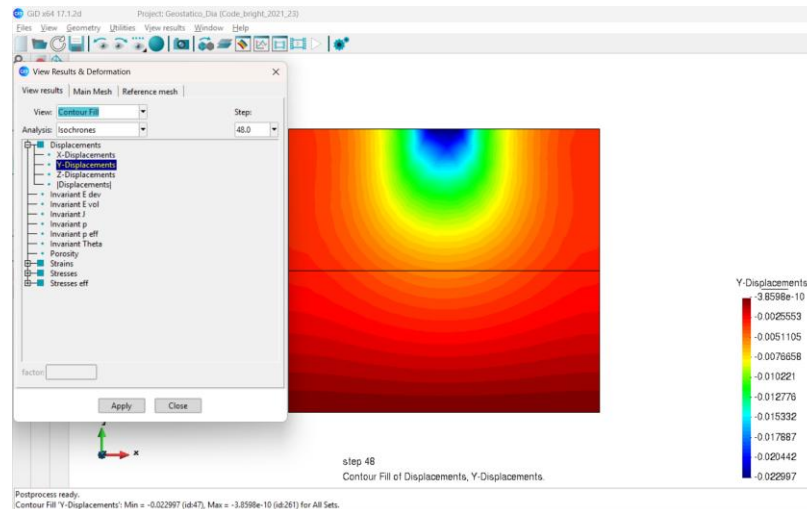
Las condiciones de contorno fueron las mismas que en el modelo geoestático, asegurando que el sistema es estable en todos los momentos del análisis. El análisis se realizó teniendo en cuenta un nuevo intervalo de tiempo entre 0h y 48h, así fue posible ver la evolución de las deformaciones en el terreno. La malla también fue creada con elementos finitos, manteniendo la calidad adecuada para asegurar que los resultados sean buenos.

#### 4.3.3 Resultados y análisis

Los resultados evidencian que existen desplazamientos verticales generados en el área de aplicación de la carga, lo que demuestra un comportamiento deformacional del suelo (ver Figura 11). También se pueden observar esfuerzos concentrados debajo de la carga, que se inclinan hacia el interior del terreno a un ritmo cada vez mayor cuanto más profundos (ver Figura 12).

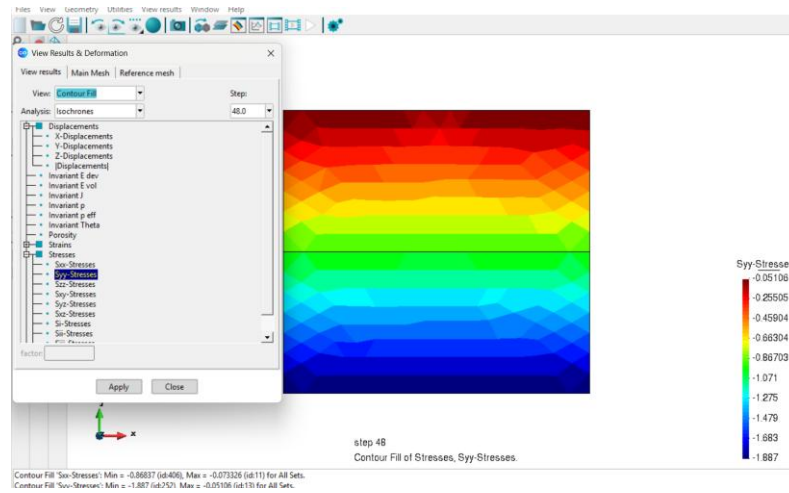
**Figura 11**

*Desplazamientos Verticales del Modelo Mecánico.*



**Figura 12**

*Estado final de esfuerzos del Modelo Mecánico.*

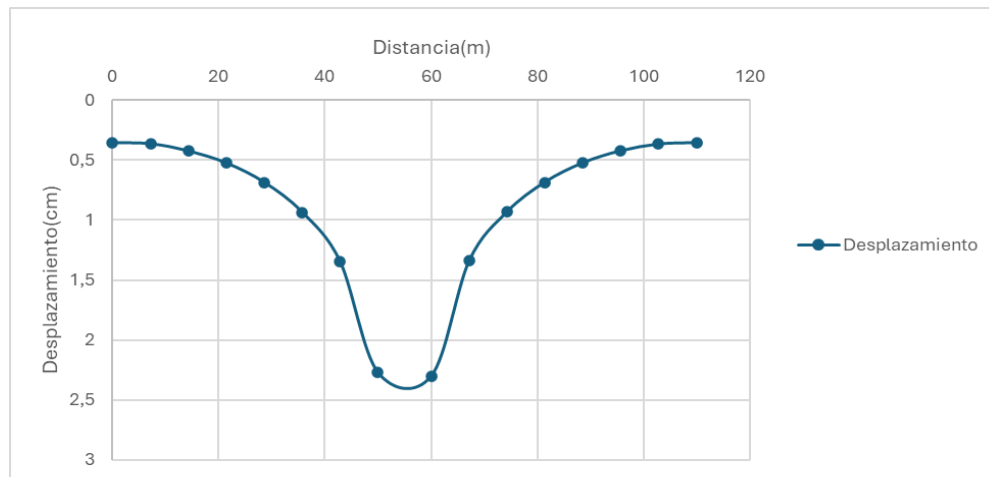


Se evidencia el incremento de esfuerzos y los desplazamientos con la profundidad como resultado del peso propio del suelo.

Los asentamientos y la redistribución de los esfuerzos causados por la carga aplicada fueron evidentes. Para el modelo mecánico, se midió la variación de los desplazamientos verticales en función de la distancia desde la línea de carga.

**Figura 13**

*Desplazamientos generados por la carga.*



Es importante destacar la gráfica de desplazamientos que se obtiene del modelo mecánico (Figura 13). Por supuesto, la densidad de los asentamientos es mayor en las áreas directamente afectadas por la carga y disminuye hacia las periferias del suelo. En realidad, tal conducta refleja la manera en que los esfuerzos se disipan en el terreno.

#### 4.4 Simulación del Estado de Esfuerzos Hidro-Mecánico

##### 4.4.1 Descripción y propiedades del problema

El propósito del modelo hidro-mecánico es examinar la relación entre el flujo de agua en el suelo saturado y el componente mecánico. Gracias a las cualidades del modelo, es posible evaluar el efecto de la presión de poros en la respuesta del suelo. Debido a la necesidad de crear una comparación constante entre las instancias y garantizar la continuidad del análisis, se dejó igual geometría.

Sin embargo, este modelo incluye propiedades hidráulicas adicionales que permiten simular el flujo de agua en el medio poroso y la interacción con la presión de poro y la permeabilidad intrínseca (valores de  $5.1 \times 10^{-10} \text{ M}^2$  para el primer intervalo y  $5.1 \times 10^{-18} \text{ M}^2$  al último intervalo de tiempo).

**Figura 14**

*Propiedades Hidro-Mecánica del modelo.*

	ITVCL	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Retention Curve	ITVCL	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Retention Curve 2	ITVCL	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Intrinsic Permeability	ITVCL	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Liquid Phase Relative Permeability	1	$5.1 \times 10^{-10}$	$5.1 \times 10^{-10}$	$5.1 \times 10^{-10}$	$5.1 \times 10^{-18}$	0	0	0	0	0	0
Gas Phase Relative Permeability	1	$5.1 \times 10^{-18}$	$5.1 \times 10^{-18}$	$5.1 \times 10^{-18}$	$5.1 \times 10^{-18}$	0	0	0	0	0	0
Diffusive Flux of Vapour	ITVCL	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Diffusive Flux of Dissolved	ITVCL	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Dispersive Flux of Mass and Energy	ITVCL	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Conductive Flux of Heat 1	ITVCL	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Conductive Flux of Heat 2	ITVCL	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10

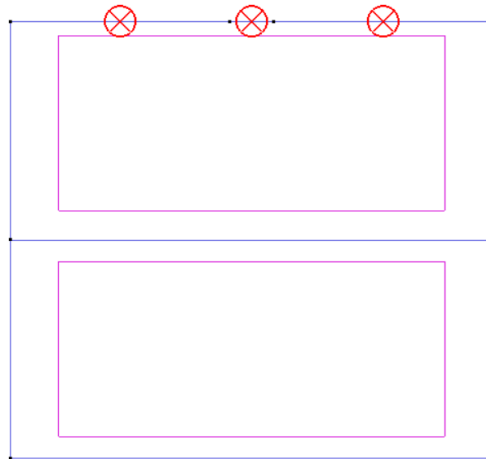
Se muestra la inclusión de parámetros hidráulicos para el análisis acoplado (Ver Figura 14).

#### 4.4.2 Incorporación del flujo de agua

Las condiciones de contorno fueron definidas considerando el comportamiento hidráulico y mecánico del sistema, lo que permitió que los fluidos circularan y se generaran presiones internas. A su vez, el modelo se discretizó utilizando elementos finitos, de modo que se garantizara una representación adecuada del comportamiento acoplado del flujo (entonces  $g = 1e-5$ ).

#### Figura 15

*Condición de Flujo.*



Se muestra el flujo libre en la superficie del modelo lo que permite sin ninguna restricción por todo el terreno (Figura 15).

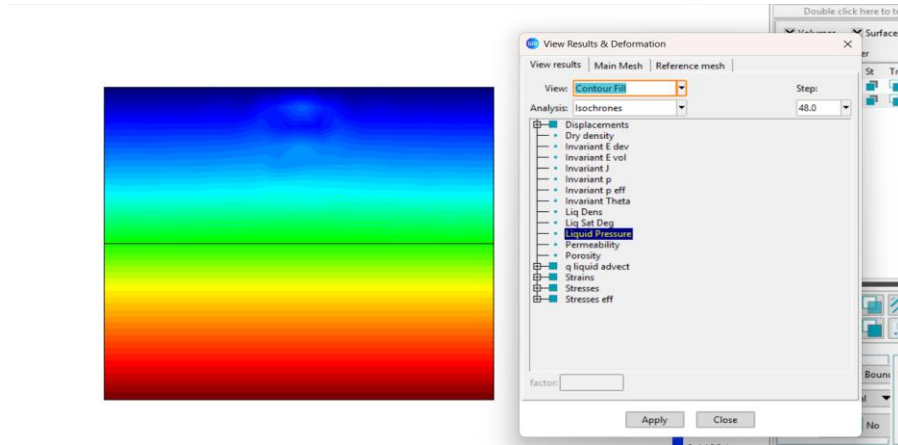
#### 4.4.3 Resultados y análisis

Los resultados obtenidos demuestran que hay una variación de la presión de líquido en el suelo debido a la formación de poros y, por lo tanto, directamente en la forma en que se redistribuyen los esfuerzos efectivos como se muestra en la Figura 16 . La descripción del

comportamiento de este tipo permite explicar los fenómenos que rodean este proceso: la disipación de presiones y su impacto en la estabilidad del terreno.

**Figura 16**

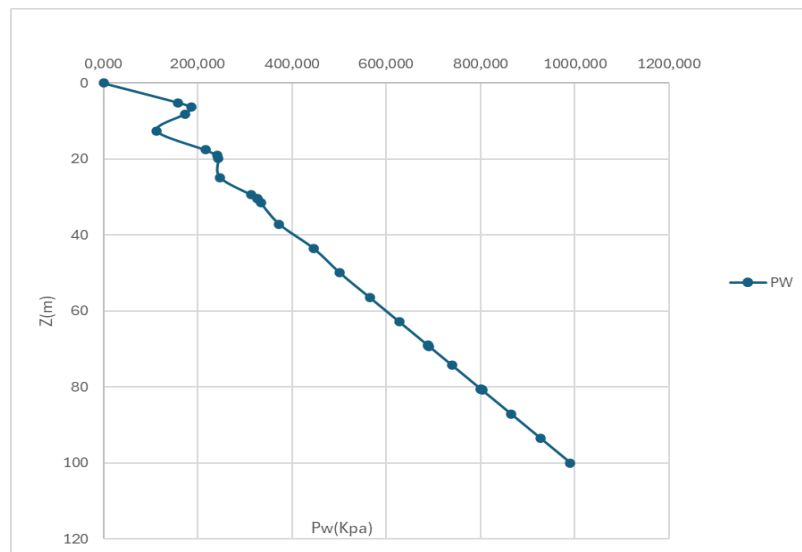
*Distribución de presión de agua.*



Este comportamiento refleja el cambio de la presión interna del fluido contenido en el suelo. En el modelo hidro-mecánico, se investigó la variación de la presión de poros de acuerdo con la profundidad con el propósito de observar como actúan.

**Figura 17**

*Presión de agua.*



Una variación temporal de la presión de poros se puede observar, lo que afecta directamente los esfuerzos efectivos del suelo. Este comportamiento es vital para la comprensión de los fenómenos de consolidación (Ver Figura 17).

## **4.5 Simulación de Estado de Esfuerzos para el Modelo de Excavación**

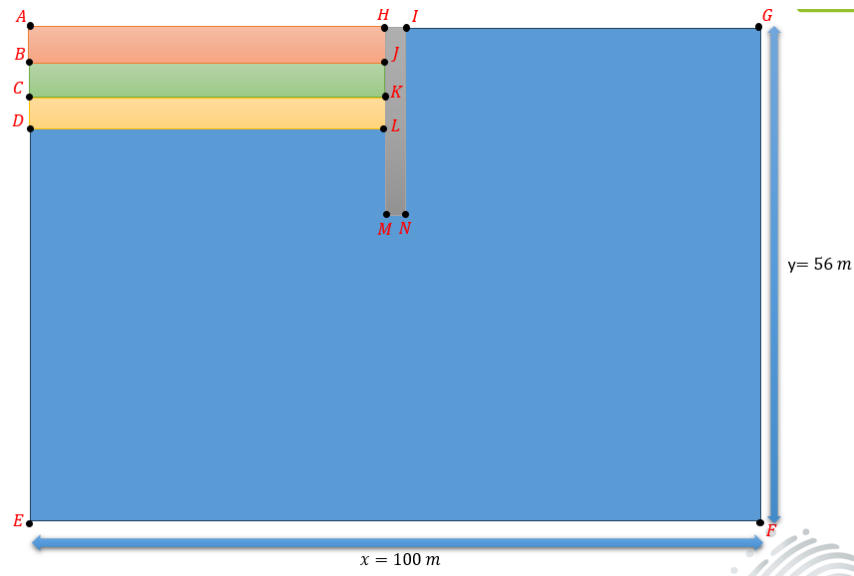
### ***4.5.1 Geometría del modelo***

Con el fin de analizar cómo el subsuelo reacciona a una excavación, es decir, observar la distribución de esfuerzos y las deformaciones causadas por la remoción de material, se planteó el modelo de excavación. Se utilizó un modelo inicial en estado geoestático, es decir, antes de cualquier tipo de actuación sobre el terreno.

El modelo del dominio bidimensional esquematiza la delimitación de la zona de excavación para la definición de la geometría del problema (Figura 18). Este modelo, consta de varios tipos de suelo y posibilita reflejar los cambios de la capacidad de transmisión de esfuerzos y comportamientos mecánicos del terreno.

**Figura 18**

*Geometría del modelo de excavación.*



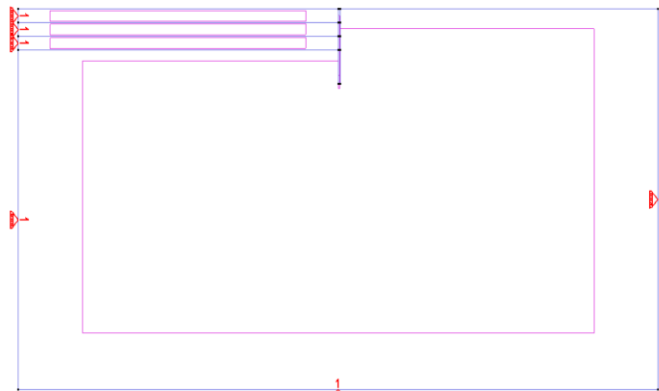
Se muestra la delimitación de la zona excavada dentro del dominio del suelo.

**4.5.2 Condiciones de contorno**

Las condiciones de contorno se definieron de manera análoga al modelo geostático; de esta manera, el sistema asegura la estabilidad y previene cualquier movimiento imposible en la realidad (Figura 19). También se permite el flujo (con  $g=1e-5$ ) libre en superficie para garantizar la simulación mas acorde con la realidad.

**Figura 19**

*Condiciones de borde.*



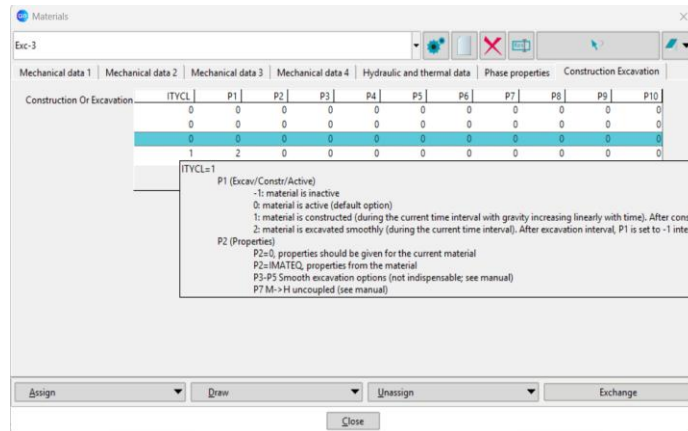
Se muestra la delimitación de la zona excavada dentro del dominio del suelo.

#### 4.5.3 Propiedades de la excavación

El proceso de la excavación fue modelado con el análisis por etapas, con intervalos de tiempo: condición inicial de (-365,0) días, excavación del primer material de (0,10) días, excavación del segundo entre (10,20) días y la excavación del último material de (20,30) días; se generaron otros dos últimos de (30,90) días y (90,365) días intervalos, lo cual mejorará el análisis a largo plazo de como la distribución de los esfuerzos actúan con la zona excavada. El módulo de elasticidad que se ingresa en Mpa y la relación de Poisson que es adimensional (Figura 21).

**Figura 20**

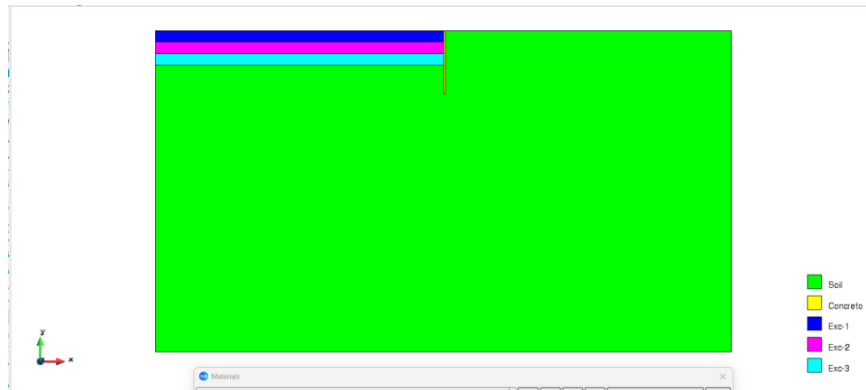
*Propiedades de excavación.*



Se representa la remoción del material y la modificación de las condiciones del sistema (Ver Figura 20).

**Figura 21**

*Materiales del Modelo.*



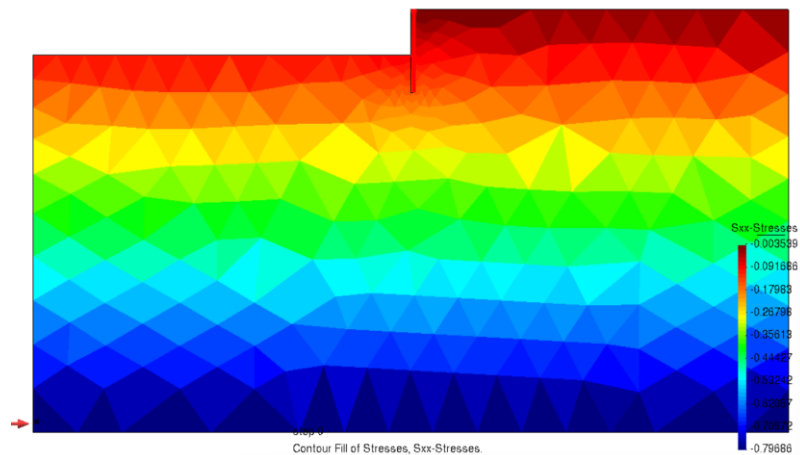
La geometría muestra los materiales aplicados en el modelo.

#### **4.5.4 Resultados y análisis**

Con este proceso se logra reproducir adecuadamente el proceso de construcción real, donde la eliminación del suelo implica una alteración progresiva del equilibrio. Los resultados reflejan la presión de los líquidos y una redistribución de los esfuerzos en los estratos cercanos debido a la pérdida del confinamiento lateral.

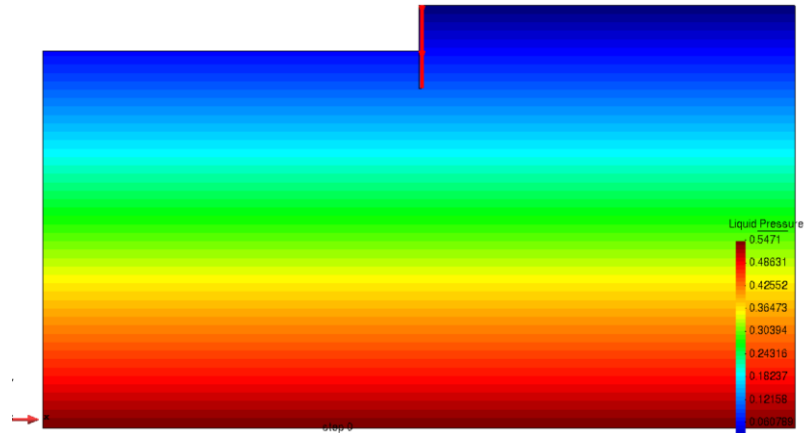
**Figura 22**

*Resultados de los Esfuerzos Horizontales.*



**Figura 23**

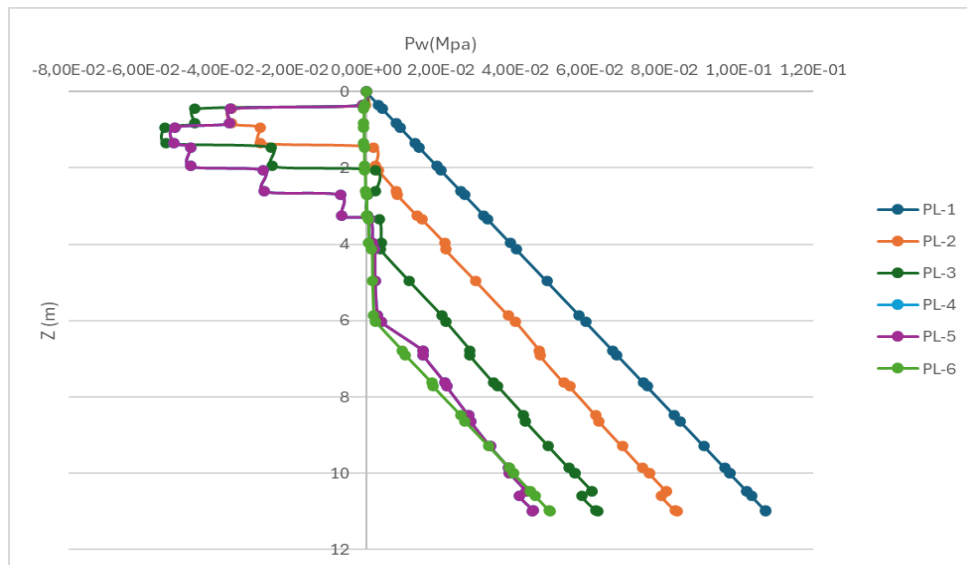
*Resultados de la Presión de Líquidos.*



En la Figura 22 y Figura 23 se puede ver cómo cambia la presión de líquidos en el terreno y la redistribución de esfuerzos tras la remoción del material. Para el modelo de excavación se analiza la variación de presión de líquidos y esfuerzos en función de la profundidad en la zona cercana a la excavación.

**Figura 24**

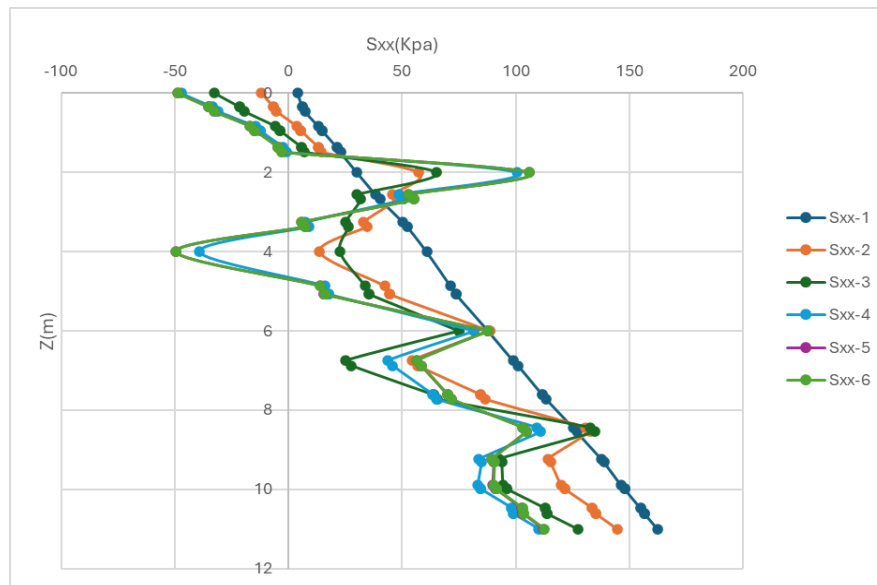
*Presión de Líquidos Modelo de Excavación.*



En resumen, los resultados muestran evidencia de que los procesos de excavación inducen una redistribución de las presiones de poros que afecta directamente el estado de esfuerzos efectivos del suelo. Asimismo, el detalle de los esfuerzos con profundidad es altamente importante para este análisis muy completo (Ver Figura 24).

**Figura 25**

*Esfuerzos Horizontales del Modelo de excavación.*



Los datos obtenidos demuestran que la excavación conduce a una disminución y redistribución de las demandas horizontales, lo cual puede afectar directamente la estabilidad del suelo y el surgimiento de deformaciones laterales (Ver Figura 25).

## 4.6 Simulación de Modelo Tridimensional (Zapata 3D)

### 4.6.1 Geometría del modelo

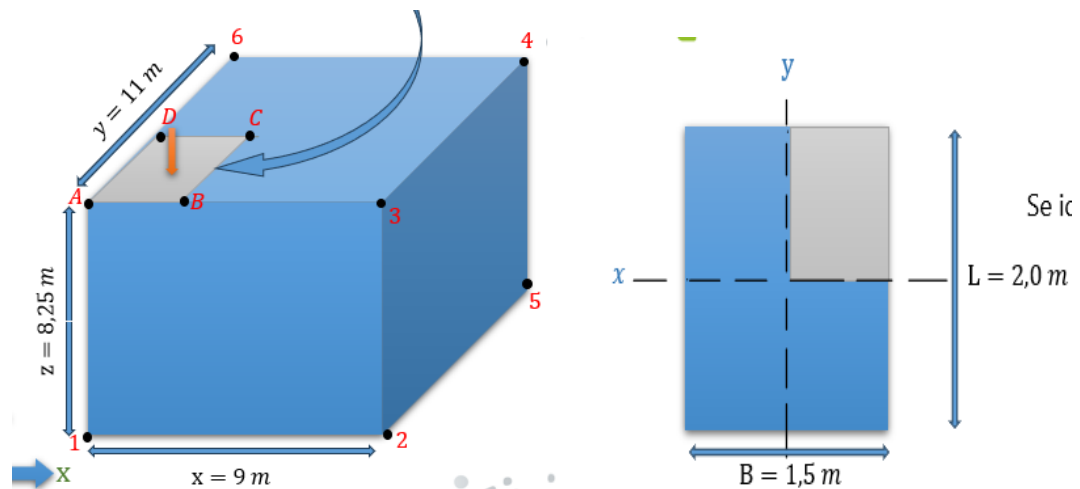
El modelo tridimensional ha sido desarrollado con el fin de analizar el comportamiento de los esfuerzos y deformaciones generados a raíz de una superestructura cargando el terreno, considerando la dirección en las tres dimensiones del espacio. En este sentido, la simetría del

problema permitió modelar únicamente uno de los hemisferios. De esta manera, es posible definir comportamientos adecuados del sistema y reducir el tiempo de cómputo sin recurrir a la falta de información acerca del dominio.

La descripción geométrica del modelo fue obtenida al definir un dominio de volumen sólido correspondiente con el suelo de fundación y utilizando la superficie interna para establecer la zona de aplicación de carga de la zapata. La Figura 26 muestra la geometría. Posteriormente, al modelo de análisis se les asignaron propiedades representativas del comportamiento mecánico del suelo según su capacidad de deformación y respuesta al aplicar fuerzas externas y a su interacción con el flujo de agua de  $1e-5$  (Ver Figura 28), en el caso de un análisis acoplado.

**Figura 26**

*Geometría del modelo tridimensional de la zapata.*



Se muestra el dominio del suelo y la zona de aplicación de carga correspondiente a la cimentación superficial.

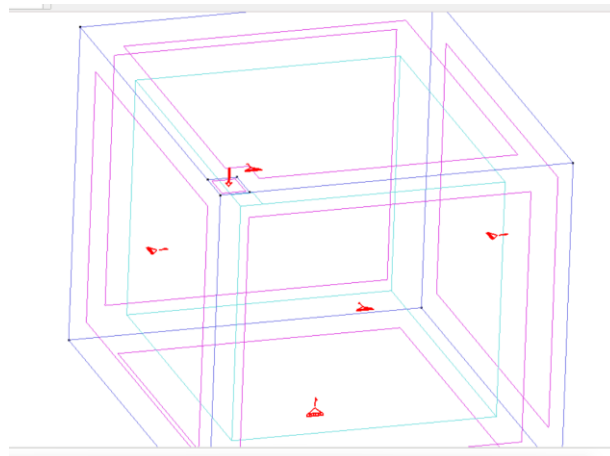
#### 4.6.2 Condiciones de Contorno

Así, las condiciones de contorno se crearon para imitar, por un lado, lo que se consideró la restricción natural del terreno, limitando los movimientos normales en planos de simetría y

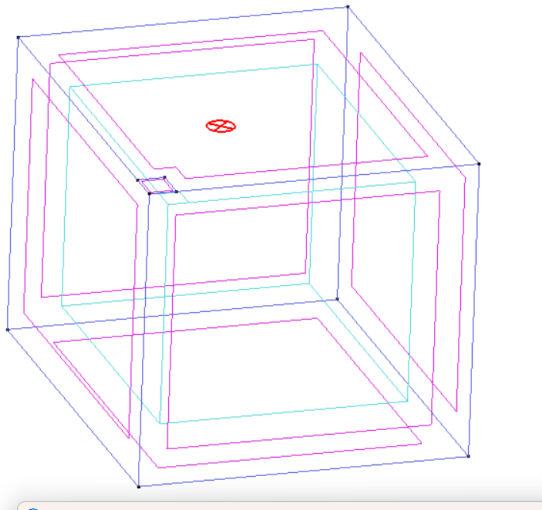
restringiendo los desplazamientos en la base y, por otro, la relación que desarrolla los asentamientos y evolución de la presión poros, dejando la superficie objetivo sin el apoyo. A continuación, se aplicó una carga de superficie de 100Kpa sobre la zapata, que se varió temporalmente de modo que la respuesta del suelo a las condiciones transitorias pueda analizarse (Figura 27).

**Figura 27**

*Aplicación de carga sobre la zapata.*

**Figura 28**

*Flujo libre en Superficie.*



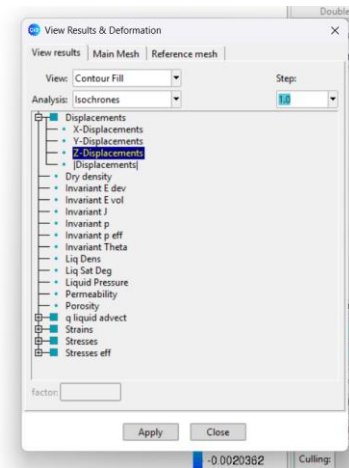
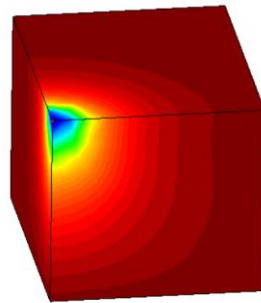
Distribución de la carga superficial y flujo de agua empleada para el análisis de asentamientos en el modelo tridimensional.

#### 4.6.3 Resultados y análisis

Con base en los resultados adquiridos (Figura 29), se pudo analizar la variación de los desplazamientos con respecto al tiempo, cuando se aplica la carga en el punto analizado y se encontró que aumenta progresivamente. Este patrón se debe al esquema de respuesta de un suelo sometido a cargas externas, que depende de fenómenos transitorios, en muchas ocasiones, y la forma en que se disipa la presión de poros, la cual, directamente afecta el módulo del volumen de los asentamientos.

**Figura 29**

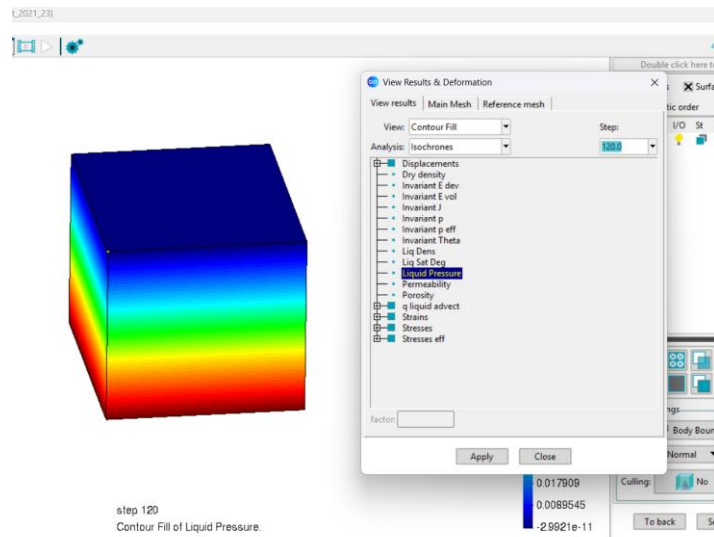
*Evolución de desplazamientos en el punto de análisis.*



Por lo tanto, es posible ver la concentración de deformaciones debajo del área de carga y la posterior disipación a lo largo de tiempo. La presión de Líquidos también es un tema relevante para ser analizado en el entorno geotécnico.

**Figura 30**

*Evolución de la Presión de líquido en el punto de análisis.*

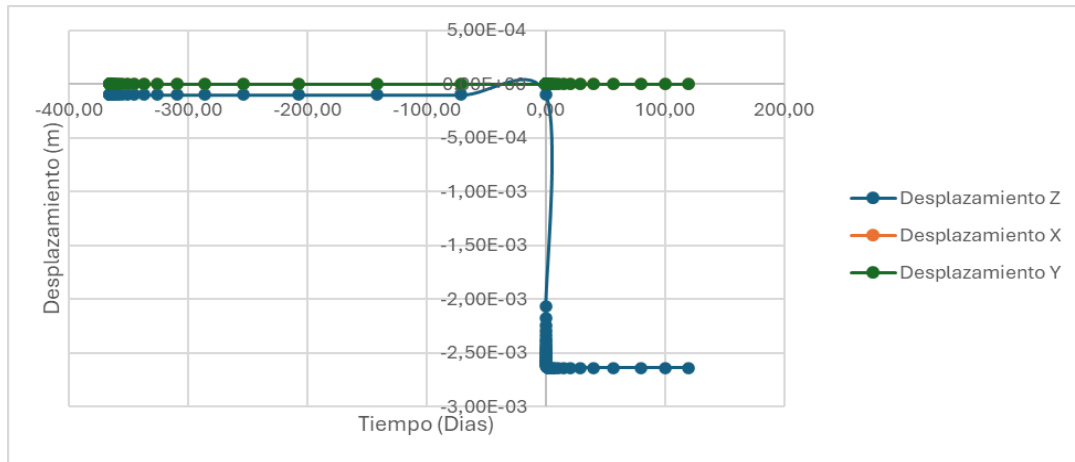


En el modelo tridimensional, los resultados de la presión del líquido siguen la misma distribución, que es coherente con el comportamiento esperado en el suelo bajo la condición de carga superficial. Por lo tanto, la presión del poro aumenta proporcionalmente a la profundidad, lo que se puede ver en la forma de un gradiente hidrostático suave (Ver Figura 30).

Todos los resultados del punto de interés fueron extraídos, lo que permitió determinar la dinámica de los desplazamientos y la relación entre ellos y el tiempo.

**Figura 31**

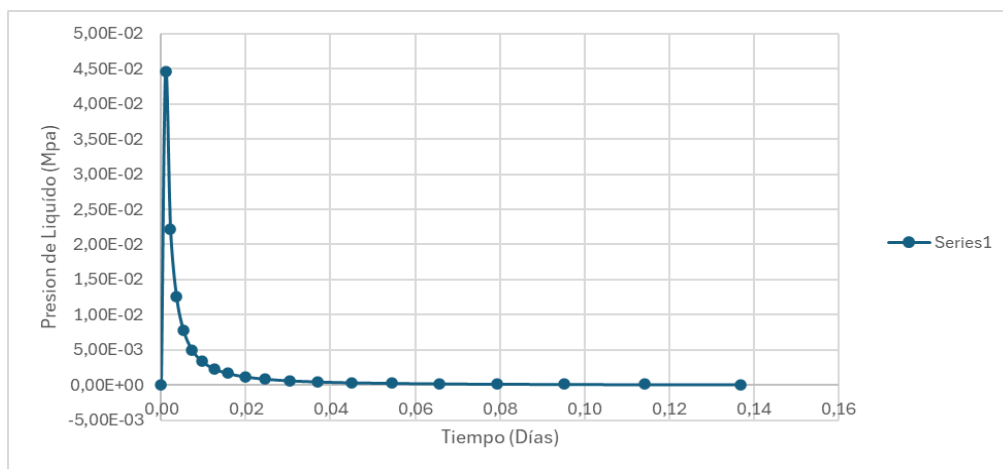
*Distribución del Desplazamiento con el tiempo.*



con base a los resultados, demuestran que el punto analizado presenta un comportamiento de asentamiento común. La deformación principal ocurre en la dirección vertical, ya que se desarrolla debido a la carga aplicada y la demanda de hundimiento por parte del suelo con el tiempo, lo que confirma la idoneidad del enfoque de modelado 3D seleccionado (Figura 31). Esta afirmación es congruente con la deformación esperada de un suelo cuando se utiliza una carga superficial. También se observó la presión de líquidos con el tiempo.

**Figura 32**

*Distribución de la Presión de Líquidos.*



Se puede ver claramente que la presión de líquidos en el punto analizado muestra un ligero incremento en el momento de aplicación de la carga, representada por un brusco pico en el gráfico (ver Figura 32). Esto sugiere que la presión de poros se generó instantáneamente como respuesta del suelo a su carga.

## **4.7 Simulación del Modelado de Pilote**

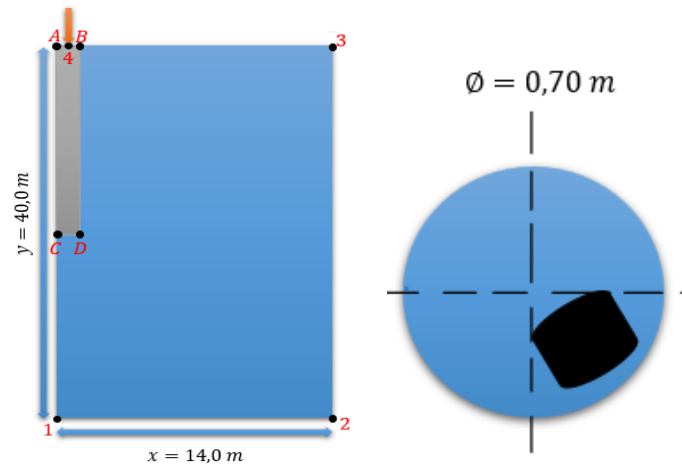
### **4.7.1 Geometría del modelo**

El modelo de pilote se formuló con el objetivo de analizar una interacción entre el suelo y el cuerpo estructural sometido a carga, y se consideraron tanto los esfuerzos transferidos, como la influencia de la dinámica del agua en la estructura.

En relación con el último factor, es esencial destacar que la geometría del modelo comprendía un dominio de suelo que contenía un cuerpo vertical que funcionaba como pilote (Figura 33). Cabe destacar que los dos materiales presentan propiedades de comportamiento distintas con unos intervalos de tiempo, el primero es un intervalo hidrostático, cuando los esfuerzos son gravitacionales y el otro al momento de colocar la carga puntual. Como tal, se está simulando correctamente el sistema de un elemento rígido y deformable al mismo tiempo, siendo este último el suelo y considerando la respuesta hidráulica.

**Figura 33**

*Geometría del modelo de pilote.*



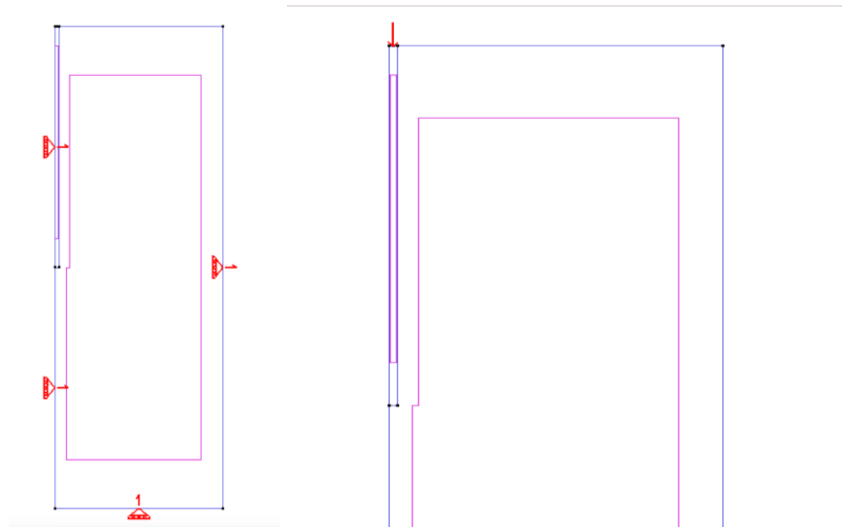
Se presenta la ubicación del pilote dentro del dominio del suelo.

#### **4.7.2 Condiciones de Contorno**

En la Figura 34, se ilustra la acción de la carga sobre la cabeza del pilote, en este caso se trató de la acción transmitida por la superestructura (valor de la carga 2.000 KN). Por lo tanto, esa carga induce deformaciones en el suelo y cambios en el nivel de poros ya que se permitió un flujo libre en la superficie del estrato del suelo de  $1e-5$ . Por lo que el suelo crea un comportamiento acoplado en la capacidad de carga del sistema.

**Figura 34**

*Aplicación de carga en el pilote.*



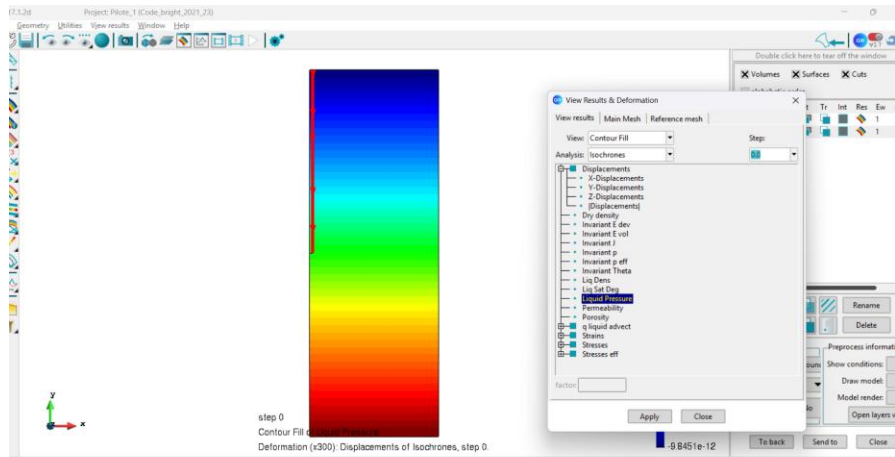
Se muestra la carga vertical aplicada en la cabeza del elemento estructural.

#### **4.7.3 Resultados y análisis**

En la Figura 35, los resultados permiten evidenciar cómo la carga aplicada es transferida al suelo, provocando la formación de zonas de concentración de esfuerzos alrededor del pilote y afectando cambios en la presión de poros. Además, en un inicio, la aplicación de la carga da lugar a un incremento en la presión de poros, después del cual el fluido experimenta un proceso de disipación, permitiendo la formación de esfuerzos efectivos en el suelo, aspecto crítico en la capacidad de carga y en los asentamientos del sistema suelo-estructura.

**Figura 35**

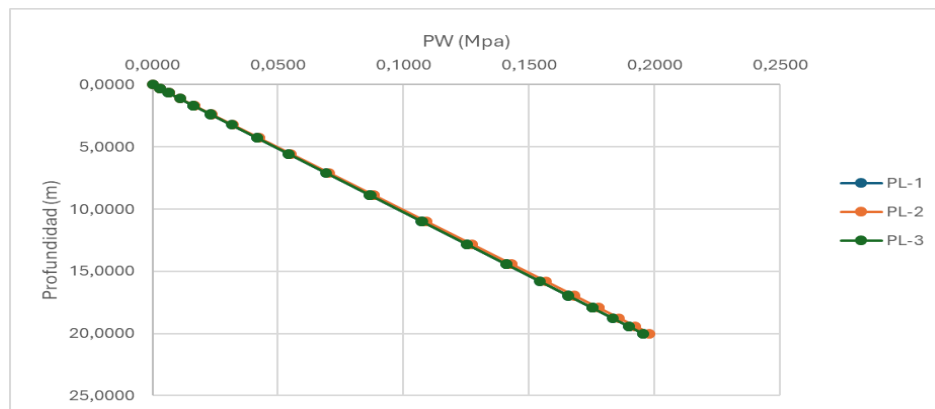
*Evolución de la presión de Líquidos.*



Se muestra la carga transmitida al suelo, así como la respuesta del terreno circundante. En la proximidad inmediata del pilote a la cara superior delimitante de la zona de influencia, se genera una concentración de presiones de poros en exceso en respuesta inmediata de la transferencia de carga por parte del elemento estructural al suelo que lo rodea. Este comportamiento se manifiesta en condiciones reales desencadenando el proceso de consolidación radial intrínsecamente asociado a este tipo de cimentación profunda.

**Figura 36**

*Presión de Líquidos Modelo de Pilote.*

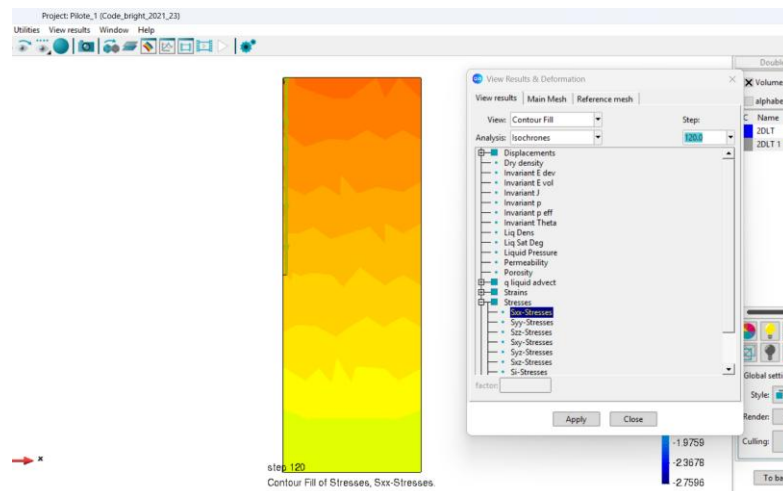


El hecho de que exista una concordancia entre las mediciones obtenidas para los tres perfiles supone que la distribución de las presiones en la superficie de corte es uniforme en la sección transversal del modelo, lo que es congruente con la simetría axial del problema y la correcta implementación de las condiciones de contorno hidráulicas en el modelo.

Además, la distribución de esfuerzos en la zona inmediata al pilote también experimenta perturbaciones que dan lugar a concentraciones de esfuerzo creadas por la interacción suelo–estructura (Figura 36).

### Figura 37

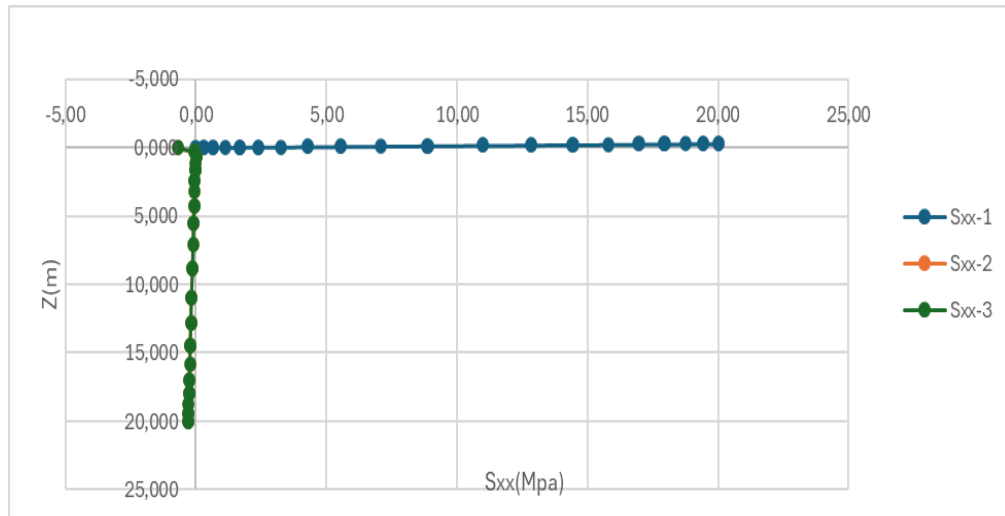
*Evolución de los esfuerzos Horizontales Modelo de Pilote.*



En cuanto a los esfuerzos horizontales (Figura 37),  $S_{xx}$ , se aprecia un aumento creciente de los esfuerzos con respecto a la profundidad en el dominio, lo que se observa mediante la variación en los colores desde valores menores en la parte superior hasta valores mayores en la parte inferior. La razón de esta tendencia es que a medida que la carga del suelo suprayacente aumenta, también lo hace la presión de confinamiento.

**Figura 38**

*Esfuerzos Horizontales Modelo de Pilote.*



En consecuencia, los resultados muestran un comportamiento típico de interacción suelo–pilote, habida cuenta de que los esfuerzos horizontales tienden a incrementarse con la profundidad (ver Figura 38), en relación con el confinamiento del subsuelo, lo que lógicamente implica una buena respuesta del modelo numérico y una carga distribuida de forma coherente y efectiva en el sistema.

## 5. Reflexión Pedagógica

En resumen, el desarrollo del presente trabajo permitió poner en evidencia la relevancia de la integración de herramientas tecnológicas en los procesos de enseñanza – aprendizaje de la ingeniería civil, específicamente en la geotecnia. La elaboración de materiales educativos a partir del software Code-Bright sobre el entorno GiD contribuyó a interrelacionar las ideas teóricas del curso de Fundaciones I con su aplicación práctica a través de la realización de simulaciones numéricas, propendiendo de este modo por un enfoque más significativo.

Según el enfoque del aprendizaje significativo, los alumnos obtienen una comprensión más clara de un tema cuando relacionan la información nueva con sus experiencias y aplican todo en contexto real o simulado (Ausubel, 2002). Además, la simulación del aprendizaje y las herramientas audiovisuales apoyan el aprendizaje activo y la comprensión de conceptos y la retención de información (Prince, 2004).

Por otro lado, el material didáctico realizado en guías y grabaciones favorece la educación a distancia o en línea y promueve el autoservicio, permitiendo al alumno la gestión de su propio currículo o plan formativo (Pintrich, 2000). Asimismo, la inclusión de tecnologías digitales extiende el campo de oportunidades pedagógicas y refuerza el área de competencias tecnológicas (Arenal Jorquera, 2012).

Finalmente, como conclusión general, se puede afirmar que el uso de simulaciones geotécnicas ayuda a los estudiantes no solo con la comprensión de fenómenos complejos, sino también con el desarrollo de habilidades analíticas, lo que lo convierte en una estrategia efectiva para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje en curso Fundaciones I.

## 6. Conclusiones

Se desarrollaron un conjunto elementos didácticos, formados por guías metodológicas en detalle y material audiovisual, se han construido para el fortalecimiento del proceso de enseñanza–aprendizaje de la asignatura Fundaciones I de la Universidad Industrial de Santander. Por medio de estos recursos, se ha podido plantear de una forma más coherente los contenidos teóricos del curso con su aplicación práctica, convirtiendo el proceso formativo más en sintonía con las demandas reales de una ejecución de la ingeniería geotécnica.

Las herramientas desarrolladas comenzaron con modelos sencillos de comportamiento mecánico, como fue el caso del modelo geoestático y el modelo con carga superficial, y se progresó hasta modelos hidromecánicos acoplados más complejos, como las excavaciones, zapata tridimensional y pilotes. Este hecho posibilita una construcción gradual y significativa del conocimiento por parte del estudiante, evitando los saltos por etapas de los procesos conceptuales que suelen constituir una barrera para la comprensión en la enseñanza-aprendizaje.

Por otro lado, desde el punto de vista académico, el desarrollo de estas herramientas posibilitará que estudiantes del curso tengan la oportunidad de experimentar directamente el modelado geotécnico computacional, en el que las principales variables se pueden visualizar; por ejemplo, la distribución de esfuerzos verticales y horizontales, la presión de poros, los desplazamientos del terreno y los asentamientos del sistema suelo–estructura, y hacerlo para diferentes estados de carga e interacción hidráulica. De esta forma se acerca el proceso formativo a situaciones reales de la práctica del diseño ingenieril y, en consecuencia, se construyen competencias a nivel analítico y técnico de los futuros ingenieros civiles.

Los recursos didácticos desarrollados en el marco de este trabajo son aplicables y específicos para formación académica y, por ende, podrán ser utilizados de inmediato por el

docente de la asignatura Fundaciones I. De esta forma, dichos recursos contribuirán a cerrar la brecha que actualmente separa la enseñanza teórica de la práctica computacional en el programa de Ingeniería Civil de la UIS. La incorporación de los materiales desarrollados en el aula representará un paso sustantivo hacia la modernización del proceso de enseñanza-aprendizaje en geotecnia y estará acorde con las tendencias de la pedagogía contemporánea: la enseñanza activa y basada en problemas, que el modelo de la universidad promueve.

Finalmente, Desde punto de vista didáctico se integran vídeos explicativos y documentos PDF, en los que se explica paso a paso la construcción de cada uno de los modelos numéricos que constituyen la metodología más adecuada para transmitir conceptos complementarios que normalmente no se suelen abordar en las clases magistrales. La combinación visual-documental da paso a las distintas formas de aprendizaje mencionadas anteriormente, de manera que el estudiante pueda contar con un equipo más autónomo para su aprendizaje.

## 7. Referencias Bibliográficas

- ABET, 2025-2026. (s. f.). Criteria for Accrediting Engineering Technology Programs, 2025—2026. *ABET*. Recuperado 5 de abril de 2026, de <https://www.abet.org/accreditation/accreditation-criteria/criteria-for-accrediting-engineering-technology-programs-2025-2026/>
- Abuso, F. A. (2017). Reforming Instructional Practices via Interactive Engagement, Deliberate Practice and Coaching in Professional Education Courses. *American Journal of Educational Research*, 5(9), 959-964. <https://doi.org/10.12691/education-5-9-5>
- Arenal Jorquera, M. J. (2012). Area Moreira, M. (2009). Introducción a la Tecnología Educativa. Universidad de la Laguna. *RIED: revista iberoamericana de educación a distancia*, 15(1), 198-199.
- Ausubel, D. P. (2002). *Adquisición y retención del conocimiento: Una perspectiva cognitiva*. Grupo Planeta (GBS).
- Bowles, J. E. (1996). *Foundation analysis and design* (5. ed., internat. ed). McGraw-Hill.
- Carter, J., Desai, C., Potts, D., Schweiger, H., & Sloan, S. (2000). *Computing and Computer Modelling in Geotechnical Engineering*. 1157-1252.
- Crawley, E. F., Malmqvist, J., Östlund, S., Brodeur, D. R., & Edström, K. (2014). *Rethinking Engineering Education: The CDIO Approach*. Springer Science & Business Media.
- Das, B. M. (2009). *Principles of Geotechnical Engineering—SI Version*. Cengage Learning.
- Felder, R. M. (with Internet Archive). (2016). *Teaching and learning in STEM: A practical guide*. San Francisco, CA : Jossey-Bass. <http://archive.org/details/teachinglearning0000feld>

- GiD SIMULATION*. (s. f.). GiD SIMULATION. Recuperado 3 de abril de 2026, de <https://www.gidsimulation.com/>
- Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-Based Learning: What and How Do Students Learn? *Educational Psychology Review*, 16(3), 235-266. <https://doi.org/10.1023/B:EDPR.0000034022.16470.f3>
- John, B., & Catherine, T. (2011). *Teaching For Quality Learning At University*. McGraw-Hill Education (UK).
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning, 2nd ed* (pp. xiii, 304). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511811678>
- Olivella, S., Gens, A., Carrera, J., & Alonso, E. E. (1996). Numerical formulation for a simulator (CODE\_BRIGHT) for the coupled analysis of saline media. *Engineering Computations*, 13(7), 87-112. <https://doi.org/10.1108/02644409610151575>
- Pintrich, P. R. (2000). The role of goal orientation in self-regulated learning. En *Handbook of self-regulation* (pp. 451-502). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012109890-2/50043-3>
- Prince, M. (2004). Does Active Learning Work? A Review of the Research. *Journal of Engineering Education*, 93(3), 223-231. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2004.tb00809.x>
- Savery, J. (2006). Overview of Problem-based Learning: Definitions and Distinciones. *Revista Interdisciplinaria de aprendizaje basado en problemas*, 1(1). <https://doi.org/10.7771/1541-5015.1002>
- Tobón, S. T. (2013). *Formación integral y competencias*. Ecoe Ediciones.