



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

Departamento de Obras Civiles

**INVESTIGACIÓN EXPLORATORIA: APLICACIÓN DE
MODELOS DE IMPRESIÓN 3D PARA REFORZAR EL
APRENDIZAJE EN CURSOS DEL ÁREA DE
INGENIERÍA ESTRUCTURAL**

Memoria de Título presentada por

GABRIEL BENJAMÍN RAMOS VALENCIA

como requisito parcial para optar al título de la carrera de

Ingeniería Civil

Profesor Guía
GASTÓN FERNANDOIS

09, julio, 2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título; ☐ Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: Investigación Exploratoria: Aplicación de modelos de impresión 3D para reforzar el aprendizaje en cursos del área de ingeniería estructural.

Nombre del candidato(a): Gabriel Benjamín Ramos Valencia

Carrera / Grado: Ingeniería Civil

Campus: Santiago San Joaquín; Departamento: Obras Civiles

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Gastón Fernando Cornejo, en mi calidad de profesor(a) guía/ director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

☒ El trabajo **NO** contiene información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

☐ 6 meses; ☐ 12 meses; ☐ 2 años; ☐ 3 años; ☐ 5 años; ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 10/09/2025

; Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 10/09/2025

; Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

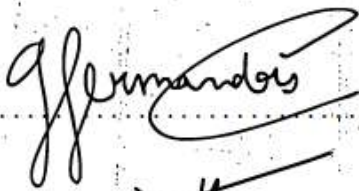
TÍTULO DE LA TESIS:

**INVESTIGACIÓN EXPLORATORIA: APLICACIÓN DE
MODELOS DE IMPRESIÓN 3D PARA REFORZAR EL
APRENDIZAJE EN CURSOS DEL ÁREA DE INGENIERÍA
ESTRUCTURAL**

AUTOR:

GABRIEL BENJAMÍN RAMOS VALENCIA

TRABAJO DE MEMORIA, presentado como requisito parcial para optar al título de la carrera de
INGENIERIA CIVIL de la Universidad Técnica Federico Santa María.

	<u>Nombre</u>	<u>Firma</u>
Profesor Guía	 Gastón Fernandois	
Miembro 1 Comisión	 Felipe Araya	
Miembro 2 Comisión	 Ramiro Bazáez	

Santiago, Chile, 09/07/2025

Agradecimientos

En primer lugar, quiero reconocer el apoyo, cariño y ánimo de mi familia: de mi madre, Mónica Valencia, y mi padre, Gustavo Ramos; y de mis hermanos, José Ramos y Javiera Ramos. Gracias a todos por estar ahí durante esta etapa académica.

También quiero agradecer a todos los familiares que me han acompañado en este proceso, con una especial dedicatoria a mi tío Roberto Valencia. Disculpen la demora en la construcción de este trabajo.

Y también agradecer a mi círculo de amigos, que en este punto de mi vida ya son casi familia: Javier De la Cerda, Constanza Elgueta y Lorenza Gómez, por su confianza y constante motivación.

También quiero agradecer a los investigadores, el profesor Felipe Araya y la profesora Marcela Vizcarra, por la retroalimentación en la metodología cualitativa de la investigación; al ingeniero en Diseño de Productos Javier De la Cerda, por la experiencia, ayuda y asistencia con la realización del diseño de los modelos 3D; a mi profesor guía de este trabajo de memoria, Gastón Fernandois, por su iniciativa y guía en la investigación, compartiendo su conocimiento y experiencia; y a las funcionarias del departamento, Pamela Arcaya y Mónica Vergara, por la ayuda en la coordinación y reserva de las instalaciones de la universidad, en las cuales se llevaron a cabo las entrevistas. Con el aporte de cada uno de ustedes, se pudo llevar a cabo la investigación.

Finalmente, expresar mi agradecimiento a todas las personas que participaron en este proyecto, de una manera u otra, y que contribuyeron a su éxito. Gracias por su tiempo, paciencia y colaboración.

INVESTIGACIÓN EXPLORATORIA: APLICACIÓN DE MODELOS DE IMPRESIÓN 3D PARA REFORZAR EL APRENDIZAJE EN CURSOS DEL ÁREA DE INGENIERÍA ESTRUCTURAL

Gabriel Ramos Valencia, Gastón Fermandois

Universidad Técnica Federico Santa María

Resumen

Las aplicaciones de la ingeniería civil están presentes en ámbitos estructurales, geotécnicos, hidráulicos, entre otros. Esto exige una formación sólida e integral en los fundamentos de las distintas áreas de interés de un proyecto. La aplicación de los conceptos teóricos adquiridos durante la formación académica resulta fundamental para garantizar la calidad y funcionalidad del proyecto ingenieril.

El propósito de los cursos de ingeniería civil es preparar académica y profesionalmente a los estudiantes para que desarrollen habilidades de razonamiento crítico y, de esta forma, emplear las herramientas adecuadas para la toma de decisiones en las etapas de interés de un proyecto. Comprender los conceptos clave enseñados en los cursos introductorios sentarán las bases que facilitarán la interiorización de los contenidos profundizados en los cursos de especialización, utilizados finalmente en el entorno profesional. No obstante, algunos estudiantes pueden tener problemas al asimilar conceptos clave debido al carácter abstracto y la complejidad de los contenidos de los cursos (Abdelnour. 2023).

A partir de lo anterior, se plantea una investigación exploratoria para caracterizar el uso potencial de los modelos de impresión 3D como instrumentos pedagógicos en la enseñanza de conceptos clave en los cursos de ingeniería civil, específicamente del área estructural. Para el estudio cualitativo, se utilizó la metodología de análisis de contenido inductivo (Spearing et al, 2022) que permitió identificar las tendencias que influyen en el aprendizaje. Dichos datos son obtenidos mediante entrevistas dirigidas a expertos para luego ser codificadas en un programa de análisis cualitativo. Los resultados permitirán caracterizar el actual modelo educativo y evaluar el potencial de integrar modelos de impresión 3D en el ámbito educacional.

Palabras claves: Impresión 3D en el ámbito educacional, análisis cualitativo, herramientas didácticas en la ingeniería estructural.

1. Introducción

Históricamente, la innovación es uno de los principales desafíos en el ámbito educativo de la ingeniería civil con el propósito de mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje en los cursos ingenieriles. Por este motivo, es fundamental; tanto para los docentes como para los estudiantes el poder complementar las metodologías de enseñanza al estudiar estrategias pedagógicas para facilitar la manera de explicar los fundamentos teóricos que se imparten en el plan de estudio, con la expectativa de facilitar su comprensión.

Actualmente, Tobías et al (2018) describe detalladamente las diversas formas de aprendizaje: visual, auditivo, kinestésico, lógico y experiencia. Este aspecto es clave, ya que al definir el enfoque de la metodología de aprendizaje, se permite establecer el grado de participación del docente y estudiante, el alcance y los objetivos del curso, implementar y/o aplicar el uso de tecnología, entre otros. Al analizar el formato de las clases en los cursos de ingeniería civil del área estructural y, al comparar la estructura de las clases sujeto a las descripciones de Enríquez et al. (2020), generalmente se emplea una metodología tradicional: clases expositivas, laboratorios demostrativos y ayudantías prácticas, centrada en la figura del docente como principal transmisor del conocimiento, y prescinde del estudiante, situándolo en un rol pasivo. Para modificar el rol del estudiante se considera la metodología activa, la cual favorece el desarrollo de habilidades autodidactas, razonamiento crítico y trabajo colaborativo (Mejía et al, 2016). Implementar esta metodología permitirá, por un lado, cambiar la dinámica de aprendizaje y, por otro, generar una experiencia más enriquecedora para el estudiante dentro del aula y la oportunidad de integrar nuevas tecnologías, como la impresión 3D.

La impresión 3D, o fabricación aditiva, es una tecnología que forma parte de la industria 4.0 al igual que la realidad aumentada, la realidad virtual y la inteligencia artificial (Haleem et al., 2002). Estos procesos se han ido implementando en la ingeniería civil: la realidad aumentada apoyando el área de logística (Chong et al., 2018), la realidad virtual empleada para observar el avance de edificación de una obra (Sampaio et al., 2010), y la impresión 3D para la construcción de muros (García-Alvarado et al., 2020). Una de las ventajas de la fabricación aditiva es la optimización de recursos: al ser un proceso aditivo, permite el diseño de productos según los requerimientos del usuario, a diferencia de las técnicas tradicionales de fabricación sustractiva (Vicente, 2018). De esta manera, el usuario puede adaptar los modelos mediante procesos de corte y relleno aditivo, capa por capa. De acuerdo con Odremán (2014), la impresión 3D se proyectará como un recurso que influirá en campos como la ingeniería, la medicina y la educación.

En base a lo anterior, se plantea una investigación cuyo enfoque es explorar el potencial de integrar modelos físicos hechos a partir de fabricación aditiva como recurso educativo para demostrar los conceptos teóricos de cursos de ingeniería civil del área estructural. Esta propuesta se basa en las investigaciones de Assante et al. (2020), quienes sugieren que los estudiantes pueden presentar una mejora en la capacidad de comprensión de los conceptos fundamentales en los cursos ingenieriles, mediante la representación física e interacción tangible con objetos físicos que demuestren empíricamente los contenidos del curso.

Esta investigación se desarrollará sujeto a las características de los cursos del área estructural de la carrera de Ingeniería Civil en Obras Civiles de la Universidad Técnico Federico Santa María. Se diseñaron un conjunto de modelos 3D en relación con los contenidos presentados en los siguientes cursos: análisis estructural, dinámica de estructuras, diseño en acero y mecánica de materiales. En el curso de análisis estructural, el modelo presenta ajustes al diseño desarrollado por Virgin (2017), pues facilita la simulación de la deflexión de un marco plano bajo una carga axial y la representación de distintos tipos de apoyo. En el caso del diseño del modelo de dinámica de estructuras, integra una mayor cantidad de elementos del diseño generado por Virgin (2017a), mostrando un sistema de tres marcos planos de diferentes alturas sometidos a cargas dinámicas, lo que permite observar la respuesta estructural y, en particular, las frecuencias naturales. Además, se incorpora una base para registrar la aceleración. En diseño en acero, el modelo de Virgin (2021) ha sido modificado para presentar una viga en voladizo con perforación y carga de corte, facilitando la observación del pandeo lateral torsional. En mecánica

de materiales, se presentan dos modelos: el primero se basa en la investigación de Virgin (2018) y se ajusta para representar el pandeo de una columna con distintas condiciones de borde; el segundo, adaptado de Virgin (2021), se centra en la torsión y flexión en vigas en voladizo de distintos perfiles bajo cargas de corte.

Después de fabricar los modelos, se realizó una revisión bibliográfica para establecer la metodología a desarrollar en la investigación. La información recopilada, resumida en la Tabla 9 (Apéndice 4), abarca trece estudios con enfoque cuantitativo, cualitativo y mixto. El objetivo fue emplear la triangulación de metodología para seleccionar el método más adecuado, contrastando la estructura general de cada estudio, es decir, las características de las muestras, las técnicas e instrumentos de recolección de datos, los métodos de verificación y las respectivas conclusiones.

En el caso de la investigación, el método seleccionado para recopilar la información son entrevistas semiestructuradas de carácter individual dirigidas a expertos con experiencia en el área estructural. A cada experto se le presentó el funcionamiento empírico del modelo físico acorde a su área de especialización, para luego registrar sus respuestas a preguntas relacionadas a temas sobre la actualidad de la educación, su opinión sobre el diseño generado con impresión 3D para el curso, las ventajas y desventajas de su implementación y sus recomendaciones considerando el modelo presentado. En total, se llevaron a cabo veintitrés entrevistas, cuya información fue procesada mediante un análisis de contenido inductivo en el programa de análisis cualitativo ATLAS.ti (Spearing et al, 2022). Durante la codificación de los datos, el enfoque se centró en identificar factores que influyen en el proceso de aprendizaje y, así, definir tendencias generales que permitan sustentar el uso potencial de modelos físicos generados con impresión 3D para facilitar la comprensión de contenidos en el ámbito educativo. Y para asegurar la correcta aplicación de la metodología y la validación de los datos cualitativos, se contó con el asesoramiento de expertos en investigación cualitativa.

Los resultados de la investigación muestran una impresión positiva y de respaldo a la propuesta de investigación, en general consideraron fundamental la representación física de los contenidos de los cursos, y que mediante los modelos de impresión 3D posibilita ampliar las alternativas de los recursos educativos proporcionando innovadoras estrategias pedagógicas para captar la atención y el interés de los estudiantes al reforzar la transmisión de los contenidos de forma tangible e interactiva. No obstante, para su correcta inserción en los cursos ingenieriles se debe considerar una rigurosa planificación para el desarrollo de estas actividades experienciales cumpliendo con los requerimientos y exigencias académicas del curso.

2. Objetivos

Objetivos Generales:

Explorar el uso potencial de los modelos de impresión 3D como herramientas didácticas en la enseñanza en ingeniería estructural

Objetivos Específicos:

[OE1] Diseñar modelos de impresión 3D para enseñanza en ingeniería estructural.

[OE2] Realizar un análisis cualitativo basado en entrevistas a expertos para

identificar patrones y tendencias relevantes al uso de modelos 3D en la enseñanza en ingeniería.

[OE3] Proponer condiciones de mejora para la aplicación de modelos 3D como recurso educativo en enseñanza de ingeniería.

3. Marco Teórico

La investigación consiste en explorar el potencial de la tecnología de impresión 3D en el campo educacional universitario como herramienta didáctica para reforzar el aprendizaje al complementar los métodos de enseñanza actuales con una metodología de aprendizaje activo. La propuesta se basó en el enfoque de enseñanza propuesto por Ford et al (2018), que destacan las ventajas de emplear modelos físicos en el ámbito educativo ya que, además de representar los contenidos del curso de forma tangible y visual, genera un mayor impacto en el proceso de aprendizaje de los estudiantes (Facciolo et al, 2019; Justo et al, 2022) .

De acuerdo con las investigaciones de Virgin (2017), otra razón para implementar modelos de impresión 3D es abordar una de las principales dificultades de los estudiantes que es el carácter abstracto de los contenidos de los cursos del área estructural; al poder relacionar las variables abstractas mediante modelos físicos, esto permite interiorizar de mejor manera los conceptos clave del curso ingenieril. La impresión 3D es una tecnología emergente que está presente en áreas como la medicina, la ingeniería y la construcción (Shahrubudin et al, 2019). Su integración en un espacio educativo permitiría ampliar la accesibilidad de instrumentos pedagógicos debido a su carácter precursor, innovador y versátil. Además, facilitaría la replicación de modelos interactivos. Y, respecto a los costos asociados a la impresión 3D, según Pandian & Belavek (2016), son relativamente bajos debido a los reducidos costos de producción.

En el aspecto educativo se debe indicar que, en general, el tipo de enseñanza utilizada en los cursos del área estructural corresponde a la metodología tradicional y, basado en las descripciones de las investigaciones de Enríquez et al. (2020), este enfoque consiste en transmitir los fundamentos teóricos, sin profundizar en el desarrollo de habilidades prácticas y de razonamiento crítico para los estudiantes. Al explorar el uso de metodologías de aprendizaje activo, la dinámica de aprendizaje cambiaría al utilizar actividades que permitan la integración de modelos tangibles que representen conceptos fundamentales de los cursos estructurales. Aunque los métodos tradicionales de enseñanza han demostrado ser efectivos en varios aspectos, pueden potenciarse significativamente con la incorporación de tecnologías innovadoras y enfoques de aprendizaje activos (Harvey & Hibbard, 2022). El hecho de implementar los modelos físicos amplía las alternativas de instrumentos pedagógicos que permitan realizar demostraciones prácticas al simular el comportamiento de diseños estructurales, generar distintos tipos de apoyo y/u observar la influencia de las cargas sobre los elementos a nivel estructural. Para la representación, se detallarán cada uno de los cursos del área estructural seleccionados con el respectivo diseño del modelo, describiendo el funcionamiento, sus características generales y los conceptos teóricos que se busca representar, además de contar con la asesoría de Javier De La Cerda, experto en el área de diseño de productos.

Se diseñaron un conjunto de modelos acorde a los contenidos que se estudian en cada uno de los siguientes cursos: análisis estructural, dinámica de estructuras, diseño en acero y mecánica de materiales. En el curso de análisis estructural, el diseño presenta modificaciones al diseño desarrollado por Virgin (2017) pues se diseñó un conjunto de tres marcos planos de diez, quince

y veinte centímetros de altura, con cinco, diez y veinte milímetros de ancho y espesor de dos milímetros, con sus respectivas bases de apoyo. Este cambio a la estructura permite aplicar cargas axiales en la parte superior y, de esta manera, simular la deflexión por la influencia de cargas estáticas externas y, así representar la rigidez asociada al marco plano, además de demostrar las condiciones de empotramiento y de apoyo simple en las bases de las columnas. En el caso del diseño del modelo de dinámica de estructuras, integra una mayor cantidad de elementos del diseño propuesto por Virgin (2017a), mostrando dos conjuntos de tres marcos planos de alturas de diez, quince y veinte centímetros de altura, con cinco y diez milímetros de ancho, incluyendo las respectivas bases de apoyo, un sistema de soporte para el acelerómetro y un pasador que permite someter al sistema a cargas dinámicas, lo que permite observar la respuesta estructural como la frecuencia natural, resonancia, aceleración y ángulo de fase. Estos valores son registrados mediante un acelerómetro acoplado en la parte superior del marco plano. En mecánica de materiales, se presentan dos modelos: el primero se basa en un diseño mejorado del modelo propuesto en la investigación de Virgin (2018) y se ajusta para representar el pandeo de columnas, considerando la carga crítica, las condiciones de borde y el largo efectivo, mediante una estructura que permita cambiar la columna a la cual se le pueden aplicar cargas axiales variables hasta llegar a la carga crítica de la columna; el segundo, adaptado de Virgin (2021), se centra en el centro de corte, flexión y torsión en vigas en voladizo de los perfiles canal, ángulo rotado, W, bajo cargas de corte. Y para el curso diseño en acero, se simplifica el modelo de Virgin (2021), modificado para presentar una viga en voladizo de quince centímetros de longitud, perforada en la sección lateral de la viga para aplicar una carga de corte, facilitando la observación del pandeo lateral torsional, el desplazamiento lateral y el giro torsional en la viga en voladizo.

Después de la etapa de diseño e impresión de los modelos, se llevó a cabo una revisión bibliográfica para el desarrollo de una estructura metodológica para el análisis cualitativo, donde se consideraron trece artículos: Araya & Vásquez (2022), Arroyo-Barriguet et al. (2023), Cantelmi, Di Gravio & Patriarca (2021), Chasin (2021), Dart & Lim (2022), Facciolo et al. (2019), Ford et al. (2018), Hennink & Kaiser (2022), Justo et al. (2022), Lorenzo, Sicilia & Sánchez (2012), Mejia et al. (2016), Saorín et al. (2017) y Spearing et al. (2022). En la Tabla 9 (Apéndice 1), se especifica de forma resumida la estructura general de cada artículo, las herramientas de recolección de datos, los métodos de verificación de datos y las conclusiones. En general, los artículos se centran en el impacto en la educación y el aprendizaje, estudiando e implementando estrategias para mejorar la enseñanza en diferentes disciplinas mediante el uso de encuestas o entrevistas para recopilar información, el uso de software cualitativos para el análisis de datos y aplicando herramientas para determinar el punto de saturación, método de verificación de los resultados, entre otros elementos. Esto permitió seleccionar las técnicas y métodos más adecuados para la investigación mediante la triangulación de metodologías.

Considerando los métodos utilizados en otras investigaciones, se optó por las entrevistas semiestructuradas ya que permite explorar los temas de interés en el área de estudio como la actualidad de la educación, su opinión sobre el diseño generado con impresión 3D para el curso, las ventajas y desventajas de su implementación y sus recomendaciones considerando el modelo presentado. El formato establecido para las entrevistas es de carácter individual ya que cumple el propósito de comprender el contexto educativo y experiencias desde el punto de vista del grupo objetivo, es decir, expertos en el área estructural: docentes, titulados, egresados y ayudantes. Se les presenta el funcionamiento empírico del modelo físico acorde a su área de experticia, para luego formular una serie de preguntas abiertas descritas en la Tabla 7 (Apéndice 1). Las preguntas fueron diseñadas con base en las investigaciones de Cantelmi et al. (2021), Justo et al. (2022) y Dart y Lim (2022), quienes las utilizaron en estudios cualitativos. Las entrevistas son registradas mediante la grabación de audio con la grabadora de voz del celular, con el propósito

de garantizar la precisión en el análisis de las respuestas; a cada participante se le solicitó su consentimiento para grabar (Apéndice 3).

Inicialmente, se consideraron quince entrevistas como mínimo para la recopilación de datos, basándose en los estudios de Hennink & Kaiser (2022), quienes sugieren que el punto de saturación aceptable en investigaciones cualitativas en grupos de estudios homogéneos es entre cinco a treinta entrevistas. El alcance del punto de saturación significa que, al recolectar más datos (en este caso, realizar más entrevistas), no aportaría nueva información relevante. La cantidad de entrevistas se incrementó, alcanzando un total de veintitrés participantes, para obtener una mayor representatividad de cada uno de los cursos. Se dio paso a la transcripción y procesamiento de la información en el programa ATLAS.ti, analizando los datos utilizando la metodología de Hennink & Kaiser (2022). Se determinó una saturación de datos del cien por ciento, implicando teóricamente que está toda la información relevante para el desarrollo del análisis cualitativo de la investigación.

En la definición del análisis cualitativo, se optó por el método de análisis de contenido inductivo al considerar tanto el contexto de esta investigación, como el enfoque exploratorio, enfatizando el ámbito educativo donde se emplea una tecnología precursora como la impresión 3D. Esta decisión está respaldada por los estudios de Araya y Vásquez (2022), quienes detallan en profundidad los diferentes tipos de análisis en estudios cualitativos y, en el caso del método mencionado, permite explorar los datos sin un marco teórico predefinido ante la falta de información en relación con el área de estudio. Mediante un proceso de codificación y, utilizando el programa cualitativo ATLAS.ti, se identificaron factores que influyen en el proceso de aprendizaje y, de este modo, definir tendencias, categorías, temas y códigos claves que emergen de la información recolectada, estableciendo una visión general de los expertos sobre el tema en estudio.

Los resultados del estudio determinarán la comprensión de la función de la impresión 3D como herramienta didáctica para su potencial aplicación en el proceso de aprendizaje, dada su facilidad de uso, su contribución a la comprensión de conceptos abstractos y provocar interés y motivación en los estudiantes (Harvey & Hibbard, 2022). Asimismo, se exploró tanto el rol del docente como del estudiante en la integración de los modelos 3D en el proceso de enseñanza, los desafíos que identificaron al plantear la implementación de este tipo de tecnología para reforzar contenidos vistos en clases, permitiendo así la comprensión integral de diversos aspectos del aprendizaje. Más aún, se pueden identificar proyecciones para investigaciones futuras en el campo de la ingeniería, promoviendo la integración de la fabricación aditiva en el ámbito educativo del departamento de ingeniería civil.

4. Metodología

Este apartado se subdivide en tres secciones: La primera etapa consiste en el diseño de los modelos para cada curso, el funcionamiento y demostración práctica del concepto teórico, las propiedades del material empleado, las dimensiones y las componentes adicionales, con el propósito de facilitar la reproducción, impresión y modificación de los modelos para el usuario. La segunda etapa se centró en la revisión de trece artículos para comparar la metodología de investigaciones y las distintas estrategias aplicadas al desarrollo de un tema ingenieril en el ámbito educacional o profesional. El propósito fue contrastar los aspectos generales de las investigaciones, identificar los métodos utilizados en cada estudio y seleccionar, mediante la triangulación de metodologías, un modelo de estudio adecuado para abordar las áreas de interés

para el estudio cualitativo. En la última etapa, se explica el procedimiento seleccionado (análisis de contenido inductivo), basándose en Spearing et al. (2022), quien señala: “el análisis de contenido inductivo se caracteriza por la codificación de datos sin un marco predefinido, permitiendo que surjan categorías y temas emergentes a partir de los datos mismos”. En base a lo anterior, se estableció la estructura general de la metodología aplicada, los instrumentos de recolección de datos con su método de verificación, consolidando los datos en un programa de análisis cualitativo. Y de esta manera, plantear una visión integral sobre el uso potencial de las aplicaciones de los modelos hechos con impresión 3D en el contexto educacional.

4.1. Diseño Modelos 3D

Las investigaciones de Junk & Matt (2015) señalan que el proceso de diseño y modelado 3D considera las siguientes etapas: Para realizar un modelo de impresión 3D, se debe seleccionar un software de diseño donde se especificaron los detalles de la geometría, la interacción entre piezas, la cantidad de componentes y las dimensiones de las piezas; para esta investigación, se utilizó Autodesk Fusion360. Terminado el diseño, se genera en formato digital, para luego elegir el formato de exportación de cada componente, donde se utilizó los archivos de estereolitografía (STL). En la investigación, para la impresión del modelo se utilizó ácido poliláctico (PLA) de la marca Hellbot. Este filamento se utilizó para cada modelo generado debido a sus propiedades: resistencia, flexibilidad y rigidez relativa. Por último, se utilizó el programa Ultimaker Cura para generar un archivo G-code que la impresora decodifica y establecer las configuraciones de la máquina Creality Pro-3, donde se establecen la segmentación de capas, la generación de apoyos, la calibración del relleno, entre otras. Calibrado el sistema, se inicia el proceso de impresión utilizando la tecnología de deposición de material fundido (FDM). Hasta finalizar la impresión, se retiran los soportes y el proceso está terminado.

A continuación, se especificarán los cursos de ingeniería estructural, los modelos diseñados y los conceptos teóricos que se buscan representar:

4.2. Curso Análisis estructural: características del modelo.

Los contenidos del curso CIV234 – “Análisis estructural” permiten comprender la respuesta de una estructura bajo cargas aplicadas. Se centran en estudiar los métodos y procedimientos para determinar las fuerzas internas que actúan en los elementos estructurales, así como los desplazamientos que experimenta la estructura bajo esas cargas.

El modelo diseñado para representar la rigidez estructural y la deflexión bajo cargas estáticas corresponde a tres conjuntos de marcos planos con alturas de diez, quince y veinte centímetros, con un ancho de cinco, diez y veinte milímetros; el marco plano es situado en una base y, sujeta por una prensa, se le colocan cargas estáticas sometidas al peso gravitacional en una extensión ubicada en la conexión viga-columna que sirve como enganche para el posicionamiento de un mosquetón. De esta manera, el funcionamiento del modelo permite a los estudiantes observar la rigidez del marco plano ante unas cargas externas y comparar los resultados de las variaciones en la deflexión teórica con la empírica, además de facilitar de forma visual la influencia de la geometría en la rigidez estructural.

A continuación se muestra en la Figura 1 el diseño renderizado del modelo 3D:

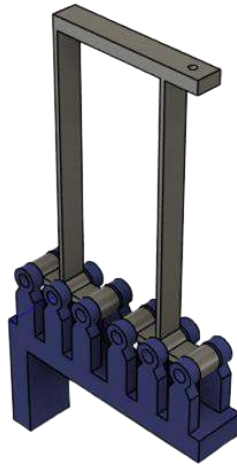


Figura 1: Modelo marco plano – Análisis estructural.

El ramo estructural corresponde a un curso de cuarto año del primer semestre dentro de la malla del programa de pregrado de la carrera de ingeniería civil en obras civiles.

4.3. Curso Dinámica de estructuras: características del modelo.

Los contenidos del curso CIV235 – “Dinámica de estructuras” permiten comprender la respuesta estructural sometida a cargas dinámicas como sismos, viento o cargas móviles. Se estudia el comportamiento de las vibraciones libres y forzadas en las estructuras, así como los efectos de la amortiguación.

El modelo diseñado para representar los conceptos de la frecuencia natural, resonancia, ángulo de fase y aceleración bajo cargas dinámicas corresponde a tres marcos planos de distinta altura, diez, quince y veinte centímetros, con anchos de cinco y diez milímetros, que permiten acoplar en la parte superior un acelerómetro para registrar la aceleración. De esta manera, el funcionamiento del modelo permite a los estudiantes observar cómo cada estructura responde de manera distinta ante las cargas dinámicas debido a sus frecuencias naturales.

A continuación se muestra en la Figura 2 el diseño renderizado del modelo 3D:

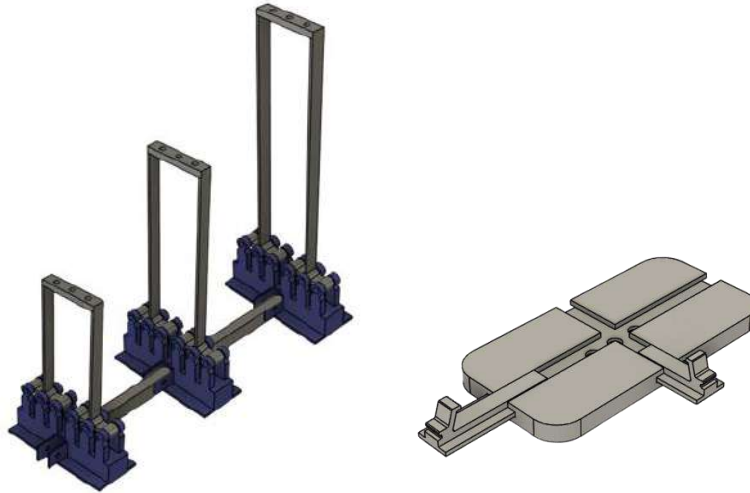


Figura 2: Sistema marcos planos y receptáculo – Dinámica de estructuras.

El ramo estructural corresponde a un curso de cuarto año del segundo semestre dentro de la malla del programa de pregrado de la carrera de ingeniería civil en obras civiles.

4.4. Curso Mecánica de materiales: características de los modelos.

Los contenidos del curso CIV133 – “Mecánica de materiales” enseñan sobre la respuesta de una estructura sometida a cargas externas, donde se profundiza en las relaciones entre las cargas de fuerza aplicadas y la respuesta estructural mediante las deformaciones que se producen.

El modelo diseñado para representar el pandeo de columnas bajo carga axial, las diferentes condiciones de borde y la carga crítica, corresponde a una estructura que permite ajustar las condiciones de borde y aplicar cargas axiales, y que de esta manera, el funcionamiento del modelo permite a los estudiantes observar el comportamiento de la columna cuando se acerca a su carga crítica.

A continuación se muestra en la Figura 3 el diseño renderizado del modelo 3D:

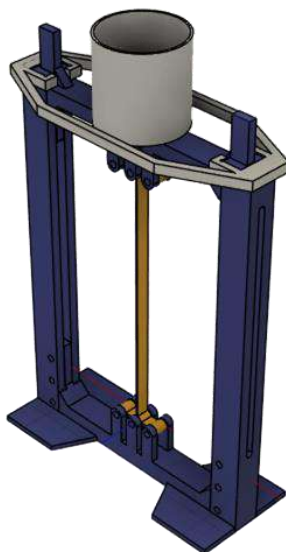


Figura 3: Modelo pandeo de columna – Mecánica de materiales.

Y los modelos diseñados para representar los conceptos de la flexión, torsión y el centro de corte corresponden a vigas en voladizo de cuatro tipos de perfiles con una sección rectangular en el extremo, lo que permite una carga de corte. Además, la viga se puede rotar en noventa grados para visualizar el comportamiento en los ejes principales de la estructura. De esta manera, el funcionamiento del modelo permite a los estudiantes observar cómo las vigas responden a la flexión y torsión, y cómo el centro de corte influye en su comportamiento estructural.

A continuación se muestra en la Figura 4 el diseño renderizado del modelo 3D:

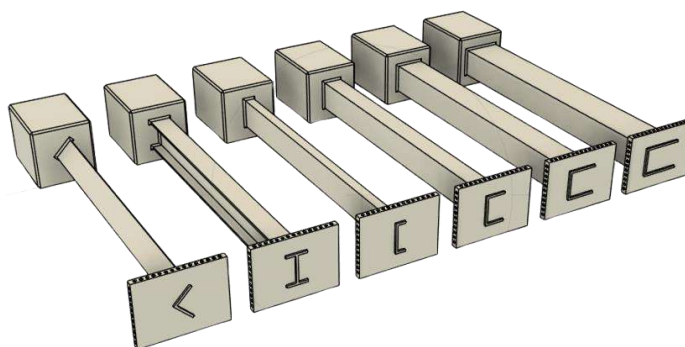


Figura 4: Modelo vigas en voladizo – Mecánica de materiales.

El ramo estructural corresponde a un curso de segundo año del segundo semestre dentro de la malla del programa de pregrado de la carrera de ingeniería civil en obras civiles.

4.5. Curso Diseño en acero: características del modelo.

Los contenidos del curso CIV336 – “Diseño en acero” están centrados en el estudio de la normativa AISC y la aplicación de diseño cumpliendo las especificaciones técnicas de la norma en estructuras de acero.

El modelo diseñado para representar los conceptos del pandeo lateral torsional, desplazamiento lateral y giro torsional corresponde a una viga en voladizo con perfil rectangular y un corte circular en la sección lateral de la viga que simula las condiciones de inestabilidad. De esta manera, el funcionamiento del modelo permite a los estudiantes aplicar cargas y observar la demostración empírica del pandeo lateral torsional.

A continuación se muestra en la Figura 5 el diseño renderizado del modelo 3D:

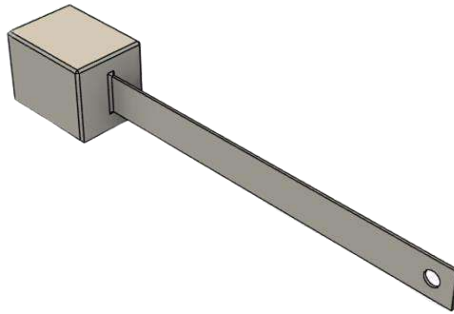


Figura 5: Modelo vigas en voladizo– Diseño en acero.

El ramo estructural corresponde a un curso de quinto año del segundo semestre dentro de la malla del programa de pregrado de la carrera de ingeniería civil en obras civiles.

Para cada uno de los modelos se adjunta un enlace de Github (Apéndice 5) que incluye un instructivo del diseño de los modelos, los archivos de estereolitografía (STL) que muestran las componentes para el diseño de los modelos, el archivo 3fd que corresponde al programa Autodesk Fusion360 que permite observar el modelo general y permitir su modificación y el archivo 3mf del programa Ultimaker Cura, con los parámetros establecidos para la impresión de cada modelo.

4.6. Comparativa Metodologías de Análisis Cualitativo

Para estructurar el análisis cualitativo, se revisó la metodología empleada en los artículos descritos en la Tabla 9 del Apéndice 4. En cada uno de los estudios se identificaron las diversas estrategias empleadas para recopilar y procesar los datos, los métodos de validación para sustentar los resultados obtenidos y sus respectivas conclusiones.

Los artículos analizados desarrollan un estudio en el campo de la ingeniería, profundizando en sectores del ámbito educacional u otras áreas. Los enfoques utilizados para el análisis de datos son: cuantitativo, cualitativo y mixto (Hernández, 2024). Primero, el enfoque cualitativo se basa en la recopilación y análisis de datos numéricos para explicar fenómenos, empleando técnicas estadísticas y matemáticas para medir variables, establecer relaciones causales y generar conclusiones, centrados en la objetividad, replicabilidad y la precisión de los resultados; su objetivo es proporcionar evidencia numérica que sustente teorías o hipótesis. Mientras, el enfoque cualitativo es un planteamiento metodológico de las ciencias sociales que busca comprender y describir los fenómenos desde una perspectiva subjetiva, centrada en la interpretación de datos no numéricos (entrevistas, observaciones y documentos); su objetivo es captar la complejidad de las experiencias individuales y los contextos culturales, para establecer patrones, significados y relaciones sociales; el objetivo es presentar una comprensión profunda y contextualizar los fenómenos estudiados. Por último, el enfoque mixto combina elementos de

ambos métodos en un solo estudio, recopilando y analizando datos cualitativos y cuantitativos, permite una validación cruzada de los resultados y un entendimiento global de los fenómenos estudiados.

En base a lo anterior, se examinaron cuatro estudios cuantitativos (Arroyo-Barriguet et al, 2023, Facciolo et al, 2019, Justo et al, 2022 y Saorín et al, 2017), siete cualitativos (Araya & Vásquez, 2022, Chasin, 2021, Dart & Lim, 2022, Hennink & Kaiser, 2022, Lorenzo, Sicilia & Sánchez, 2012, Mejia et al, 2016 y Spearing et al, 2022) y dos mixtos (Cantelmi, Di Gravio & Patriarca, 2021 y Ford et al, 2018). Cada enfoque emplea instrumentos de recolección de datos con su respectivo método de validación; al contrastar los datos, el método más utilizado es la recolección de datos son las entrevistas y como método de verificación es la triangulación de datos. Y, para el procesamiento de los datos, mediante un análisis de contenido inductivo, se utilizó el programa de estudio cualitativo ATLAS.ti.

4.7. Recolección de datos

En primer lugar, para la recolección de datos, se seleccionó el grupo de estudio, los expertos, conformados por docentes, titulados, egresados y ayudantes, todos con experiencia a nivel formativo en uno de los cursos del área estructural: análisis estructural, dinámica de estructuras, mecánica de materiales y diseño en acero. Inicialmente, se consideró quince entrevistas con el objetivo de alcanzar el punto de saturación, momento en donde la información recopilada comienza a repetirse y no surgen nuevas ideas relevantes, cuyo límite se basó en los resultados de Hennink & Kaiser (2022), los cuales indican que, en promedio, entre doce y trece entrevistas son suficientes para alcanzar el punto de saturación para investigaciones cualitativas. En el caso en estudio, dado que se trata de una tecnología precursora, se estima que un setenta por ciento de la muestra es punto de saturación aceptable. Además, para verificar la validez del punto de saturación, según Cantelmi et al. (2021), es alcanzada si después de realizar las últimas dos o tres entrevistas, no se obtiene nueva información relevante.

El formato de la entrevista fue una breve explicación del modelo específico para el curso en el que posee mayor experiencia, detallando el funcionamiento y la representación de los conceptos claves del curso. Posteriormente se les formuló una serie de preguntas semiabiertas, para que los expertos puedan expresar libremente sus ideas, donde las preguntas seguían un orden secuencial predeterminado, para así establecer una visión general de las áreas consultadas. Las preguntas formuladas en la entrevista están la Tabla 7 del Apéndice 1. Y por último, fue de carácter individual para que las respuestas entre los expertos no generaran un sesgo en las ideas de los demás, y también con el propósito de resguardar su confidencialidad.

A cada experto se le solicitó firmar un documento de confidencialidad para obtener su consentimiento para grabar el audio de la entrevista, donde se garantizó mantener la identidad de cada participante de forma anónima, identificándose solo por el rol de experto. Esto con el fin de garantizar la precisión en el registro y análisis de los datos. El documento de confidencialidad utilizado en la entrevista está adjunto en el Apéndice 3.

Terminada la recolección de datos, se procede a la fase de análisis cualitativa de los datos:

4.8. Análisis cualitativo

A partir de la investigación de Spearing et al. (2022), se definen diversos métodos de análisis cualitativos, y que para el caso en estudio el método seleccionado es el análisis de contenido

inductivo con descripción fenomenológica, donde la información recolectada es transcrita y procesada en el programa ATLAS.ti, programa de datos cualitativos, que permite optimizar y comparar los datos de forma precisa y constante, y que, debido al carácter iterativo de la investigación, facilita el desarrollo del análisis de datos, lo cual resulta fundamental para obtener una visión integral de las tendencias que se buscan identificar en el tema en estudio. Donde se citaron las partes más relevantes de las respuestas de los expertos, y de esta manera permitiendo realizar la respectiva codificación. Este proceso, iterativo, se realizó para cada una de las entrevistas, lo que permitió identificar las ideas más consistentes en la muestra de estudio. Al terminar la revisión general, se realizaron correcciones como eliminar citas irrelevantes, fusión de códigos con el mismo significado, y también se designó categorías mediante la agrupación de códigos afines. Para luego repetir la codificación, pero en esta ocasión evaluada con todos los códigos identificados, asegurando una evaluación bajo los mismos criterios.

Dentro del diseño metodológico, se analizaron los datos distribuyendo a los expertos en grupos, cuya clasificación dependerá del criterio del investigador. Este método permite a su vez identificar patrones comunes y diferencias entre los grupos, revelando si los expertos dentro de cada conjunto comparten una visión similar o si, por el contrario, destacan otros elementos. Este modo posibilita, por tanto, una comprensión más profunda de las diversas perspectivas y su distribución entre los distintos grupos analizados.

En el programa de ATLAS.ti, para interpretar la codificación de los datos, se utilizaron las siguientes herramientas: el punto de saturación, método de verificación que permite respaldar la cantidad de datos recopilados es suficiente para la muestra analizada en la investigación; el diagrama de Sankey, una representación gráfica que visualiza la distribución de la frecuencia de los códigos en las respuestas de los expertos; la nube de palabras que permite representar las expresiones más frecuentes en los registros de cada grupo, lo que permitió observar las variaciones de los conceptos clave según el grupo de estudio contribuyendo a una comprensión visual de los datos; Y al cruzar datos de los códigos con mayor frecuencia en las entrevistas con los códigos presentes de forma individual en la totalidad de cada grupo, se desarrolló la red de palabras para representar los aspectos que prioriza cada grupo, identificar y contrastar las conexiones entre los códigos para establecer patrones y establecer una visión para cada criterio.

Ya identificado todos los códigos, se debe construir un diccionario que consiste en agrupar los códigos con términos similares y de esta manera clasificarlos en categorías, con su correspondiente definición y con una cita explícita como ejemplo.

A continuación, se presenta en la Figura 6 un diagrama de flujo del proceso del estudio cualitativo:

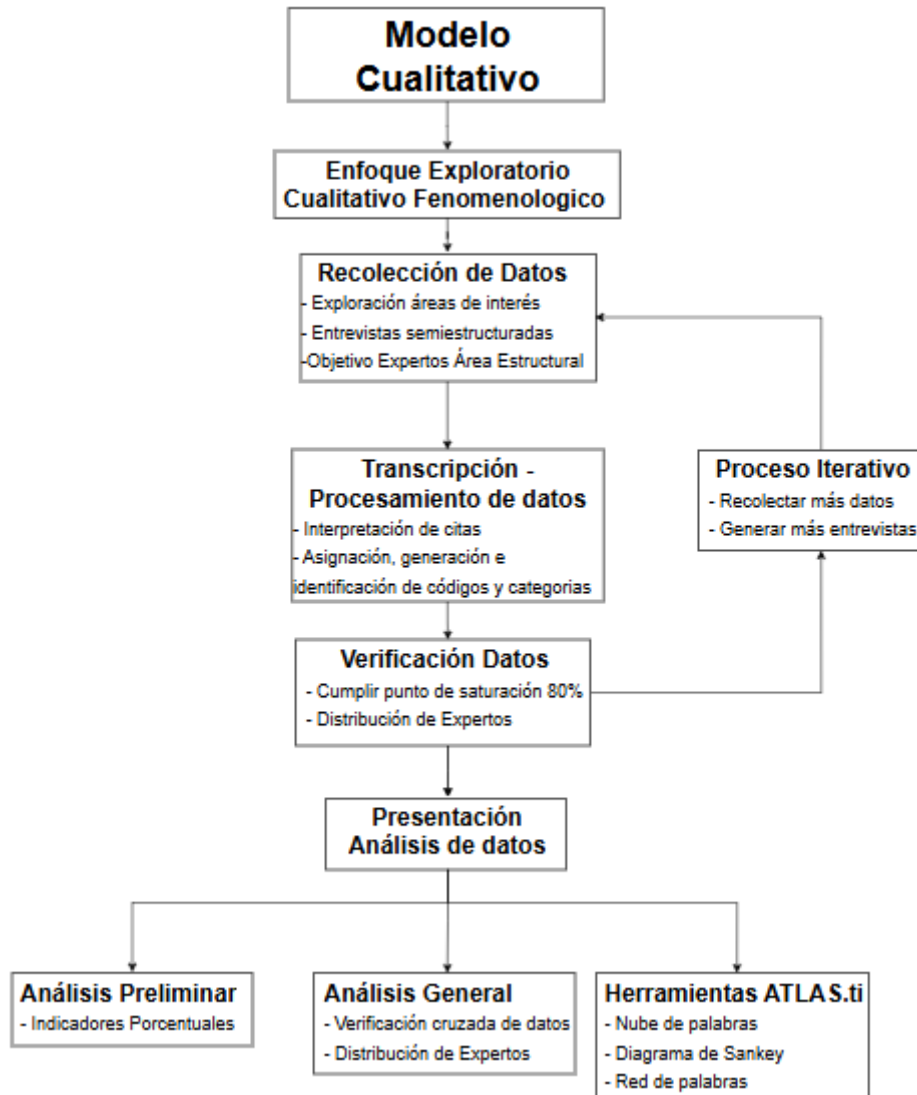


Figura 6: Diagrama de Flujo del modelo de estudio cualitativo.

5. Resultados

En el siguiente apartado se exponen los modelos ya impresos de los cursos análisis estructural, dinámica de estructuras, mecánica de materiales y diseño en acero:

5.1. Modelo de impresión 3D - Curso análisis estructural

Para la demostración de la rigidez del marco plano y su respectiva deformación, se diseñaron un conjunto de tres marcos planos con alturas de 10, 15 y 20 centímetros y anchos de 5, 10 y 20 milímetros. El marco plano posee una extensión en la sección externa de la conexión viga-columna con una sección circular de 1.5 milímetros para acoplar un mosquetón y, de esta manera, añadir un imán al sistema para facilitar la aplicación del peso al modelo. En el diseño experimental, se emplea una prensa para sujetar la base del marco plano para luego observar el comportamiento del modelo ante la aplicación de cargas verticales. A continuación, se presenta en la Figura 7 la impresión 3D sin cargas externas:

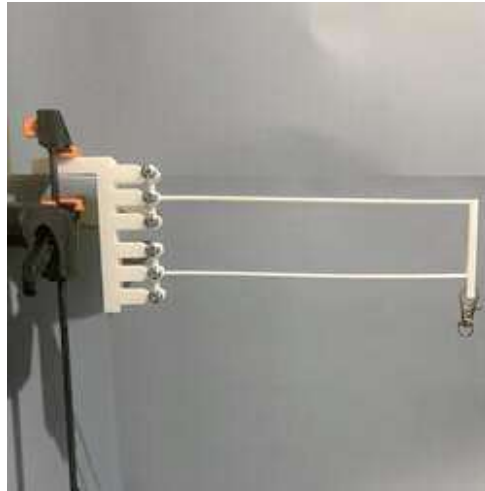


Figura 7: Marco plano de 5mm de ancho, 20 cm de altura.

Asimismo, se muestra en la Figura 8 la aplicación de una carga al conjunto de marcos planos con 5mm de ancho, con alturas de diez, quince y veinte centímetros de altura:

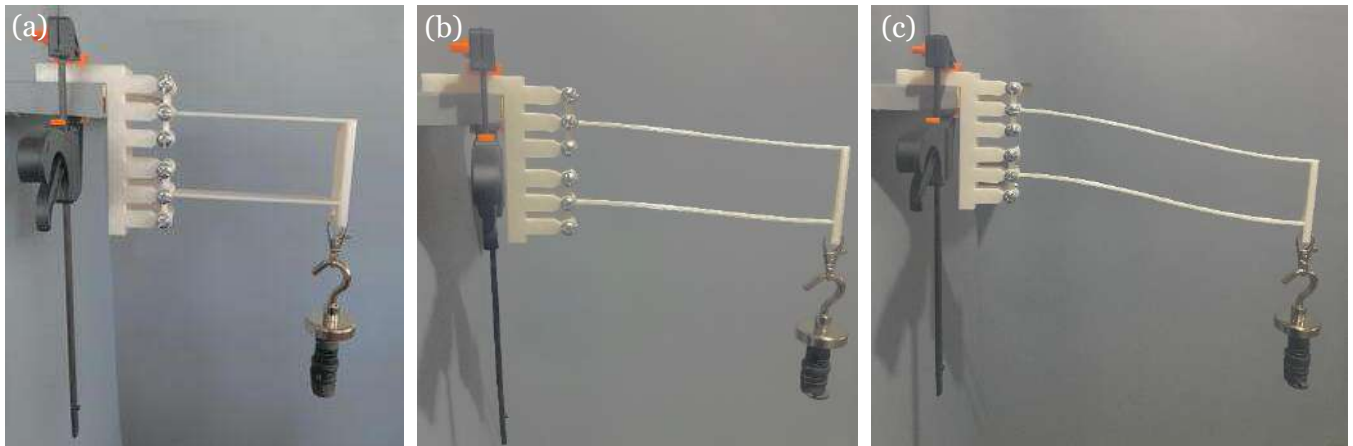


Figura 8: (a) Marco plano altura 10 cm. (b) Marco plano altura 15 cm. (c) Marco plano altura 20 cm.

Las componentes del modelo, los detalles de las medidas de los marcos planos, el tiempo de impresión y las componentes requeridas para el funcionamiento están especificadas en la Tabla 11 (Apéndice 6).

Además, para los conjuntos de marcos planos, se realizó la medición de la deformación del marco plano al situar una base horizontal junto a la sección deformada para el registro de la deflexión. Luego se comparó la deflexión con el resultado teórico, donde se obtuvieron errores porcentuales menores al cinco por ciento. Las fórmulas utilizadas, los valores de las propiedades del material y los resultados experimentales de la medición están expuestos en la Tabla 18 (Apéndice 6).

5.2. Impresión 3D - Curso Dinámica De Estructuras

Para la demostración de la frecuencia de los marcos planos, se diseñaron tres marcos planos de alturas de 10, 15 y 20 centímetros, tres bases de marcos planos, el pasador y tres receptáculos.

El pasador se ubica en la parte inferior de la base del marco plano, el cual fija su posición en el sistema y, además, permite transmitir la carga dinámica a los marcos planos, y encima de la viga, se acopla el receptáculo que permite integrar un acelerómetro para registrar la aceleración a la que es sometida el modelo. A continuación, en la Figura 9 se presenta la impresión 3D:

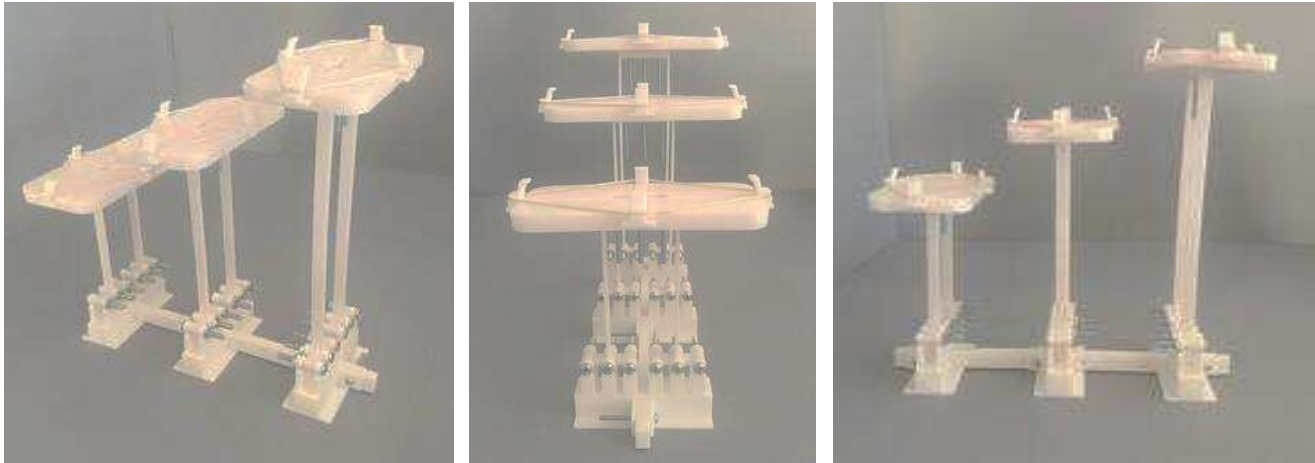


Figura 9: Conjunto de marcos planos vista en perspectiva, frontal y lateral.

Los detalles de las componentes del modelo, las medidas de los marcos planos, el tiempo de impresión y especificaciones de los materiales están detalladas en la Tabla 21 y Tabla 23 (Apéndice 6).

5.3. Impresión 3D - Curso Mecánica De Materiales

Para la demostración del pandeo de una columna para distintas condiciones de borde, se diseñó un sistema que permite la aplicación de una carga vertical al ubicar un recipiente en la parte superior de la estructura y, con el uso de tornillos en los extremos de la columna, se representan las condiciones de apoyo. A continuación, en la Figura 10 se muestra el sistema estructural impreso:

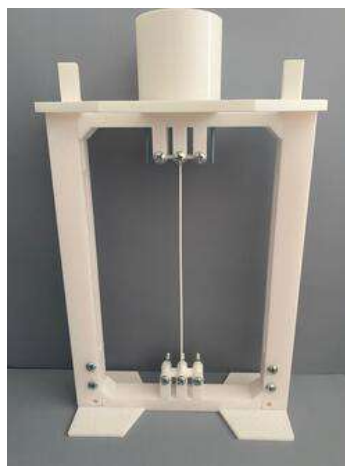


Figura 10: Sistema estructural del pandeo columna.

En la Figura 11 se muestra el pandeo de la columna con sus respectivas condiciones de borde:

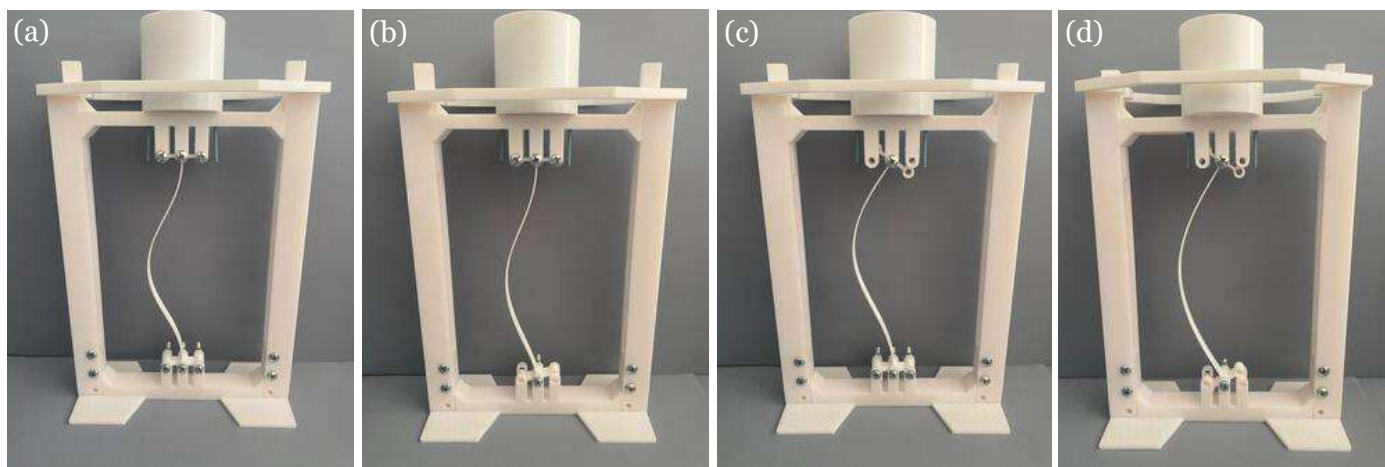


Figura 11: (a) Caso Bi – empotrado (b) Caso Empotrado – Simple
(c) Caso Simple – Empotrado (d) Caso Simple – Simple.

Las componentes del sistema, los detalles de las medidas de la columna, el tiempo de impresión y las componentes requeridas para el funcionamiento están especificadas en la Tabla 24 y Tabla 25 (Apéndice 6).

Para el comportamiento de la columna, se realizó la medición de la carga crítica aplicada a la columna al medir el peso aplicado con una balanza digital y luego compararlo con la carga crítica teórica. Se obtuvieron errores porcentuales menores al cinco por ciento. Las fórmulas utilizadas, los valores de las propiedades del material y los resultados experimentales están en la Tabla 27 (Apéndice 6).

En el caso de los perfiles en viga en voladizo, se muestra el modelo con la base del eje que permite rotar la figura: la sección transversal permite la aplicación de la carga en la viga y, así, visualizar la torsión y flexión de la viga en distintos puntos del perfil. De esta manera, se puede observar el comportamiento de las vigas en voladizo con distintos perfiles tanto en el eje fuerte como en el eje débil. A continuación, en la Figura 12 se muestran los perfiles en voladizo:

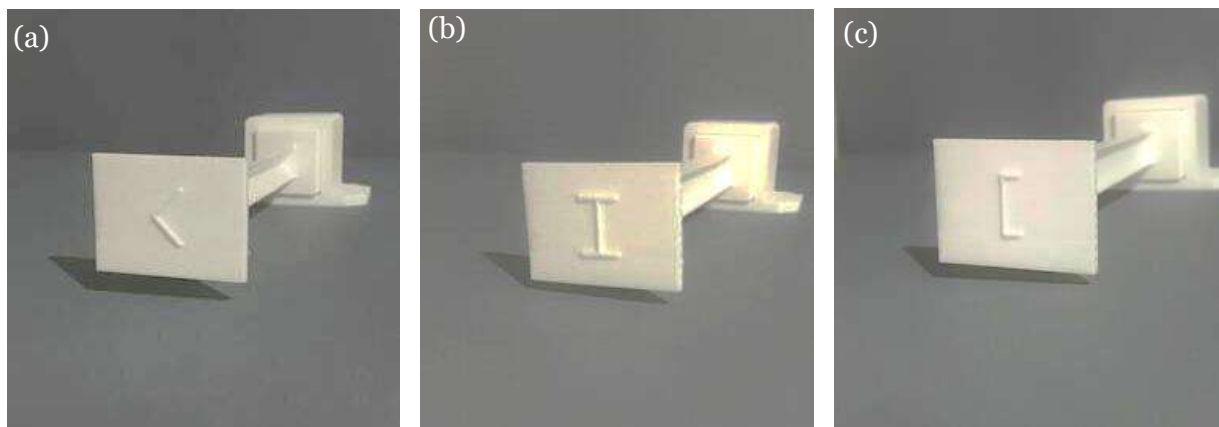


Figura 12: (a) Viga perfil ángulo rotado (b) Viga perfil doble T (c) Viga perfil Canal

Los diseños de los perfiles de las vigas en voladizo, los detalles de las medidas de los perfiles, el tiempo de impresión de los modelos y las componentes requeridas para el funcionamiento están especificadas en la Tabla 31 (Apéndice 6).

5.4. Impresión 3D - Curso Diseño en Acero

Para la demostración del pandeo lateral torsional de una viga en voladizo, se diseñó una viga de perfil rectangular con una perforación lateral para situar la carga de peso vertical. A continuación, en la Figura 13 se presenta el modelo de impresión 3D:

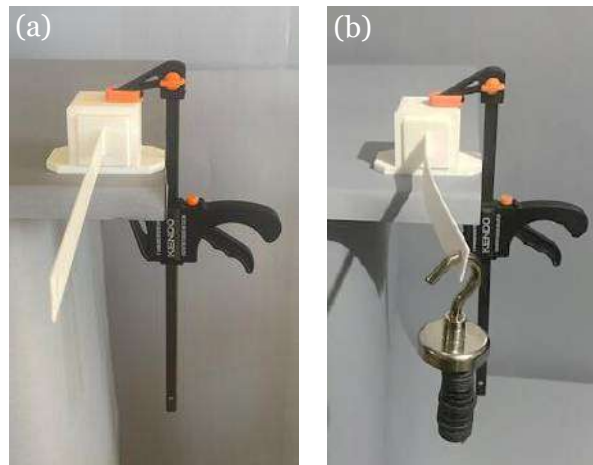


Figura 13: (a) Viga perfil rectangular (b) Viga con pandeo lateral torsional.

Las componentes del modelo, las medidas de la viga y el tiempo de impresión están especificadas en la Tabla 32 y Tabla 33 (Apéndice 6).

5.5. Estructura Análisis Cualitativo

El estudio utilizó un enfoque cualitativo exploratorio por la capacidad de comprensión de fenómenos sociales, comportamientos de personas y áreas sin explorar. Este tipo de enfoque es de carácter subjetivo por el rol del investigador en la interpretación y comprensión de los datos. Debido a la ausencia de un marco de referencia, se realizó una revisión bibliográfica resumiendo los datos en un cuadro comparativo para establecer una estructura para diseñar el análisis cualitativo. Los datos para cada estudio se exponen en la Tabla 9 (Apéndice 1).

De este modo, empleando la triangulación de metodologías, la técnica utilizada para la recolección de datos es a través de entrevistas semiestructuradas de carácter individual, dirigidas a expertos en el área de ingeniería estructural, consolidando la información en el programa de análisis cualitativo ATLAS.ti, y utilizando la triangulación de datos como método de verificación.

El total de entrevistados es de veintitrés expertos en ingeniería estructural, compuestos por docentes de cursos estructurales, ayudantes (incluyendo ex – ayudantes) de los cursos seleccionados, así como egresados y titulados en el área.

La clasificación de los expertos se realizó en base a tres criterios: El primer criterio considera el análisis de todas las respuestas, sin distinción entre los participantes. El segundo criterio corresponde al rol del experto, diferenciando profesores de los estudiantes. Y en el tercer criterio, se agrupan basándose en la experiencia del experto dentro del curso: análisis estructural, dinámica de estructuras, diseño en acero y mecánica de materiales.

A continuación, en la Tabla 1 se presenta la distribución de los expertos en la siguiente tabla:

Tabla 1: Grupos de clasificación de expertos

Cursos	Estudiantes	Profesores	Total por curso	Porcentaje por curso
Análisis de Estructuras	4	2	6	26%
Dinámica de Estructuras	2	2	4	17%
Mecánica De Materiales	5	2	7	30%
Diseño en Acero	5	1	6	26%
Total por rol	16	7	23	100%
Porcentaje por rol	70%	30%	100%	

Para determinar el punto de saturación alcanzado con las entrevistas realizadas, se analizó la progresión de los temas mencionados por cada experto, contrastando con los temas emergentes relevantes para el estudio. A continuación, en el Gráfico 1 se representa la evolución de los datos:

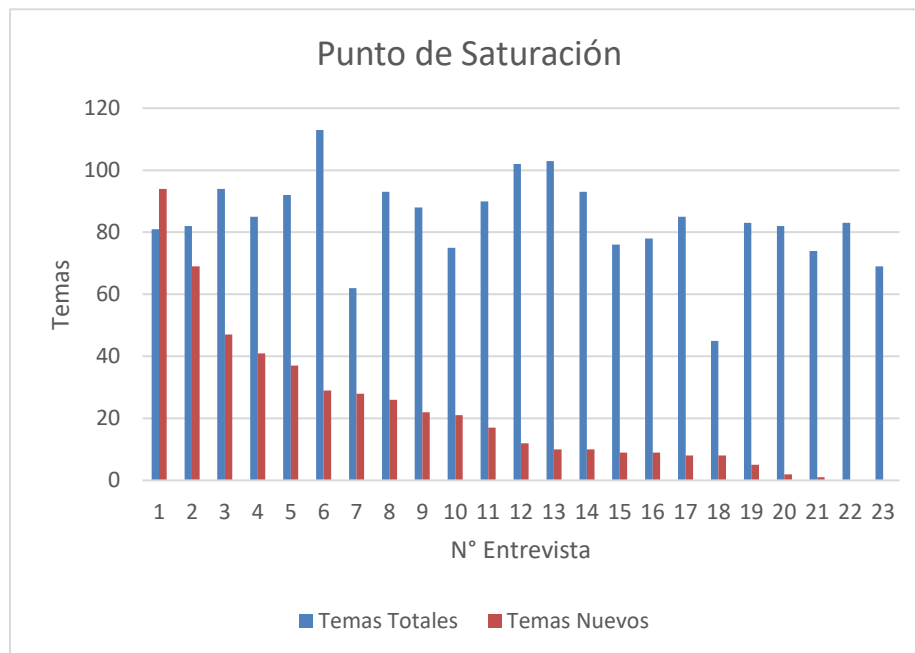


Gráfico 1: Representación saturación de temas.

De este modo, se observa cómo disminuye la cantidad de temas nuevos relevantes en la investigación a medida que se desarrollaban más entrevistas. De estos datos se afirma que la investigación obtuvo el 100% de la saturación de los datos. Los datos utilizados en el gráfico se exponen en la Tabla 8 (Apéndice 2).

Definido el enfoque del estudio, las técnicas y método de verificación, el programa de análisis de datos y los criterios para la distribución de los expertos en grupos, se muestran los resultados del estudio cualitativo.

5.6. Indicadores porcentuales

En la consolidación de los datos se reflejaron los siguientes patrones: el 43% (10/23) consideró que captar la atención de los estudiantes es el desafío actual en el entorno del aula de clases, abarcando temas como la falta de interés de los estudiantes, dificultad para visualizar los conceptos abstractos con los métodos de aprendizaje tradicional, lo que conlleva a una

desconexión entre la teoría y la práctica. Al presentar los modelos y explicar su funcionamiento y los conceptos que representan el 78% (18/23) perciben que los modelos de impresión 3D impactarán positivamente el aprendizaje, donde el 74% (17/23) consideró que la propuesta es innovadora en el ámbito de la enseñanza, pues consideran que mejoraría la comprensión de conceptos abstractos complejos de los cursos estructurales, plantean que es un complemento práctico para reforzar los contenidos teóricos y que proporciona nuevos métodos de enseñanza para estudiantes con distintos tipos de aprendizaje, en cuanto a la integración de manera efectiva en los cursos, se obtuvo que el 65% (15/23) está de acuerdo de que se integrarían de manera efectiva en los cursos, pues facilita la visualización de contenido complejo y abstracto, promueve el aprendizaje experimental tangible y posibilita las demostraciones prácticas en clases.

También se menciona que el 44% (10/23) plantea modificaciones centrados en el diseño de los modelos propuestos y el 39% (9/23) propone implementar los modelos propuestos a otros cursos del área (estática de estructuras, fundamentos de análisis estructural y/o introducción a la ingeniería) o en otras carreras (Ingeniería en construcción civil o Arquitectura). El 83% (19/23) de los expertos expresaron las siguientes ventajas: una mayor facilidad de comprensión de conceptos teóricos, una mayor retención de conocimientos debido a la experiencia kinestésica y el incremento de la motivación e interés de los estudiantes en torno al aprendizaje como factores influyentes para el aprendizaje de los estudiantes; en oposición, el 17% (4/23) considera que los modelos no tendrían un impacto en el aprendizaje, señalando que con el aprendizaje teórico es suficiente y la limitación en la exactitud de la representación de los fenómenos estudiados en los cursos estructurales. Similarmente, un 17% (4/23) de los expertos consideró la no viabilidad de utilizar los modelos de impresión 3D por limitaciones del tiempo en la planificación de las clases, donde también consideran que la integración de los modelos en cursos estructurales avanzados requiere un enfoque más matemático que visual. Aun así, se obtuvo un 100% (23/23) de los expertos afirman que sería un aporte la implementación de los modelos de impresión 3D en los cursos del área de ingeniería estructural.

Si bien los indicadores porcentuales son útiles para desarrollar tendencias para datos generales, para respaldar la información se debe emplear la triangulación de datos para comprobar que los resultados sean coherentes con investigaciones que presenten enfoques similares al tema de estudio. Por lo que al realizar una revisión bibliográfica, centrándose en los datos de la Tabla 34 (Apéndice 7), se presentan 13 artículos de investigaciones que, mediante distintas técnicas de recolección de datos (cuestionarios, pruebas, entrevistas) con enfoques cuantitativos, cualitativos y mixtos, presentan resultados que demuestran que el uso de herramientas didácticas genera un impacto positivo y potencian el aprendizaje de los estudiantes, lo que es coherente con lo obtenido en los indicadores porcentuales.

Para profundizar en el análisis de los datos, se distribuyeron a los expertos en grupos (muestra total, por rol y por curso) donde se busca plantear una visión representativa, contrastar cada enfoque, y establecer similitudes y diferencias según el criterio en estudio. El método de validación utilizado corresponde al de verificación cruzada de datos y, para facilitar el análisis de los datos, se empleó un programa de estudio cualitativo.

5.7. Programa ATLAS.ti Análisis Cualitativo

En el programa ATLAS.ti se transcribieron las veintitrés entrevistas y, mediante un análisis de contenido inductivo, se identificaron 974 citas y 162 códigos, 12 categorías. En la Tabla 2 se presenta un extracto de los códigos con la mayor presencia en las respuestas de los expertos:

Tabla 2: Extracto de los códigos con mayor presencia en el análisis de datos.

Código	Enraizamiento
Factibilidad de emplear los modelos de impresión 3D	239
Representar los contenidos del curso con modelos de impresión 3D	216
Aplicaciones generales de los modelos de impresión 3D	211
Actualidad del estudiante en el aula de clase	193
Rol del estudiante en el aprendizaje	192
Visualización de los conceptos	191
Representación empírica	182
Conceptos claves del curso	161
Actividad experiencial	150
Impacto en el aprendizaje del estudiante	149

Asimismo, se presenta en la Tabla 3 las categorías.

Tabla 3: Categoría de los códigos generados.

Categorías	Códigos
Enfoque actividad experimental	79
Propiedades y aplicación de los modelos de impresión 3D	72
Proyección de implementación de los modelos de impresión 3D	61
Impacto sobre el uso potencial de los modelos de impresión 3D	60
Estructura modelo educativo y pedagogía	58
Conceptos clave de los cursos	49
Metodología aprendizaje activo	46
Experiencia del estudiante	31
Desafíos actuales en el área educacional	31
Cursos área ingeniería estructural	23

Para facilitar la comprensión del proceso de codificación de los datos se desarrolló un diccionario, esto es, el nombre de la categoría de un conjunto de códigos, la definición de la categoría y una cita de ejemplo, expuesto en la Tabla 35 (Apéndice 8).

También se determinó la frecuencia de los códigos para los tres criterios. En el primer grupo, asociado a los veintitrés expertos, los datos de los códigos con sus respectivos porcentajes están ubicados en la Tabla 36 (Apéndice 9). Y, con el diagrama de Sankey, en la Figura 14 se representan visualmente la distribución de la frecuencia de los códigos.

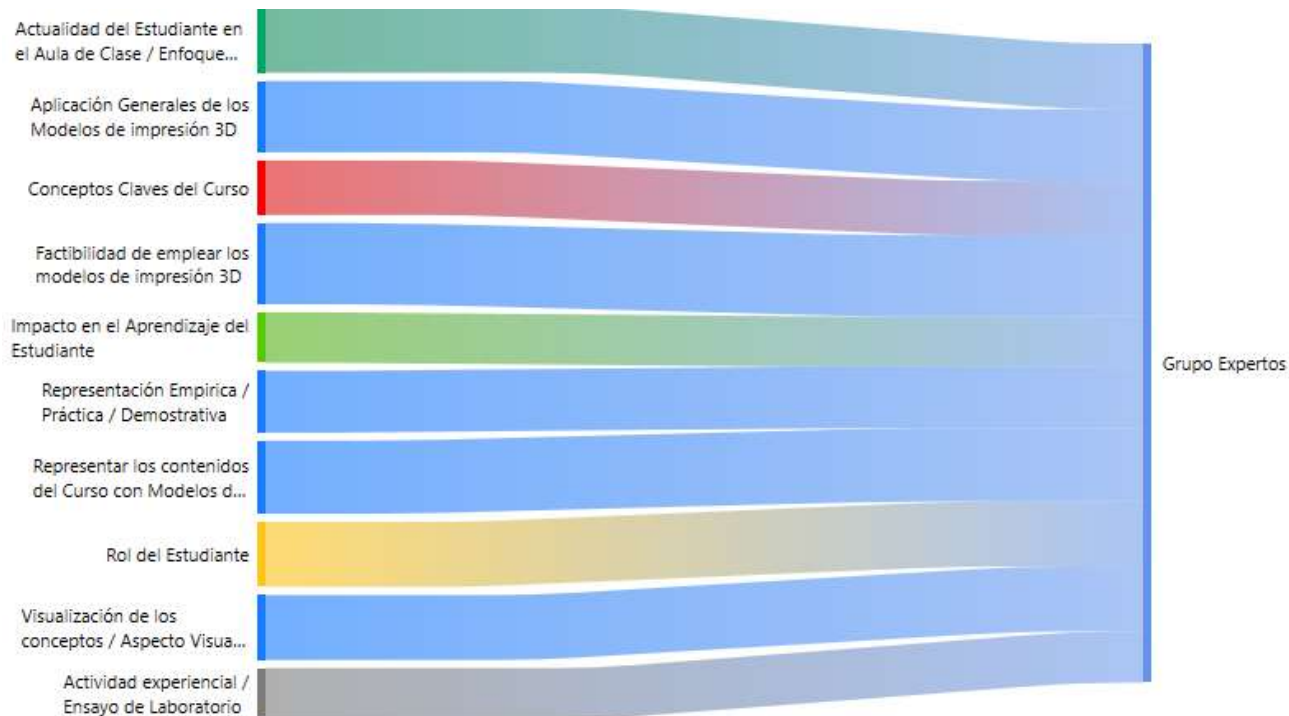


Figura 14: Diagrama de Sankey del grupo de estudio.

En el segundo criterio, se muestran la frecuencia de los códigos de los docentes y estudiantes, correspondientes a la Tabla 37, Tabla 44 y Tabla 38, respectivamente. Las tablas están ubicadas en el Apéndice 9. Para complementar la información de la distribución de los códigos se muestra en la Figura 15 el diagrama de Sankey de los expertos agrupados por rol.

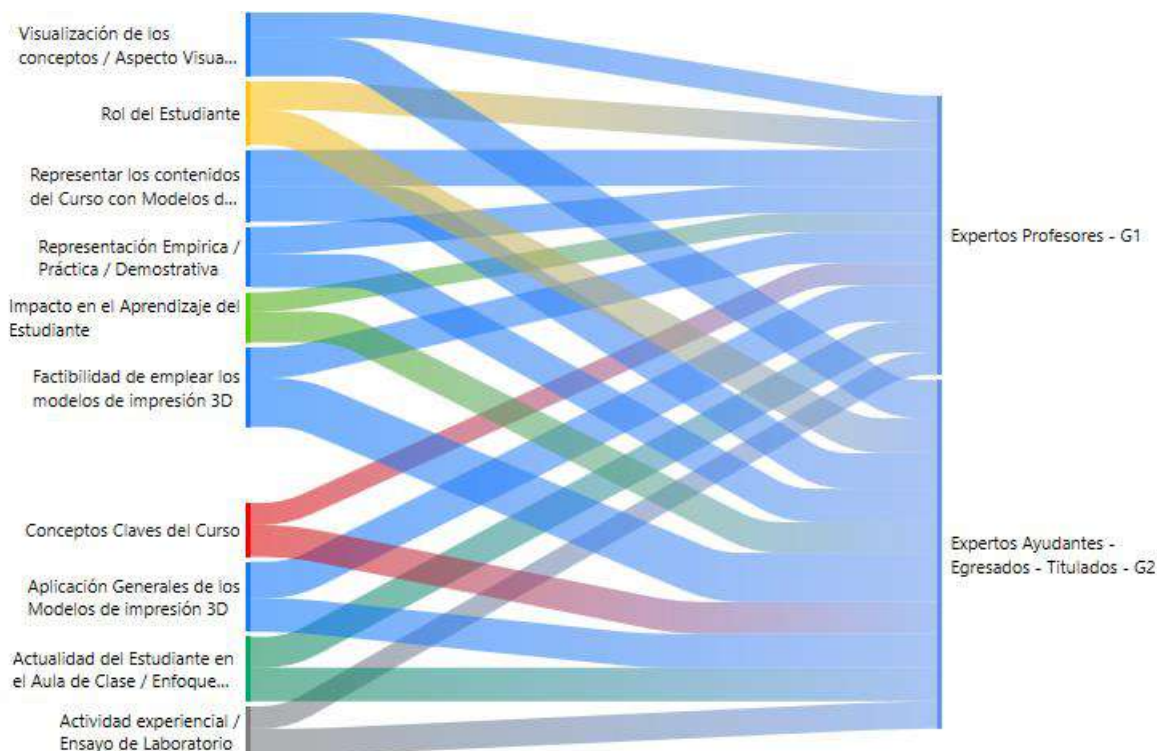


Figura 15: Diagrama de Sankey del grupo de profesores y estudiantes.

En el tercer criterio se muestran la frecuencia de los códigos de los cursos análisis estructural, dinámica de estructuras, mecánica de materiales y diseño en acero (Tabla 39, Tabla 40, Tabla 41 y Tabla 42, respectivamente). Las tablas están ubicadas en el Apéndice 9. Para complementar la información de la distribución de los códigos de los expertos se muestra en la Figura 16 el diagrama de Sankey agrupados por curso.

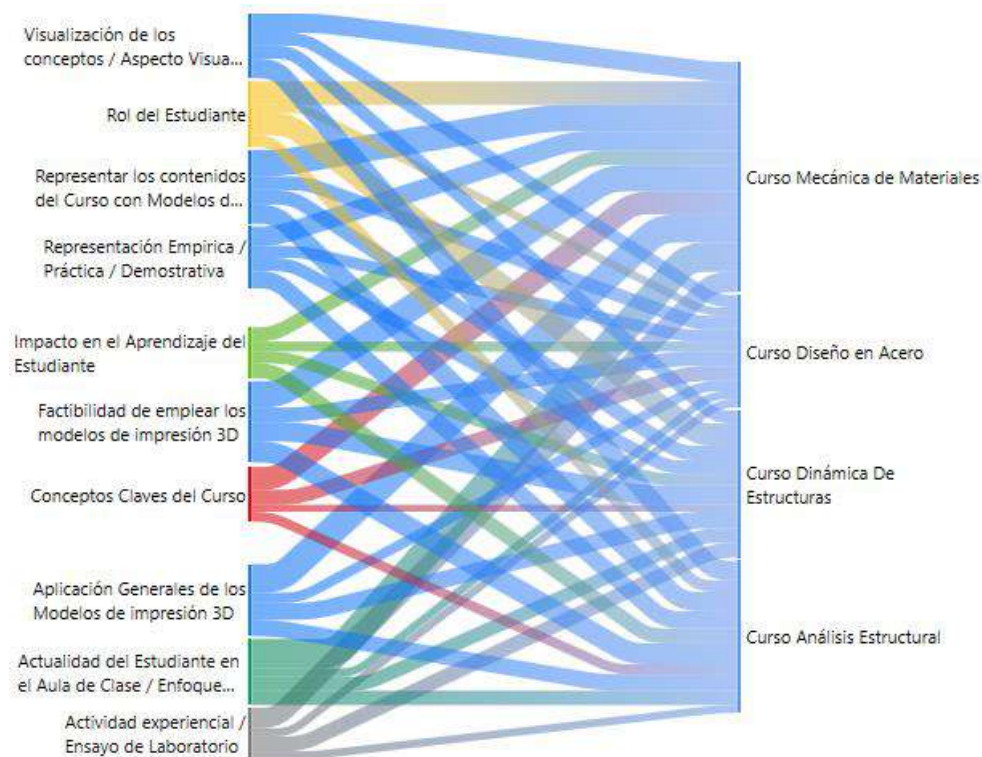


Figura 16: Diagrama de Sankey de los cursos.

En ATLAS.ti se utilizó una herramienta denominada nube de palabras, la que permite representar visualmente los términos más utilizados por cada conjunto de expertos y, de esta forma, visualizar el enfoque de las respuestas proporcionadas por cada grupo. La nube de palabras de la muestra total corresponde a la Figura 27. El criterio de los expertos por rol (docentes y estudiantes) se presentan en la Figura 28 y Figura 29, respectivamente. El criterio de expertos por cursos (análisis estructural, dinámica de estructuras, mecánica de materiales y diseño en acero) corresponden a las Figura 30, Figura 31, Figura 32 y Figura 33, respectivamente. Las figuras están ubicadas en la sección del Apéndice 10.

Para profundizar en el análisis de datos de las respuestas de los expertos, se contrastaron las respuestas del criterio general, por rol y por curso. Para desarrollar esta comparación, se realizó el cruce de los datos de los códigos con mayor frecuencia con los temas que son mencionados por todo el grupo analizado, obteniendo así una visión representativa de cada grupo, detallado en el siguiente apartado.

5.8. Verificación Cruzada de Datos

Se identificaron los códigos con mayor frecuencia para cada grupo objetivo: el análisis general de los datos (Tabla 36), el grupo de los docentes (Tabla 37), el grupo de los estudiantes (Tabla 38), y los cursos de análisis estructural (Tabla 39), dinámica de estructuras (Tabla 40), mecánica de materiales (Tabla 41) y diseño en acero (Tabla 42). Asimismo, se determinaron los códigos

presentes en las respuestas de todos los participantes de cada grupo objetivo: en el análisis general de los datos (Tabla 50), el grupo de los docentes (Tabla 51), el grupo de los estudiantes (Tabla 52), y los cursos de análisis estructural (Tabla 53), dinámica de estructuras (Tabla 54), mecánica de materiales (Tabla 55) y diseño en acero (Tabla 56). Las tablas están ubicadas en la sección del Apéndice 11.

En la muestra de datos se realizó el cruce de los datos para cada grupo objetivo, por medio de los códigos con mayor frecuencia con los datos mencionados por cada uno de los expertos. lo que posibilitó obtener los códigos más representativos. A continuación, se especifican los códigos resultantes para cada criterio establecido: en el análisis general de los datos (Tabla 57), el grupo de los docentes (Tabla 58), el grupo de los estudiantes (Tabla 59), los cursos de análisis estructural (Tabla 60), dinámica de estructuras (Tabla 61), mecánica de materiales (Tabla 62) y diseño en acero (Tabla 63). Los datos de las tablas se detallan en Apéndice 12.

En el siguiente apartado se utilizarán los datos obtenidos de la verificación cruzada para el desarrollo de las tablas comparativas del conjunto para cada criterio y establecer la perspectiva de cada grupo.

5.9. Tablas Comparativas Por Grupo Objetivo

En la Tabla 4 se presenta el conjunto general de los expertos.

Tabla 4: Datos representativos de los expertos.

Expertos – Tamaño 23
Actualidad del Estudiante en el Aula de Clase
Conceptos Claves del Curso
Factibilidad de emplear los modelos de impresión 3D
Impacto en el Aprendizaje del Estudiante
Rol del Estudiante
Visualización de los conceptos

Al consolidar la información y analizar los datos representativos de los expertos, se observa que un aspecto relevante en el aprendizaje en clases es la influencia de varios factores que repercuten en la comprensión de los contenidos de los cursos. En este contexto, es importante plantear estrategias pedagógicas que promuevan la participación del estudiante, la representación e interacción con los conceptos claves y el desarrollo de habilidades autodidactas. De esta manera, destacan la visualización de los conceptos a través del uso de herramientas didácticas generadas con impresión 3D, la cual permite explicar de forma tangible los contenidos teóricos del curso de forma práctica y, de esta forma, ampliar las alternativas para reforzar el proceso de aprendizaje con métodos más dinámicos para el estudiante.

Para complementar los códigos obtenidos de la verificación cruzada del análisis general de las respuestas, se representan visualmente mediante la red de palabras (Figura 34, Apéndice 13) para facilitar la interpretación de la conexión entre los códigos.

En el segundo criterio, se agrupó según el rol del experto; la Tabla 5 presenta los códigos representativos del grupo objetivo:

Tabla 5: Comparativa expertos por rol.

Códigos	Profesores – Tamaño 7	Estudiantes – Tamaño 16
Actividad experiencial		X
Actualidad del Estudiante en el Aula de Clase	X	X
Conceptos Claves del Curso	X	X
Factibilidad de emplear los modelos de impresión 3D	X	X
Impacto en el Aprendizaje del Estudiante	X	X
Representación empírica		X
Representar los contenidos del Curso con Modelos de impresión 3D		X
Rol del Estudiante	X	X
Visualización de los conceptos	X	X

Al consolidar la información y analizar los datos representativos por grupo, diferenciando a los expertos en roles de docente y estudiantes, se observa que ambos grupos presentan un enfoque en común sobre la importancia del rol del estudiante, así como, en el ámbito de las clases, la visualización y comprensión de los conceptos clave de los cursos y la factibilidad de representarlos mediante el uso de modelos de impresión 3D. El enfoque de los profesores es más general, mientras que los estudiantes amplían otros aspectos como la representación de los contenidos del curso de forma empírica con los modelos generados con impresión 3D, a través de actividades experienciales. Esto sugiere que los estudiantes destacan la aplicación práctica de estos modelos en actividades dentro del proceso educativo, integrando la teoría con la práctica al priorizar el aprendizaje basado en experiencias como un método para reforzar los contenidos vistos en clases.

Para complementar los códigos obtenidos de la verificación cruzada, se representan visualmente mediante la red de palabras las respuestas tanto de los docentes como estudiantes en la Figura 35 y Figura 36, respectivamente. Las figuras están ubicadas en la sección de Apéndice 13.

El tercer criterio se basó en el área de especialización del experto dentro de los cursos; en la Tabla 6 se presentan los códigos representativos del grupo objetivo:

Tabla 6: Comparativa expertos por curso.

Códigos	Análisis Estructural – Tamaño: 6	Dinámica de Estructuras - Tamaño:4	Mecánica de Materiales – Tamaño: 7	Diseño en Acero – Tamaño: 6
Actividad experiencial		X	X	X
Actualidad del Estudiante en el Aula de Clase	X	X	X	X
Aplicación General de los Modelos de impresión 3D		X	X	
Conceptos Claves del Curso	X	X	X	X
Factibilidad de emplear los modelos de impresión 3D	X	X	X	X
Impacto en el Aprendizaje del Estudiante	X	X	X	X
Representación empírica		X	X	X
Representar los contenidos del Curso con Modelos de impresión 3D		X	X	X
Rol del Estudiante		X	X	X
Visualización de los conceptos		X	X	X

Al comparar los datos de la Tabla 6, se observa que el enfoque de los expertos radica en la comprensión de los conceptos claves al desarrollar el contenido teórico de forma práctica con el fin de facilitar la visualización de los contenidos del curso, lo que conlleva a una interacción del estudiante con herramientas didácticas.

En cuanto al análisis de los datos por curso, se observa que el enfoque de los expertos del curso de Análisis Estructural se basó en la actualidad del estudiante dentro del aula y la factibilidad del uso de modelos impresos en 3D; en cambio, los expertos de los otros cursos profundizaron el tema de la representación empírica y las actividades experienciales, las cuales están orientadas en el aprendizaje basado en la experimentación. Particularmente, los expertos en Dinámica de Estructuras y Mecánica de Materiales mencionaron otros ámbitos para el uso general de la tecnología de impresión 3D.

Para complementar los códigos obtenidos de la verificación cruzada, las respuestas por curso se representan mediante la red de palabras, siendo la Figura 37 el curso análisis estructural, la Figura 38 el curso de dinámica de estructura, la Figura 39 el curso de mecánica de materiales y la Figura 40 el curso diseño en acero. Las figuras están ubicadas en la sección de Apéndice 13.

El análisis para cada criterio definido se desarrolló también para las categorías de los datos, obteniendo para los datos generales lo expuesto en la Tabla 64 , la tabla comparativa por rol del experto (la Tabla 65) , y por último, los datos de los expertos diferenciados por curso (la Tabla 66).

En el caso de las categorías, se observa tanto en la respuesta general (Tabla 64), como la diferenciada por rol del experto (Tabla 65), y la descrita por experiencia del experto en el curso (Tabla 66), no presentan variación en las categorías, exceptuando las respuestas generadas por el

curso de análisis estructural. Esto permite plantear que las ideas de los expertos en general, indistintamente del criterio establecido, se alinean en el impacto sobre el uso potencial de los modelos de impresión 3D en la estructura del modelo educativo y, por consiguiente, a la pedagogía. Estos refuerzos permiten cambios en la metodología de las clases tradicionales, complementando el aprendizaje mediante la integración de actividades experimentales, una metodología de aprendizaje activo, modificando la dinámica del rol pasivo del estudiante en clases a uno activo, esto al proyectar la implementación de los modelos de impresión 3D como apoyo educativo.

6. Discusión

La investigación abarca la fabricación y diseño de modelos generados con impresión 3D para representar conceptos claves de cursos del área de ingeniería estructural, una búsqueda bibliográfica para estructurar una metodología adecuada para el estudio cualitativo y, por último, explorar el uso potencial de los modelos de impresión 3D en cursos de ingeniería estructural y plantear las condiciones para su implementación como recurso educativo.

6.1. Diseño de los modelos 3D.

Los marcos planos (Figura 8), diseñados para el curso análisis estructural, están basados en la investigación de Virgin (2017b). Aunque presentan diferencias en el diseño con el propósito de acentuar la visualización de la deflexión del marco plano ante la carga vertical, los cambios efectuados son: La separación del marco plano en dos componentes la base con la estructura, lo que permite representar las condiciones de apoyo (apoyo empotrado y/o apoyo simple). También se añadió una extensión en la sección externa de la conexión viga-columna (Figura 7), ésta presenta una sección circular para acoplar un mosquetón y, así, facilitar la carga a la estructura. La otra diferencia está en la base del marco plano, que proporciona un apoyo para sujetar al marco plano en una posición rotada, facilitando el registro de las cargas aplicadas, tipo peso, eliminando la presencia de fuerzas externas.

El sistema de marcos planos (Figura 9), diseñado para el curso de Dinámica de Estructuras, es un modelo mejorado de Virgin (2017a). Ambos modelos representan el comportamiento de las frecuencias naturales del marco plano al aplicar cargas dinámicas. No obstante, presentan diferencias en el diseño del modelo. El sistema propuesto fija tres marcos planos, de diferentes alturas (10, 15 y 20 centímetros), en las bases de marcos planos y se fijan mediante un pasador, para luego aplicar una carga dinámica y observar las diferentes oscilaciones que presentan los marcos planos de acuerdo con sus frecuencias naturales relacionadas a sus alturas. Además, el modelo permite el registro de la aceleración al fijar encima de la viga un receptáculo para posicionar un acelerómetro (Figura 9). En cambio, el diseño de Virgin (2017a) sólo determina el comportamiento de la frecuencia natural de un marco plano.

El sistema de pandeo columna y los perfiles de vigas en voladizo, Figura 10 y Figura 12, respectivamente, son modelos para el curso de Mecánica de materiales. El primer modelo mejora el diseño de Virgin (2018), el sistema estructural permite mostrar el pandeo asociado a distintas condiciones de borde de una columna sometida a una carga axial. No obstante, debido a que se busca visualizar el pandeo de la columna, en el caso que la carga aplicada es superior a la carga crítica la columna presentará una deformación plástica, por lo que se sugiere generar la impresión de un conjunto de columnas. En el caso de las vigas en voladizo, Figura 12, se basó del estudio de Virgin (2021), donde muestra el comportamiento de las vigas en voladizo del centro de corte, flexión y torsión para los perfiles canal, doble T y ángulo. La diferencia entre ambas

propuestas es que a las vigas en voladizo se le incorpora una base que permite la rotación del perfil de la viga, lo que posibilita observar el comportamiento en flexión, torsión del eje débil como el eje fuerte del perfil.

La viga en voladizo de perfil rectangular (Figura 13), fabricada para el curso diseño en acero, presenta diferencias del modelo de Virgin & Harvey (2023) el diseño utiliza el modelo de las vigas en voladizo y modifica la sección lateral de una viga con una sección circular para aplicar una carga vertical de corte y así demostrar el comportamiento del pandeo lateral torsional.

Respecto a la funcionalidad de los modelos impresos, si bien los modelos representan cualitativamente el comportamiento de los contenidos de los cursos estructurales, se realizó pruebas de mediciones para los marcos planos de análisis estructural y el sistema pandeo columna de mecánica de materiales. Los resultados experimentales se detallan en la Tabla 18 y Tabla 27 (Apéndice 6). Estos valores empíricos, al compararlos con los valores teóricos, presentan errores porcentuales menores al 5%.

6.2. Modelo de estudio cualitativo.

En cuanto a la metodología del estudio cualitativo, la técnica de recolección de datos (entrevistas semiestructuradas), se eligió para poder explorar la opinión de los expertos sobre la actualidad de la educación, los desafíos en el proceso de enseñanza, la factibilidad de integrar los modelos 3D en los cursos ingenieriles, las expectativas de la aplicación de los modelos o una retroalimentación general de la propuesta de investigación. Para verificar que la cantidad de expertos de la muestra es adecuada, se apoya en el punto de saturación, donde los estudios de Cantelmi et al. (2021) indican que el punto de saturación para entrevistas es obtenido entre doce a trece participantes. Al desarrollar 23 entrevistas en el estudio, se obtuvo un 100% de punto de saturación; esto se observa en el Gráfico 1 donde, a medida que avanzan las entrevistas, disminuye la cantidad de temas nuevos relevantes hasta no presentar nuevos temas en las últimas entrevistas. El grupo de expertos se consideró relativamente homogéneo, dado que comparten experiencia en el área estructural y poseen una similar formación académica. Por último, para estructurar la metodología de la investigación se contó con el asesoramiento de expertos en el área cualitativa por parte de los expertos de la Universidad Técnica Federico Santa María, Felipe Araya y de la Universidad de Valparaíso Marcela Vizcarra que corrigieron aspectos sobre la metodología del estudio.

6.3. Análisis de datos.

Para los datos generales, se utilizó la triangulación de datos como método de validez en los resultados, y para profundizar en el análisis de datos, se distribuyeron a los expertos en grupos (la muestra total, por rol y por curso) para contrastar los enfoques y plantear una visión representativa para cada criterio, donde se utilizó la verificación cruzada en los datos como método de verificación.

En los indicadores porcentuales, los expertos mostraron una impresión positiva a los modelos presentados para los cursos estructurales, reflejado en las respuestas donde el 83% (19/23) percibe un impacto positivo de los modelos de impresión 3D en el aprendizaje, ya que permitirían captar la atención de los estudiantes, visualizar de forma empírica los contenidos del curso y como un reforzamiento en el aprendizaje. En oposición, el 17% (4/23) de los expertos señala que su implementación no tendría un impacto significativo en el aprendizaje. Sobre la integración de los modelos propuestos en los cursos ingenieriles, 65% (15/23) sostienen que son adecuados y podrían integrarse de manera efectiva. Por otro lado, el 17% (4/23) plantea que las

dificultades sobre la implementación de estos modelos son debido a las limitaciones de tiempo en las clases, la falta de experiencia en el uso de los modelos por parte de los estudiantes y profesores, y que los modelos presentan conceptos básicos para cursos avanzados. Estas dificultades son aspectos que se deben considerar para generar una experiencia adecuada para la implementación de los modelos de impresión 3D. En términos generales, el 100% (23/23) de los expertos afirman que sería un aporte la implementación de los modelos de impresión 3D en los cursos del área de ingeniería estructural, estos resultados son coherentes con los datos proporcionados de la Tabla 34 (Apéndice 7), donde se revisaron 13 investigaciones, que sustentan y demuestran que el uso de instrumentos físicos permite potenciar el aprendizaje en los estudiantes.

Para profundizar en el análisis de datos se utilizó el programa ATLAS.ti, desarrollando el análisis de contenido inductivo, método utilizado para explorar e identificar temas en estudios cualitativos sin un marco predefinido. El proceso utilizado es iterativo pues se realizó la generación, interpretación y codificación de las citas para cada entrevista. Posteriormente, se realizó una revisión general para una mayor precisión en los datos resultantes, lo que implicó la eliminación de citas innecesarias, fusión de códigos redundantes, la reformulación de códigos y la creación de los grupos de códigos (categorías). Generando así 947 citas, asignando 167 códigos y agrupando los códigos en 12 categorías para los datos analizados.

El objetivo de la división en criterios es observar si los datos presentan una variación al analizar la respuesta general, por el rol del experto o por la experiencia dentro del curso. Y de esta manera, comparar y contrastar los enfoques de cada grupo. Además, se puede plantear la convergencia en las percepciones de los grupos o si, por el contrario, cada grupo prioriza otros aspectos dentro del área de estudio.

En base a lo anterior, uno de los parámetros relevantes en la investigación es determinar la frecuencia de los códigos, estos valores son extraídos del programa ATLAS.ti y se presentan en formato de tablas de frecuencia, donde los códigos son presentados de forma decreciente. Para el criterio de las respuestas generales, los datos se exponen en la Tabla 36, en el caso del criterio por rol, la tabla de frecuencia de los docentes corresponde a la Tabla 37, y la de los estudiantes es la Tabla 38; el criterio de la experiencia del experto por curso, la tabla asociada a los expertos de análisis estructural, dinámica de estructura, mecánica de materiales y diseño en acero corresponden a las Tabla 39, Tabla 40, Tabla 41 y Tabla 42, respectivamente. No obstante, estos datos no se consideran como una visión representativa bajo el criterio de que solo corresponden a los códigos con mayor cantidad de ocurrencias a nivel grupal y no necesariamente representan la visión de todos los expertos de forma individual; aun así, los datos son relevantes para la muestra del estudio. Para representar la variación de la frecuencia de los códigos, se apoya en los diagramas de Sankey que permiten visualizar la distribución de las frecuencias, acorde a las tablas de frecuencia donde la amplitud del código corresponde a su frecuencia. Para el primer criterio se representa en la Figura 14, el segundo criterio de los roles de los expertos se expone en la Figura 15 y, por último, para la representación de experiencia del experto en el curso se expone en la Figura 16.

La nube de palabras es otra herramienta del programa ATLAS.ti que permite representar los términos más utilizados por criterio. En el primer criterio, se observa la nube de palabras en la Figura 27, donde los términos más repetidos son: modelos 3D, aprendizaje, ver y cursos. En el caso del segundo criterio, para los docentes es la Figura 28 y para los estudiantes es la Figura 29; al comparar ambas nubes, se observa que tienen en común los términos: modelos 3D, aprendizaje, experiencia, estudiantes y clases, y no presentan diferencias evidentes. En el último

criterio, basado en la experiencia de los expertos en los cursos de análisis estructural, dinámica de estructuras, mecánica de materiales y diseño en acero corresponden a la Figura 30, Figura 31, Figura 32 y Figura 33, respectivamente. Las similitudes dentro de las nubes de palabras consisten en los términos más utilizados son: modelos 3D, estudiante, ver y aprendizaje, mientras que las diferencias en cada una tienen relación con la experiencia desarrollada para cada curso, lo que quiere señalar que en los términos específicos, fueron mencionados más los conceptos relacionados a cada curso.

Para determinar una visión representativa para los criterios establecidos, se empleó la verificación cruzada de datos, donde se relacionaron dos variables de los datos de las entrevistas: la primera, son los códigos con mayor frecuencia en cada grupo, con los códigos que son mencionados de forma individual por todo el grupo. De este modo, este proceso buscó una perspectiva donde converjan los datos para cada criterio establecido, definir una visión representativa y generar un análisis comparativo preciso.

Para el primer criterio, los resultados de la verificación cruzada se exponen en la Tabla 57, en el caso del rol del experto de los docentes está detallado en la Tabla 58 y, para los estudiantes, en la Tabla 59. Por último, para los expertos por curso (análisis estructural, dinámica de estructuras, mecánica de materiales y diseño en acero) están en la Tabla 60, Tabla 61, Tabla 62 y Tabla 63, respectivamente. Para facilitar la comprensión de la conexión entre los códigos para cada criterio, se utilizó la red de palabras (herramienta del programa ATLAS.ti) que permite representar mediante un mapa la interpretación de los códigos y, de forma complementaria, simplificar el contraste de los códigos; se presentan tablas comparativas para cada criterio.

En el primer caso se expone los resultados asociados a todos los expertos, los códigos representativos están en la Tabla 4, y la relación entre los códigos está descrita en la red de palabras de la Figura 34. Acorde a los resultados, la visión general de los expertos tiene una percepción positiva de los modelos de impresión 3D, donde el principal factor es la factibilidad de su utilización, siendo su principal ventaja la visualización de los conceptos y, con esto, se busca generar un impacto en el aprendizaje, repercutiendo en la actualidad del aprendizaje del estudiante, y también en su rol dentro de la estructura del aprendizaje, donde se busca reforzar los conceptos claves asociados a los cursos. Para el segundo caso se muestra la Tabla 5, contrastando los códigos representativos de los docentes versus la de los estudiantes; como se puede observar, ambos presentan códigos asociados a la factibilidad de emplear los modelos de impresión 3D, el aspecto visual, el impacto en el aprendizaje, el rol del estudiante y el reforzamiento de los conceptos clave. Más aún, los expertos en el grupo de los estudiantes amplían sus ideas al describir otros aspectos como la actividad experiencial, la representación empírica y la representación de los contenidos del curso con modelos de impresión 3D, implicando que la visión de los estudiantes integra aspectos sobre la metodología y los beneficios de implementar los modelos, la representación de los contenidos del curso de forma empírica y así generar un refuerzo de los conceptos clave asociado a cada curso.

Esto se refleja al observar sus respectivas redes de palabras para los docentes (Figura 35) y los estudiantes (Figura 36). En el caso de expertos por curso, se expone en la Tabla 6 los códigos representativos para cada curso, donde se observa que los expertos en análisis estructural presentan una cantidad menor de códigos, mientras que los cursos de dinámica de estructuras y mecánica de materiales, y en diseño en acero presentan en su mayoría los mismos códigos. Esto significa que los expertos de análisis estructural se limitaron estrictamente a la factibilidad de emplear los modelos como su impacto en el estudiante y su capacidad de reforzar los conceptos clave, esto se refleja en su respectiva red de palabra, Figura 37. En los otros cursos la visión de

los expertos además de integrar los conceptos generales de la factibilidad de utilizar los modelos, las actividades experienciales, el impacto en el aprendizaje y reforzamiento de los conceptos clave, añade los aspectos de las aplicaciones de los modelos de impresión 3D, lo que significa que además de verlo dentro del ámbito educativo amplían su uso en otras áreas, esto visto para los casos de la red de palabras de dinámica de estructuras reflejado en la Figura 38 y mecánica de materiales en la Figura 39, donde el curso diseño en acero no integra este concepto dentro de su red, visto en la Figura 40.

6.4. Condiciones de mejora.

En el diseño de los modelos de impresión 3D, existen potenciales mejoras que se podrían aplicar a los modelos actuales donde se puede abarcar otros aspectos teóricos para facilitar la representación de conceptos abstractos de los contenidos de otros cursos de ingeniería estructural y/o ampliar su aplicación en otras carreras como construcción civil o arquitectura. Para la modificación en los marcos planos de análisis estructural (Figura 1), se sugiere añadir una extensión de una columna paralela a las columnas del marco plano que no interactúen con la estructura para facilitar la medición de la deflexión de la columna. Además, es posible la incorporación de configuraciones como arriostramientos, vigas o columnas desmontables. En el sistema de marcos planos de dinámica de estructuras (Figura 2), se sugiere generar un diseño de un marco plano con altura ajustable y la creación de una base para fijar el sistema estructural. En los modelos de mecánica de materiales para el sistema de pandeo columna (Figura 3), se plantea la incorporación de la medición de la deflexión lateral de la columna versus la carga aplicada y de cambiar el material de carga por uno que sea más fácil de aplicar (arena o similares) y, en el caso de las vigas en voladizo (Figura 4), es recomendable el desarrollo de otras variantes como sección rectangular, circular o zeta, además de generar los modelos a mayor escala. En el caso de diseño en acero, se aconseja generar una estructura de dos vigas en voladizo con atiesadores removibles para representar el pandeo del sistema ante la aplicación de una carga y observar cómo cambia la respuesta estructural al integrar atiesadores en el sistema. Y al centrarse en el material, se plantea el estudio del comportamiento de los distintos tipos de filamento.

En cuanto a las mejoras que se pueden aplicar a la metodología del estudio cualitativo, se deben señalar que estos tipos de estudio presentan un sesgo subjetivo por parte del investigador, por lo que se aplicaron métodos de verificación para respaldar el análisis de los datos y sustentar los resultados. En el caso de la investigación, se utilizaron los métodos de triangulación de datos para el análisis preliminar y la verificación cruzada de datos para el análisis general. El motivo de emplear dos métodos de verificación es debido a la inviabilidad de determinar el grado de fiabilidad de los resultados debido a las condiciones de la investigación, cuyo dato permite la medición del índice de confiabilidad de los datos. Para determinarlo, se requiere que el análisis de datos sea hecho por dos o más investigadores, posibilitando la reducción del sesgo, la medición de la consistencia y precisión del análisis de los datos. Por este motivo, se recomienda para futuras investigaciones con enfoque cualitativo y/o mixto que sean desarrolladas por más de un investigador, llevando a cabo los estudios en una clase práctica para recolectar datos donde se incluya la percepción de los estudiantes y docentes en el análisis de los datos cualitativos.

7. Conclusiones

La investigación exploratoria analizó con un enfoque cualitativo la percepción de expertos lo que permitirá caracterizar el potencial de la tecnología de impresión 3D como instrumento

pedagógico en distintos aspectos del ámbito educativo universitario. La recopilación, procesamiento e interpretación de los datos recopilados permitió sustentar el uso de los modelos de impresión 3D como refuerzo del aprendizaje en el área educacional.

El desarrollo de la investigación permitió alcanzar cada uno de los objetivos específicos. Para el primer objetivo específico, diseñar modelos de impresión 3D, se generaron 5 diseños que representan los conceptos clave de los cursos estructurales seleccionados. En el segundo objetivo específico, realizar un análisis cualitativo e identificar las tendencias sobre el uso de modelos 3D para la ingeniería estructural, la interpretación de la percepción de los expertos sobre la iniciativa planteada reveló un impacto positivo y fundamental para el refuerzo de la enseñanza, lo que es coherente con los datos del análisis tanto preliminar como general. Por último, las condiciones de mejora para la aplicación de los modelos 3D como recurso educativo para la enseñanza de ingeniería, se identificaron mejoras aplicables que posibilitan el potenciar los actuales modelos de la investigación. Y, respecto a las mejoras del método de estudio cualitativo, es crucial para futuros estudios sigan una metodología con un enfoque cualitativo mixto conformado por múltiples investigadores para determinar la fiabilidad de la muestra integrando en la muestra la percepción de los estudiantes y docentes en el análisis de los datos.

Los resultados de la investigación concluyen que la tecnología de impresión 3D permite potenciar el aprendizaje, siendo un aporte multifuncional para el área de aprendizaje en los cursos de la ingeniería estructural. Cuyas desventajas se enfocan en la fabricación o el diseño, no así en su funcionalidad. Por lo que su potencial integración generaría un impacto positivo como un complemento para la metodología de enseñanza actual, sustentado por los análisis preliminar y general de los datos de los expertos.

Las limitaciones del estudio son el sesgo inherente del investigador que influye en el análisis cualitativo dificultando una verificación objetiva de los datos, los procesos prolongados de planificación abarcando el diseño e impresión de los modelos en las etapas iniciales para luego desarrollar la búsqueda y contacto con los expertos, la recolección de información mediante entrevistas y posterior transcripción, análisis y verificación de los datos cualitativos. En este contexto, la recomendación para estudios afines es efectuar la investigación con la participación de múltiples colaboradores para limitar los sesgos, optimizar los tiempos y asegurar la precisión de los resultados.

Para investigaciones futuras, los resultados obtenidos en el estudio exploratorio permiten respaldar el uso de los modelos de impresión 3D para actividades experimentales centrado en las demostraciones empíricas. Para profundizar en el comportamiento del material, se promueve el desarrollo de ensayos experimentales de los modelos para la comparación del comportamiento teórico versus el empírico. Respecto a su implementación en el aula, se incentiva realizar un estudio con enfoque mixto centrado en la efectividad de la metodología del aprendizaje activo aplicando los modelos de impresión 3D, recopilando la percepción de los estudiantes y docentes mediante cuestionarios con el propósito de potenciar la estructura actual del modelo pedagógico. Para esto, se debe contar con la autorización del programa académico dentro de la planificación del programa del curso, cumplir los requerimientos descritos en la fabricación de los modelos para la generación de los modelos contemplando los tiempos de impresión, el tipo de filamento y las características del modelo, ampliar el grupo objetivo para otros cursos de ingeniería y/o otras carreras afines, integrando en los modelos actuales las mejoras de los diseños propuestas, y por último establecer el punto de saturación acorde a investigaciones pasadas para presentar un estudio representativo.

8. Referencias bibliográficas

- Abdelnour, E. M. (2023). Propuesta para la incorporación del modelado e impresión 3D para la enseñanza de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica. *Revista Educación*. <https://doi.org/10.15517/revedu.v47i1.51675>
- Araya, F., & Vásquez, S. (2022). Challenges, drivers, and benefits to integrated infrastructure management of water, wastewater, stormwater and transportation systems. *Sustainable Cities and Society*, 82, 103913. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103913>
- Arroyo-Barriguet, J. L., Bada, C., Lazcano, L., Márquez, J., Ortiz-Lozano, J. M., & Rua-Vieites, A. (2023). Is it possible to redress noninstructional biases in student evaluation of teaching surveys? Quantitative analysis in accounting and finance courses. *Studies in Educational Evaluation*, 77, 101263. <https://doi.org/10.1016/j.stueduc.2023.101263>
- Assante, D., Cennamo, G. M., Placidi, L., Faculty of Engineering, & International Telematic University Uninettuno. (2020). 3D Printing in Education: an European perspective. In *IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)* (pp. 1133–1133). DOI:10.1109/EDUCON45650.2020.9125311
- Cantelmi, R., Di Gravio, G., & Patriarca, R. (2021). Reviewing qualitative research approaches in the context of critical infrastructure resilience. *Environment Systems and Decisions*, 41(3), 341–376. <https://doi.org/10.1007/s10669-020-09795-8>
- Chacón, R., Codony, D., & Toledo, Á. (2017). From physical to digital in structural engineering classrooms using digital fabrication. *Computer Applications in Engineering Education*, 25(6), 927–937. <https://doi.org/10.1002/cae.21845>
- Chong, S., Pan, G., Chin, J., Show, P., Yang, T., & Huang, C. (2018). Integration of 3D Printing and Industry 4.0 into Engineering Teaching. *Sustainability*, 10(11), 3960. <https://doi.org/10.3390/su10113960>
- Dart, S., & Lim, J. B. P. (2022). Three-Dimensional Printed Models for Teaching and Learning Structural Engineering Concepts: Building Intuition by Physically Connecting Theory to Real Life. *American Society of Civil Engineers, Journal of Civil Engineering Education*. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EI.2643-9115.078](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.2643-9115.078)
- Enríquez Chasin, R. I. & Colegio de Bachillerato Sara Serrano de Maridueña. (2001). La Efectividad del Aprendizaje Activo en la Práctica Docente. In Colegio De Bachillerato Sara Serrano De Maridueña. <https://orcid.org/0000-0002-7511-1800>
- Facciolo, C. D., Daedalus Structural Engineering, Behrouzi, A., & California Polytechnic State University - San Luis Obispo. (2019). Interactive Physical Experiments in an Advanced Undergraduate Structural Dynamics Course. *American Society for Engineering Education*. DOI:10.18260/1-2--33002
- Ford, S., Minshall, T., Institute for Manufacturing, University of Cambridge, & Beedie School of Business, Simon Fraser University. (2018). Where and how 3D printing is used in teaching and education. *Additive Manufacturing*, 131–150. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.10.028>

- García-Alvarado, R., Martínez, A., & Auat, F. (2020). Projections of 3D-printed construction in Chile. *Revista Ingeniería De Construcción*, 35(1), 60–72. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732020000100060>
- Haleem, A., Javaid, M., Singh, R. P., Rab, S., Suman, R., Kumar, L., & Khan, I. H. (2022). Exploring the potential of 3D scanning in Industry 4.0: An overview. *International Journal of Cognitive Computing in Engineering*, 3, 161–171. <https://doi.org/10.1016/j.ijcce.2022.08.003>
- Harvey, P., & Hibbard, C. (2022, August). Enhancing the Undergraduate Civil Engineering Experience through 3D-Printing, Problem-Based Learning Opportunities. Paper presented at 2022 ASEE Annual Conference & Exposition, DOI:10.18260/1-2--41238.
- Hennink, M., & Kaiser, B. N. (2022). Sample sizes for saturation in qualitative research: A systematic review of empirical tests. *Social Science & Medicine*, 292, 114523. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2021.114523>
- Hernández, J. a. G. (2024, March 7). Investigación cualitativa, cuantitativa y mixta: resumen. *Docentes al Día*. <https://docentesaldia.com/2024/03/06/investigacion-cualitativa-cuantitativa-y-mixta-resumen/>
- Justo, E., Delgado, A., Llorente-Cejudo, C., Rocio Aguilar, & Julio Cabero-Almenara. (2022). The effectiveness of physical and virtual manipulatives on learning and motivation in structural engineering. *Journal of Engineering Education*, 111, 813–851. <https://doi.org/10.1002/jee.20482>
- Lorenzo, C.-M., Sicilia, M. Á., & Sánchez, S. (2012). Studying the effectiveness of multi-user immersive environments for collaborative evaluation tasks. *Computers & Education*, 59(4), 1361–1376. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.06.002>
- Mejia, J. A., Goodridge, W. H., Call, B. J., & Wood, S. D. (2016). Manipulatives in Engineering Statics: Supplementing Analytical Techniques with Physical Models. *American Society for Engineering Education*. <https://doi.org/10.18260/p.25673>
- Saorín, J. L., Melian-Díaz, D., Bonnet, A., Carrera, C. C., Meier, C., & De La Torre-Cantero, J. (2017). Makerspace teaching-learning environment to enhance creative competence in engineering students. *Thinking Skills and Creativity*, 23, 188–198. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2017.01.004>
- Spearing, L. A., Bakchan, A., Hamlet, L. C., Stephens, K. K., Kaminsky, J. A., & Faust, K. M. (2022). Comparing Qualitative Analysis Techniques for Construction Engineering and Management Research: The Case of Arctic Water Infrastructure. *Journal of Construction Engineering and Management*, 148(7). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0002313](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0002313)
- Tobías, P. J. B., Orcos, L., Mainz, J., & Sáez, D. (2018). Propuesta metodológica para la mejora del aprendizaje de los alumnos a través de la utilización de las impresoras 3D como recurso educativo en el aprendizaje basado en proyectos. *Psicología Conocimiento Y Sociedad*. <https://doi.org/10.26864/pcs.v8.n1.8>
- Virgin, L. (2017). Enhancing the teaching of linear structural analysis using additive

- manufacturing. *Engineering Structures*, 150, 135–142.
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.07.054>
- Virgin, L. (2017a). Enhancing the teaching of structural dynamics using additive manufacturing. *Engineering Structures*, 152, 750–757. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.09.052>
- Virgin, L. N. (2018). Enhancing the teaching of elastic buckling using additive manufacturing. *Engineering Structures*, 174, 338–345. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.07.059>
- Virgin, L. N. (2021). A shear center demonstration model using 3D-printing. *International Journal of Mechanical Engineering Education*, 50(3), 739–748.
<https://doi.org/10.1177/03064190211057429>
- Virgin, L., & Harvey, P. (2023). A lateral–torsional buckling demonstration model using 3D printing. *Engineering Structures*, 280, 115682.
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.115682>

ANEXOS

A. Apéndice 1

Se adjuntan las preguntas hechas durante las entrevistas a los expertos:

A.1. Preguntas formuladas dentro de la entrevista semiestructurada.

Tabla 7: Preguntas Entrevista Semiestructurada

Tópicos	
Actualidad	¿Cuáles son los desafíos actuales que enfrenta el proceso de enseñanza y aprendizaje de contenidos de los cursos en el aula para los estudiantes?
Ámbito Educativo	¿Cuáles considera que son las áreas dentro el ámbito educativo donde los modelos 3D podrían tener un impacto en el aprendizaje?
Modelos de Impresión 3D	¿Considera que los modelos diseñados en impresión 3D son adecuados para reforzar el aprendizaje de los contenidos del curso? Contra Pregunta Proyectando al futuro ¿piensa que estos modelos podrían integrarse dentro del curso de manera efectiva
Ventajas	¿Cuáles serían las principales ventajas que los estudiantes podrían experimentar al utilizar modelos impresos en 3D para el aprendizaje de los contenidos del curso? Contra pregunta ¿Qué tan influyente considera que es este aspecto para el estudiante en el contexto del aprendizaje de los contenidos del curso?
Desventajas	¿Cuáles cree que son las dificultades más comunes que podrían surgir al utilizar modelos impresos en 3D en el curso? Contra pregunta ¿Cree que esta dificultad podría impedir el desarrollo de la experiencia y, en lugar de beneficiar a los estudiantes, terminar perjudicando su aprendizaje?
Proyección	¿Cree usted que la implementación de esto en el ámbito universitario sería un aporte en los cursos del área de ingeniería estructural?

B. Apéndice 2

Se adjuntan los datos del proceso de saturación de datos:

B.1. Punto de Saturación.

La siguiente tabla detalla los temas mencionados por entrevista, los temas nuevos y el punto de saturación:

Tabla 8: Evolución de los temas emergentes en las entrevistas.

ID	Temas Mencionados	Porcentaje Temas	Temas Nuevos	%Temas Nuevos	Punto de Saturación
1	81	4%	94	18.61%	18.61%
2	82	4%	69	13.66%	32.28%
3	94	5%	47	9.31%	41.58%
4	85	4%	41	8.12%	49.70%
5	92	5%	37	7.33%	57.03%
6	113	6%	29	5.74%	62.77%
7	62	3%	28	5.54%	68.32%
8	93	5%	26	5.15%	73.47%
9	88	5%	22	4.36%	77.82%
10	75	4%	21	4.16%	81.98%
11	90	5%	17	3.37%	85.35%
12	102	5%	12	2.38%	87.72%
13	103	5%	10	1.98%	89.70%
14	93	5%	10	1.98%	91.68%
15	76	4%	9	1.78%	93.47%
16	78	4%	9	1.78%	95.25%
17	85	4%	8	1.58%	96.83%
18	45	2%	8	1.58%	98.42%
19	83	4%	5	0.99%	99.41%
20	82	4%	2	0.40%	99.80%
21	74	4%	1	0.20%	100.00%
22	83	4%	0	0.00%	100.00%
23	69	4%	0	0.00%	100.00%

C. Apéndice 3

Se adjunta el documento Carta de Confidencialidad que se le solicitó firmar a cada uno de los expertos participantes en la entrevista para solicitar su permiso para realizar la grabación de audio de la entrevista.

C.1. Carta de Confidencialidad

CARTA COMPROMISO DE CONFIDENCIALIDAD ENTREVISTADO/A

Yo, Rut, en mi calidad de experto(a) en la investigación exploratoria sobre la impresión 3D de modelos físicos y su implementación con fines docentes, a cargo de los Investigadores Responsables estudiante Gabriel Ramos Valencia y Prof. Gastón Fernandois, mediante la firma del presente documento me comprometo a:

1. Otorgo mi consentimiento para que la entrevista sea grabada, con el entendimiento de que dichas grabaciones serán utilizadas exclusivamente para fines investigativos.

Dado que la información es confidencial, el manejo de los datos proporcionados se realizará siguiendo las pautas descritas en los puntos 2 a 6. Esto asegura que la información será protegida, utilizada únicamente para los fines de esta investigación.

2. Se actuará con total discreción y no divulgar la información expuesta durante la investigación. Esto implica seguir los criterios de confidencialidad establecidos por el proyecto.

3. No se reproducirá, comentará ni utilizará los registros o datos obtenidos en esta investigación para fines externos, ya sea para publicaciones, presentaciones, o cualquier otra instancia fuera del alcance de esta investigación.

4. Se asegurará que toda la información de las entrevistas, análisis u otros materiales bajo mi control esté protegida mediante medidas de seguridad adecuadas para evitar su alteración, pérdida, o acceso no autorizado.

5. Se borrará y eliminará cualquier audio, documento o archivo relacionado que haya sido almacenado en mi computadora u otros medios de almacenamiento un mes después de haber concluido los objetivos de la investigación.

6. Se entregarán todos los registros asociados a esta investigación, reconociendo que no son de mi propiedad, sino que forman parte del estudio.

Firma

Fecha: _____

D. Apéndice 4

En este apartado se expone la tabla comparativa con los datos de los trece artículos revisados, detallando la estructura general de la metodología aplicada, los instrumentos de recolección de datos con su método de verificación:

D.1. Tabla de Resumen sobre las estructuras de investigación.

Tabla 9: Comparativa de las metodologías desarrolladas en investigaciones.

Artículo – Autores	Estructura general	Análisis de Datos
Sesgos en la evaluación de la docencia por parte de los estudiantes. Arroyo – Barriguete et al. (2023)	Áreas: Contabilidad, Finanzas. Temáticas: Evaluación docente, sesgos en la educación superior. Enfoque estudio: Cuantitativo. Diseño del estudio: Análisis estadístico. Grupo objetivo: Estudiantes de contabilidad y finanzas. Cantidad: No especificada. Punto saturación: No especificado.	Instrumentos: - Encuestas: Para recopilar datos. - Software estadístico ®: Para análisis de datos. Métodos de verificación: - Análisis de varianza (ANOVA): Determinó diferencias entre grupos. - Triangulación: Validación al comparar datos de diferentes fuentes.
Estudio de la eficacia de los entornos inmersivos multiusuario para tareas de evaluación colaborativa. Lorenzo, Sicilia & Sánchez (2012)	Áreas: Educación, Tecnología, Psicología del Aprendizaje. Temáticas: Aprendizaje colaborativo, plataformas virtuales, interacción social en entornos educativos. Enfoque estudio: Cualitativo. Diseño del estudio: Estudio de caso. Grupo objetivo: Estudiantes de posgrado. Cantidad: 21 estudiantes. Punto saturación: Alcanzado tras las interacciones.	Instrumentos: - Encuestas en línea: Para recopilar datos de satisfacción. - Software de SNA (Pajek): Para analizar las interacciones. Métodos de verificación: - Triangulación: Integración de encuestas, y SNA para validar resultados. - Revisión por pares: Evaluación de expertos para garantizar credibilidad.

Un entorno de enseñanza y aprendizaje para potenciar la competencia creativa en estudiantes de ingeniería Saorín et al. (2017)	Áreas: Educación en ingeniería, creatividad, tecnología 3D. Temáticas: Innovación, metodologías de enseñanza, evaluación de la creatividad. Enfoque estudio: Cuantitativo. Diseño del estudio: Experimental. Grupo objetivo: Estudiantes de ingeniería. Cantidad: 90 estudiantes. Punto saturación: No especificado.	Instrumentos: - Encuestas: Para recolectar datos. - Software estadístico: Para análisis de datos. Método de verificación: - Coeficiente de Cronbach: Evaluó la confiabilidad del cuestionario. - Análisis de varianza ANOVA: Determinó diferencias entre grupos. - Prueba t – Student: Comparación resultados pruebas pre y post - test. - Análisis de confiabilidad: Escala Likert.
Dónde y cómo se utiliza la impresión 3D en la enseñanza y la educación Ford et al. (2018)	Áreas: Educación, Fabricación aditiva, Impresión 3D. Temáticas: impresión 3D en la enseñanza, beneficios y desafíos de su aplicación en el sistema educativo. Enfoque estudio: Mixto. Diseño del estudio: Revisión bibliográfica sistemática. Grupo objetivo: Estudiantes y docentes en distintos niveles educativos. Cantidad: 280 artículos analizados en la revisión. Punto saturación: No especificado.	Instrumentos: - Revisión datos académicos: Scopus, EBSCOHost, Google Scholar. Método de verificación: - Coeficiente de Cronbach: confiabilidad del cuestionario. - Análisis de varianza ANOVA: Determinó diferencias entre grupos. - Prueba t – Student: Comparación resultados prueba pre y post - test. - Análisis de confiabilidad: Escala Likert.
Desafíos, factores impulsores y beneficios de la gestión integrada de la infraestructura de los sistemas de agua, aguas residuales, aguas pluviales y transporte Araya & Vásquez (2022)	Áreas: Infraestructura urbana, gestión de agua, aguas residuales, transporte. Temáticas: Gestión integrada, sostenibilidad, colaboración Inter agencial. Enfoque estudio: Cualitativo. Diseño del estudio: Estudio de caso. Grupo objetivo: Profesionales en ingeniería y gestión de infraestructura. Cantidad: 15 profesionales del área. Punto saturación: Alcanzado al final de las entrevistas.	Instrumentos: - Entrevistas semiestructuradas: Flexibilidad y profundidad en la recolección de datos. - Guía de preguntas: Documento que orientó las entrevistas, cubriendo todos los temas relevantes. - Software de análisis cualitativo: Programa para codificar y analizar respuestas abiertas, facilitando la identificación de patrones. Métodos de Verificación: - Triangulación: Validación al comparar datos de diferentes fuentes. - Revisión por pares: Revisión de los datos para asegurar la validez de los resultados.

Revisión de los enfoques de investigación cualitativa en el contexto de la resiliencia de las infraestructuras críticas Cantelmi, Di Gravio & Patriarca (2021)	Áreas: Ingeniería de la resiliencia, infraestructuras críticas, gestión del riesgo, protección civil. Temáticas: Métodos cualitativos en la investigación de resiliencia, aplicación de técnicas cualitativas y semicuantitativas. Enfoque estudio: Mixto. Diseño del estudio: Revisión sistemática basada en PRISMA. Grupo objetivo: Investigadores en gestión de infraestructuras críticas. Cantidad: 98 artículos. Punto saturación: Alcanzado al identificar patrones consistentes en los estudios revisados.	Instrumentos: - Scopus: Base de datos para búsqueda de artículos científicos. - PRISMA: Marco metodológico para realizar la revisión sistemática y filtros de estudios. Métodos de Verificación: - Triangulación de datos: Validación al comparar datos de diferentes fuentes. - Revisión por pares: Revisión de los datos para asegurar la validez de los resultados.
Experimentos Interactivos en Estructural Facciolo et al. (2019)	Físicos Dinámica Áreas: Educación en ingeniería, dinámica estructural, métodos de enseñanza. Temáticas: Experimentos físicos, uso de tecnología en educación, aprendizaje activo. Enfoque estudio: Cuantitativo. Diseño del estudio: Cuasi - experimental. Grupo objetivo: Estudiantes de ingeniería. Cantidad: 30 estudiantes. Punto de saturación: Alcanzado al completar la encuesta.	Instrumentos: - Encuestas: Herramienta para recopilar los datos. - Dispositivos de Adquisición de Datos (DAQ): Registro de datos de sensores durante los experimentos. Métodos de Verificación: - Triangulación de datos: Comparación de datos de distintas fuentes bibliográficas. - Revisión por pares: Evaluación de la metodología y resultados por expertos en el campo. - Análisis de Consistencia Interna: Pruebas estadísticas, como el coeficiente de Cronbach.
Eficacia de manipuladores físicos y virtuales en la comprensión conceptual en STEM. Justo et al. (2022)	Áreas: Educación, Psicología, Tecnología Educativa. Temáticas: Aprendizaje en STEM, Motivación Estudiantil, Manipuladores Didácticos. Enfoque estudio: Cuantitativo. Diseño del estudio: Cuasi - experimental. Grupo objetivo: Estudiantes de primaria. Cantidad: 100 estudiantes. Punto saturación: No especificado.	Instrumentos: - Cuestionario IMMS: Se administró antes y después de la intervención para evaluar cambios en la motivación. - Software de Análisis Estadístico (SPSS): Análisis de los resultados de las encuestas. - Encuestas en Línea: Proceso de recolección de datos. Métodos de Verificación: - Triangulación de datos: Validación al comparar datos de diferentes fuentes.

Manipulativos en estática de ingeniería: Complementación de técnicas analíticas con modelos físicos. Mejia et al. (2016)	Áreas: Educación en ingeniería y didácticas de la física. Temáticas: Aprendizaje activo, uso de manipulativos, comprensión conceptual. Enfoque estudio: Cualitativo con metodología fenomenológica. Diseño del estudio: Fenomenológico. Grupo objetivo: Estudiantes de ingeniería. Cantidad: No especificada. Punto saturación: No especificado.	Instrumentos: - Cuestionario: Combinación de preguntas cerradas y abiertas. - Software de análisis cualitativo: Programa para codificar y analizar respuestas abiertas, facilitando la identificación de patrones. - Encuestas en línea: Proceso de recolección de datos. Métodos de Verificación: - Triangulación de datos: Validación al comparar datos de diferentes fuentes. - Revisión por pares: Evaluación de la metodología y resultados por expertos en el campo.
Comparación de técnicas de análisis cualitativo para Ingeniería y Gestión de la Construcción: El caso de la infraestructura hídrica en el Ártico. Spearing et al. (2022)	Áreas: Gestión del agua, infraestructura hídrica e investigación cualitativa. Temáticas: Desafíos sociotécnicos, análisis de contenido, teoría fundamentada. Enfoque estudio: Cualitativo. Diseño del estudio: Análisis comparativo. Grupo objetivo: funcionarios estatales y locales. Cantidad: Ocho entrevistas. Punto saturación: Alcanzado.	Instrumentos: - Guía de Entrevista Semiestructurada: Se desarrolló una guía de preguntas para las entrevistas. - Software de análisis cualitativo: Programa para codificar y analizar respuestas abiertas, facilitando la identificación de patrones. - Grabadoras de audio: Registrar las entrevistas semiestructuradas. Métodos de Verificación: - Triangulación: Validación al comparar datos de diferentes fuentes. - Revisión por pares: Revisión de los datos para asegurar la validez de los resultados.

Efectividad de Estrategias de Aprendizaje Activo Chasin (2021)	Áreas: Educación y Psicología, Didáctica. Temáticas: Aprendizaje activo, metodologías educativas, evaluación docente. Enfoque estudio: Cualitativo. Diseño del estudio: Descriptivo. Grupo objetivo: Docentes y estudiantes. Cantidad: 18 estudiantes. Punto saturación: No especificado.	Instrumentos: - Cuestionario: Preguntas cerradas y abiertas para evaluar estrategias de aprendizaje activo, permitiendo análisis cuantitativo y cualitativo. - Software de análisis cualitativo: Programa para codificar y analizar respuestas abiertas, facilitando la identificación de patrones. - Encuestas en línea: Proceso de recolección de datos. Métodos de Verificación: - Triangulación de datos: Validación al comparar datos de diferentes fuentes. - Revisión por pares: Evaluación de la metodología y resultados por expertos en el campo.
Tamaños de muestra para la saturación en la investigación cualitativa: una revisión sistemática Hennink & Kaiser (2022)	Áreas: Investigación cualitativa, metodología de la investigación y salud pública. Temática: Análisis metodología cualitativa. Enfoque estudio: Cualitativo con revisión sistemática de literatura. Diseño del estudio: Revisión sistemática basada en PRISMA. Grupo objetivo: Investigadores y metodólogos en estudios cualitativos. Cantidad: 23 estudios que evaluaron la saturación empíricamente. Punto saturación: En entrevistas individuales se alcanza entre 9 y 17 entrevistas, mientras que en grupos focales entre 4 y 8 sesiones.	Instrumentos: - Bases de datos: Identificación de estudios sobre saturación en investigación cualitativa. - PRISMA: Estructura de la revisión sistemática y rigurosidad metodológica. Métodos de Verificación - Revisión sistemática: Evaluación de estudios previos sobre saturación. - Triangulación de datos: Se compararon datos de distintas fuentes bibliográficas.

Estrategias de Aprendizaje y Modelos Impresos en 3D Dart & Lim (2022)	Áreas: Educación en Ingeniería, Aprendizaje Activo, Modelos Educativos. Temáticas: Estrategias de Aprendizaje, Modelos 3D, Percepción del Aprendizaje. Enfoque estudio: Cualitativo Diseño del estudio: Exploratorio. Grupo objetivo: Estudiantes de ingeniería. Cantidad de la muestra: No especificada. Punto de saturación: No especificado.	Instrumentos: - Encuesta en línea: Respuestas anónimas de estudiantes para la recolección de datos. - Software de Análisis Cualitativo: Programa para codificar y analizar respuestas abiertas, facilitando la identificación de patrones. Métodos de Verificación: - Triangulación: Validación al comparar datos de diferentes fuentes. - Revisión por pares: Revisión de los datos para asegurar la validez de los resultados.
--	---	---

E. Apéndice 5

Se añade el enlace Github con los modelos de impresión 3D:

E.1. Enlace Github

<https://github.com/gabriel-ramos-valencia/3D-Models-for-Introductory-Structural-Engineering-Courses>

F. Apéndice 6

En este apartado se especifican las dimensiones de cada uno de los modelos generados para cada curso:

F.1. Registros Fotográficos Modelo Análisis Estructural - Marco plano Ancho 10mm

En la siguiente figura se expone el esquema del marco plano diseñado:

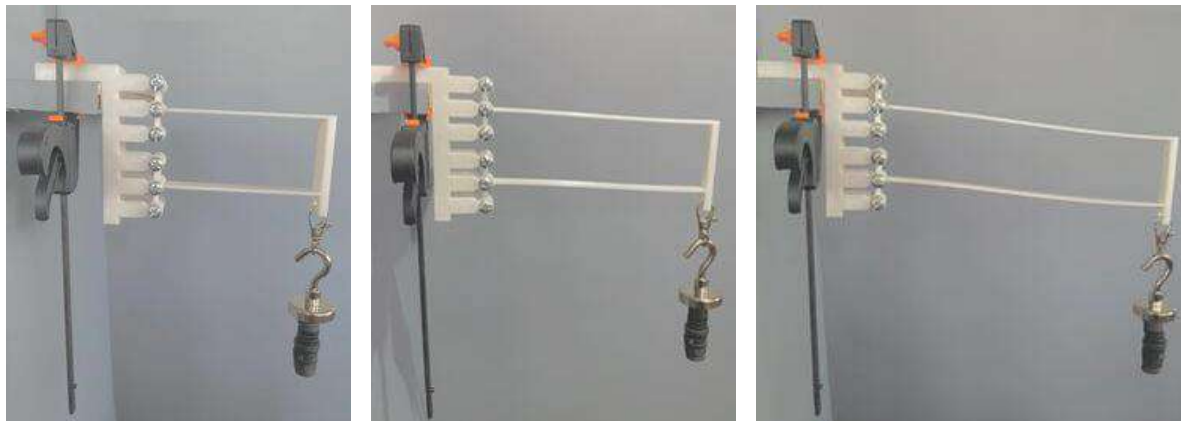


Figura 17: (a) Marco plano ancho 10mm altura 10 cm. (b) Marco plano ancho 10mm altura 15 cm. (c) Marco plano ancho 10mm altura 20 cm.

F.2. Registros Fotográficos Modelo Análisis Estructural - Marco plano Ancho 20mm

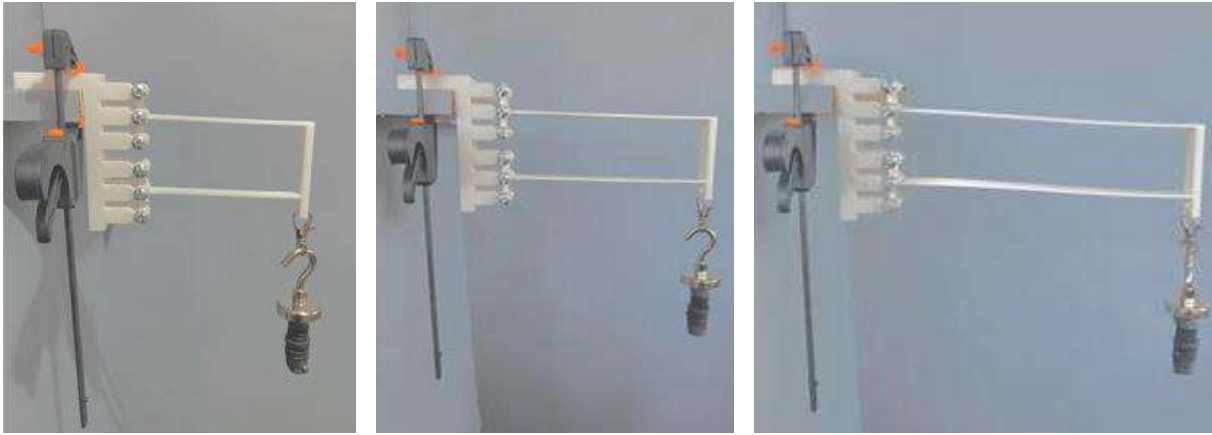


Figura 18: (a) Marco plano ancho 20mm altura 10 cm. (b) Marco plano ancho 20mm altura 15 cm. (c) Marco plano ancho 20mm altura 20 cm.

En la siguiente figura se expone el esquema del marco plano diseñado:

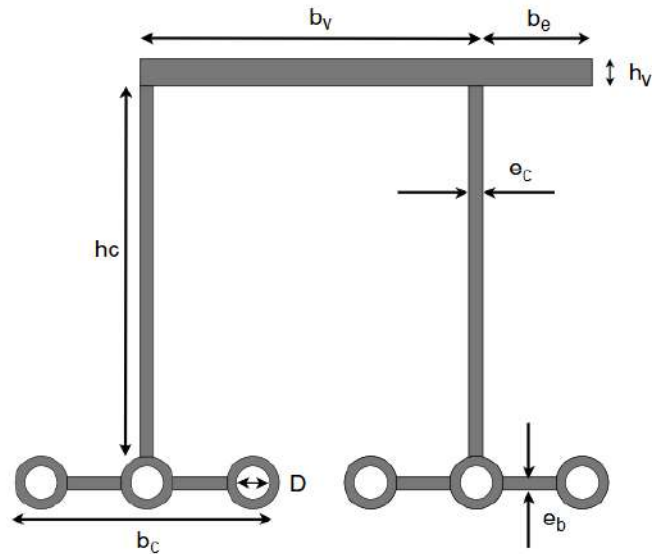


Figura 19: Diseño de Marco Plano para el curso Análisis Estructural.

En la siguiente tabla se especifican las medidas de los modelos impresos:

Tabla 10: Dimensiones de los marcos planos.

Símbolos								
Modelos	h_c [mm]	b_c [mm]	b_v [mm]	b_e [mm]	h_v [mm]	e_c [mm]	e_b [mm]	D [mm]
Diseño 1	100	39.6	50	13.5	5.2	2.00	2.00	5.30
Diseño 2	150	39.6	50	13.5	5.2	2.00	2.00	5.30
Diseño 3	200	39.6	50	13.5	5.2	2.00	2.00	5.30

Las características de las componentes del modelo de la Figura 7 , para un marco plano de ancho de 5mm se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 11: Características Marco Plano Ancho 5mm.

Componentes – Marco Plano Ancho 5mm			
Cantidad	Descripción	Tiempo	Masa [g]
1	Base Marco	4h9min	27
1	Marco Plano - Altura 10cm	1h6min	6
1	Marco Plano - Altura 15cm	1h17min	7
1	Marco Plano - Altura 20cm	1h27min	9
6	Tornillos 3/16" x 1 1/2"	-	-
6	Tuercas 3/16"	-	-
1	Imán Neodimio Gancho	-	-
1	Mosquetón Con Destorcedor Metálico	-	-
1	Prensa Sargento Carpintero De 150 Mm	-	-

Las características de las componentes del modelo general de la Figura 17, para un marco plano de 10mm, se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 12: Características Marco Plano Ancho 10mm.

Componentes - Marco Plano Ancho 10mm			
Cantidad	Descripción	Tiempo	Masa [g]
1	Base Marco	4h56min	33
1	Marco Plano - Altura 10cm	2h4min	11
1	Marco Plano - Altura 15cm	2h28min	14
1	Marco Plano - Altura 20cm	2h47min	16
6	Tornillos 3/16" X 1 1/2"	-	-
6	Tuercas 3/16" X	-	-
1	Imán Neodimio Gancho	-	-
1	Mosquetón Con Destorcedor Metálico	-	-
1	Prensa Sargento Carpintero De 150 Mm	-	-

Las características de las componentes del modelo general de la Figura 18, para un marco plano de 20mm, se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 13: Características Marco Plano Ancho 20mm.

Componentes - Marco Plano Ancho 20mm			
Cantidad	Descripción	Tiempo	Masa [g]
1	Base Marco	6h33min	45
1	Marco Plano - Altura 10cm	4h1min	22
1	Marco Plano - Altura 15cm	4h44min	27
1	Marco Plano - Altura 20cm	5h23min	31

6	Tornillos 3/16" X 1 1/2"	-	-
6	Tuercas 3/16" X	-	-
1	Imán Neodimio Gancho	-	-
1	Mosquetón Con Destorcedor Metálico	-	-
1	Prensa Sargento Carpintero De 150 Mm	-	-

Para la medición de la deflexión productivo de la carga lateral aplicada se detalla la carga aplicada con su respectivo módulo de elasticidad:

Tabla 14: Datos experimentales.

Parámetros Marcos Plano	
Módulo de Young [N/mm²]	2760
Carga aplicada [N]	0.59

Para el conjunto de marcos planos, se utilizó el valor del módulo de elasticidad del ácido poliláctico basado en Rismalia et al. (2019). De este modo, se determinó la deformación de los marcos planos, aplicando la carga para todos los conjuntos de marcos planos diseñados. A continuación, se detallan las dimensiones de cada modelo y su respectiva deformación:

Tabla 15: Datos de las columnas del marco plano - Ancho 5mm.

Modelos	Altura [cm]	Ancho [mm]	Espesor [mm]	Inercia [mm⁴]
Diseño 1	10	5	2	3.33
Diseño 2	15	5	2	3.33
Diseño 3	20	5	2	3.33

Tabla 16: Datos de las columnas del marco plano - Ancho 10mm.

Modelos	Altura [cm]	Ancho [mm]	Espesor [mm]	Inercia [mm⁴]
Diseño 1	10	10	2	6.67
Diseño 2	15	10	2	6.67
Diseño 3	20	10	2	6.67

Tabla 17: Datos de las columnas del marco plano - Ancho 20mm.

Modelos	Altura [cm]	Ancho [mm]	Espesor [mm]	Inercia [mm⁴]
Diseño 1	10	20	2	13.33
Diseño 2	15	20	2	13.33
Diseño 3	20	20	2	13.33

En las siguientes tablas se compara el resultado teórico de la deformación de un marco plano, empleando la fórmula utilizada en las investigaciones de Virgin (2017):

$$F = 2 \cdot 12 \cdot \frac{EI}{L^3} \delta$$

- $F [N]$: Carga lateral.
- $E [N/mm^2]$: Módulo de elasticidad del ácido poliláctico.
- $I [mm^4]$: Momento de inercia.
- $\delta [mm]$: Deformación del marco plano.

De la fórmula anterior, se expresa en términos de la deformación:

$$\delta = \frac{FL^3}{24EI}$$

En la siguiente tabla se comparan los resultados empíricos con los teóricos, y el error porcentual asociado:

Tabla 18: Comparativa resultados empíricos versus teóricos de marcos con ancho de 5mm.

Modelo	Deflexión Teórica [mm]	Deflexión Empírica [mm]	Error %
Columna 10 cm de altura	2.67	2.79	5%
Columna 15 cm de altura	9.00	9.37	4%
Columna 20 cm de altura	21.33	22.35	5%

Tabla 19: Comparativa resultados empíricos versus teóricos de marcos con ancho de 10mm.

Modelo	Deflexión Teórica [mm]	Deflexión Empírica [mm]	Error %
Columna 10 cm de altura	1.33	1.39	4%
Columna 15 cm de altura	4.50	4.70	4%
Columna 20 cm de altura	10.66	11.07	4%

Tabla 20: Comparativa resultados empíricos versus teóricos de marcos con ancho de 20mm.

Modelo	Deflexión Teórica [mm]	Deflexión Empírica [mm]	Error %
Columna 10 cm de altura	0.67	0.69	4%
Columna 15 cm de altura	2.25	2.35	4%
Columna 20 cm de altura	5.33	5.50	3%

F.3. Dimensiones Modelo Dinámica de Estructuras

En la siguiente figura se muestra el esquema del marco plano diseñado:

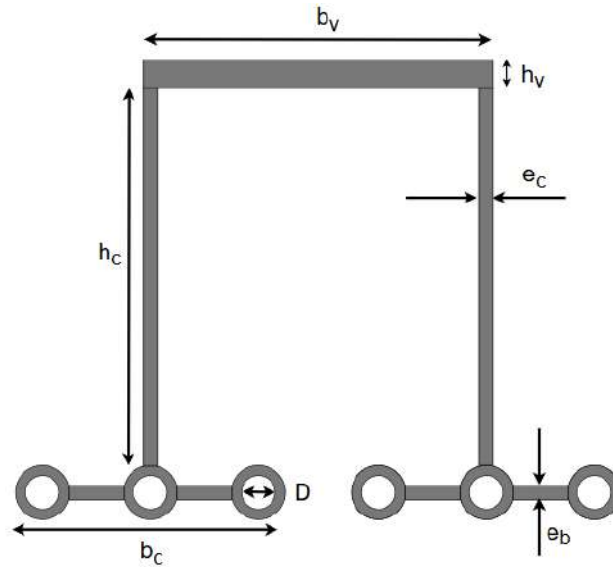


Figura 20: Diseño del marco plano para Dinámica de Estructuras.

En la siguiente tabla se especifican las medidas de los modelos impresos:

Tabla 21: Dimensiones de los marcos planos

Símbolos							
Modelos	h_c [mm]	h_v [mm]	b_c [mm]	b_v [mm]	e_c [mm]	e_b [mm]	D [mm]
Diseño 1	100	5.20	39.6	50	2.00	2.00	5.30
Diseño 2	150	5.20	39.6	50	2.00	2.00	5.30
Diseño 3	200	5.20	39.6	50	2.00	2.00	5.30

Las características de las componentes del modelo general de la Figura 2, para un marco plano de 5mm, se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 22: Características Marco Plano Ancho 5mm

Componentes - Marco Plano Ancho Columna 5mm			
Cantidad	Descripción	Tiempo	Masa [g]
1	Base Celular	5h48min	50
4	Laterales	2h20min	15
1	Base Marco Plano	7h15min	40
1	Pasador	2h35min	21
1	Marco Plano Altura 10 cm	1h46min	10
1	Marco Plano Altura 15 cm	2h2min	12
1	Marco Plano Altura 20 cm	2h19min	13
18	Tornillos 3/16" X 1 1/2"	-	-
18	Tuercas 3/16" X	-	-
9	Tornillos 5/32" x 1 1/2"	-	-
9	Tuercas 5/32"	-	-

Las características de las componentes del modelo general de la Figura 9, de un marco plano de 10mm, se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 23: Componentes del marco plano de ancho de 10mm:

Componentes - Marco Plano Ancho Columna 10mm			
Cantidad	Descripción	Tiempo	Masa [g]
1	Base Celular	5h48min	50
4	Laterales	2h20min	15
1	Base Marco Plano	7h15min	40
1	Pasador	2h35min	21
1	Marco Plano Altura 10 cm	2h2min	11
1	Marco Plano Altura 15 cm	2h27min	14
1	Marco Plano Altura 20 cm	2h50min	16
18	Tornillos 3/16" X 1 1/2"	-	-
18	Tuercas 3/16" X	-	-
9	Tornillos 5/32" x 1 1/2"	-	-
9	Tuercas 5/32"	-	-

F.4. Dimensiones Modelo Mecánica de Materiales

En la siguiente figura se muestra el esquema de la columna diseñada:

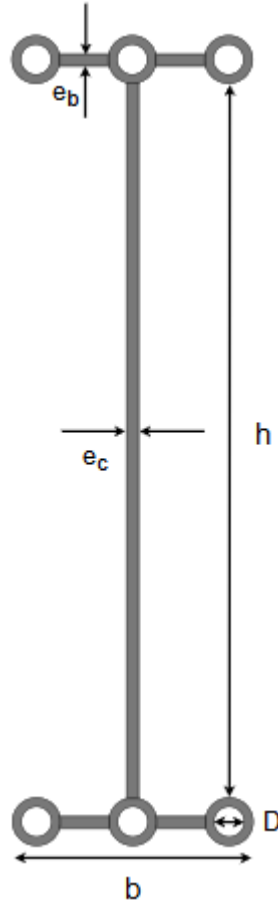


Figura 21: Diseño del marco plano para Mecánica de Materiales.

A continuación, se especifican las medidas de los modelos impresos:

Tabla 24: Características de la columna.

Símbolos					
Modelos	h [mm]	b [mm]	e_b [mm]	e_c [mm]	D [mm]
Diseño 1	190	38.5	2.00	1.00	5.30

Las características de las componentes del modelo general de la Figura 10Figura 3, para una columna de ancho de 1mm, se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 25: Componentes del modelo del pandeo de columna.

Componentes Estructura Pandeo Columna			
Cantidad	Descripción	Tiempo	Masa [g]
1	Base Inferior	6h53min	51
1	Base Superior	5h35min	40
1	Columna	59 min	6
1	Soporte	2h25min	16
1	Recipiente	3h11min	27
1	Carril	6h53min	51
9	Tornillos 3/16" x 1 1/2"	-	-
9	Tuercas 3/16"	-	-
2	Tornillos 5/32" x 1 1/2"	-	-

En el modelo de columna pandeo, se utilizó la columna con las siguientes características:

Tabla 26: Propiedades de la columna

Parámetros Columna	
Altura [mm]	200
Ancho [mm]	10
Espesor [mm]	1
Inercia [mm ⁴]	0.833
Módulo de Young [N/mm ²]	2760

Para observar el comportamiento de la columna pandeo, se realizó una comparación de la carga crítica teórica con la carga crítica empírica, esto al registrar la carga donde el modelo muestre señales de pandeo, para determinar la carga crítica teórica se empleó la fórmula:

$$P_{cr} = \pi^2 \frac{EI}{L^2}$$

- P_{cr} : Carga crítica.
- E : Módulo de elasticidad.
- I : Momento de inercia.
- L : Longitud de la columna.

En la siguiente tabla se muestran los resultados de la carga crítica empírica con la teórica para las tres condiciones de borde del pandeo columna:

Tabla 27: Comparativa resultados experimentales.

Condiciones de borde	Largo Efectivo	Carga crítica [N] Método teórico	Carga crítica [N] Método empírico	Error%
Simple - Simple	200	0.568	0.549	3%
Empotrado - Simple	140	1.158	1.148	1%
Bi - Empotrado	100	2.270	2.158	5%

En la siguiente figura se muestra el esquema de la Viga en Voladizo – Perfil Ángulo:



Figura 22: Diseño de la viga de perfil ángulo.

En la siguiente tabla se especifican las medidas del modelo impreso:

Tabla 28: Características de la viga de perfil ángulo.

Símbolos					
Modelos	h_a [mm]	espesor [mm]	L [mm]	I_{xx} [mm ⁴]	I_{yy} [mm ⁴]
Diseño 1	15	1	150	1017	257

En la siguiente figura se muestra el esquema de la Viga en Voladizo – Perfil doble T:



Figura 23: Diseño de la viga de perfil doble T.

En la siguiente tabla se detallan las medidas del modelo impreso:

Tabla 29: Características de la viga de perfil doble T.

Símbolos

Modelos	h_a [mm]	b [mm]	L [mm]	I_{xx} [mm ⁴]	I_{yy} [mm ⁴]
Diseño 1	13	10	150	1165	168

En la siguiente figura se muestra el esquema de la Viga en Voladizo – Perfil Canal:



Figura 24: Diseño de la viga de perfil canal.

A continuación, se exponen los otros diseños de las vigas del tipo canal, donde se incrementó la longitud de las alas:

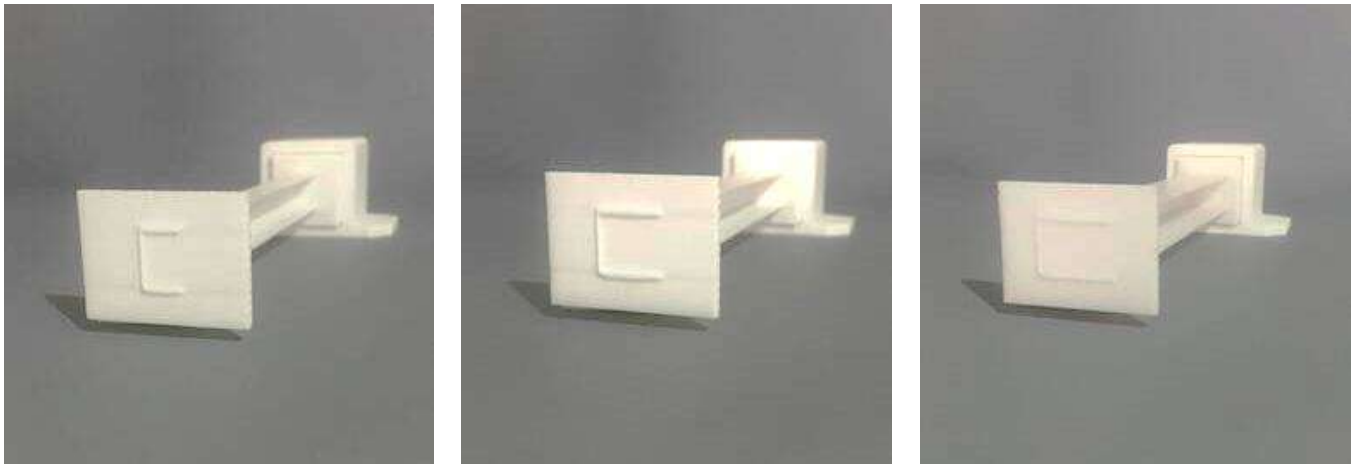


Figura 25: (a) Viga perfil Canal Ala 10 mm (b)Viga perfil Canal Ala 15 mm (c) Viga perfil Canal Ala 20mm

En la siguiente tabla se detallan las medidas del modelo impreso:

Tabla 30: Características de la viga de perfil canal.

Símbolos					
Modelos	h_a [mm]	b [mm]	L [mm]	I_{xx} [mm ⁴]	I_{yy} [mm ⁴]
Perfil Canal	15	5	150	374	45
	15	10	150	1165	327
	15	15	150	1656	1008
	15	20	150	2146	2220

Las componentes del modelo general de la Figura 4, para las vigas en voladizo, se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 31: Componentes de las vigas en voladizo.

Componentes			
Cantidad	Descripción	Tiempo	Masa [g]
1	Base eje	3h1m	21
1	Perfil Ángulo Rotado	4h16min	31
1	Perfil Doble T	4h32min	35
1	Perfil Canal Ala 5mm	3h41min	28
1	Perfil Canal Ala 10mm	4h15min	33
1	Perfil Canal Ala 15mm	4h39min	37
1	Perfil Canal Ala 20mm	5h14min	42

F.5. Dimensiones Modelo Diseño en Acero

En la siguiente figura se muestra el esquema de la viga en voladizo de perfil rectangular:



Figura 26: Diseño de la viga de perfil rectangular con perforación.

En la siguiente tabla se especifican las medidas de la viga:

Tabla 32: Características de la viga de perfil rectangular.

Símbolos				
Modelos	h_a [mm]	b [mm]	L [mm]	D [mm]
Diseño 1	15	1	150	6

Las características de las componentes del modelo general de la Figura 5, para la viga en voladizo de perfil rectangular, se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 33: Componentes de la viga de perfil rectangular.

Componentes			
Cantidad	Descripción	Tiempo	Masa [g]

1	Base Eje	3h1m	21
1	Perfil Rectangular	2h14min	20
1	Imán Neodimio Gancho	-	-

G. Apéndice 7

En este apartado se expone la tabla comparativa con los datos de los trece artículos revisados, detallando el artículo y los autores, las técnicas de recolección de datos y el enfoque del estudio y las conclusiones de las investigaciones:

G.1. Triangulación de datos:

Tabla 34: Triangulación de los datos.

Artículos	Metodología	Conclusiones de la Investigación
Estudio de la eficacia de los entornos inmersivos multiusuario para tareas de evaluación colaborativa. Carlos Miguel Lorenzo, Miguel Ángel Sicilia, Salvador Sánchez	Técnica: Encuestas en línea y observaciones. Enfoque: Mixto.	Beneficios: La investigación respalda el uso de modelos de impresión 3D como herramientas didácticas efectivas que refuerzan el aprendizaje. Aplicaciones: Estos modelos permiten a los estudiantes interactuar de manera más tangible con los conceptos, facilitando la comprensión y el aprendizaje activo. Conclusión: La integración de la impresión 3D en el aula puede mejorar la experiencia educativa y fomentar un aprendizaje más profundo.
Makerspace, un entorno de enseñanza y aprendizaje para potenciar la competencia creativa en estudiantes de ingeniería. Saorín, J. L., Melian-Díaz, D., Bonnet, A., Carbonell Carrera, C., & Meier, C. (2017)	Técnica: Encuestas y entrevistas Enfoque: Mixto	Creatividad: La utilización de escáneres e impresoras 3D en el aula ha demostrado incrementar la creatividad de los estudiantes en un 24,04%, favoreciendo el desarrollo de nuevas ideas. Valoración del aprendizaje: Los alumnos calificaron positivamente el entorno de enseñanza-aprendizaje basado en estas tecnologías, con una puntuación de 4,41. Oportunidades: Las posibilidades que brindan los dispositivos 3D en el ámbito educativo fueron altamente valoradas, alcanzando una puntuación de 4,77.
Artículo de revisión por invitación: Dónde y cómo se utiliza la impresión 3D en la enseñanza y la educación. Simón Forda,b, Tim Minshalla	Técnica: Encuestas, cuestionarios, entrevistas y grupos focales. Enfoque: Mixto	Participación y rendimiento: La impresión 3D mejora la participación de los estudiantes y su adquisición de conocimientos. Un estudio mostró que aquellos que usaron modelos impresos en 3D obtuvieron un 14,4% más de rendimiento que el grupo de control. Desarrollo de habilidades: Su implementación en la enseñanza favorece el desarrollo de habilidades prácticas, esenciales para el aprendizaje técnico. Motivación: El uso de modelos 3D en el aula estimula el interés de los estudiantes por carreras técnicas, consolidando su utilidad como herramienta didáctica efectiva.
Impresión 3D en educación: una perspectiva europea Dario Assante, Gerardo Maria Cennamo y Luca Placidi	Técnicas: investigación documental y encuesta en línea. Enfoque: Cuantitativo	Comprensión visual: La impresión 3D mejora el aprendizaje al permitir la visualización de objetos reales, facilitando la comprensión de conceptos complejos. Percepción positiva: Un 25% de los encuestados identificó la visualización tangible como un factor clave en la adopción de la tecnología en la educación. Respaldo académico: La investigación y la opinión de expertos destacan el gran potencial de la impresión 3D como recurso didáctico innovador.

Mejorar la experiencia de los estudiantes de ingeniería civil mediante la impresión 3D y oportunidades de aprendizaje basadas en problemas Philip Scott Harvey Jr.	Técnica: Encuestas y entrevistas. Enfoque: Mixto	Evidencia de mejora: Las actividades de impresión 3D mejoran la comprensión de los estudiantes en áreas como diseño asistido por computadora y dinámica. Interés aumentado: Se observó un incremento en el interés de los estudiantes por realizar investigaciones relacionadas con la impresión 3D. Resultados porcentuales: Los participantes generalmente están de acuerdo en que pueden completar tareas relacionadas con la impresión 3D y habilidades asociadas, con un alto porcentaje de acuerdo en las encuestas post - competencia.
Propuesta metodológica para la mejora del aprendizaje de los alumnos a través de la utilización de las impresoras 3D como recurso educativo en el aprendizaje basado en proyectos (David Sáez Benito, Jorge Maguncia Salvador, Pedro J. Blázquez Tobías, Lara Orcos Palma)	Técnica: Encuestas, cuestionarios, entrevistas y grupos focales Enfoque: mixto	Potenciación del aprendizaje: El uso de impresoras 3D en el aula mejora la motivación y el rendimiento académico de los estudiantes, facilitando un aprendizaje más significativo. Creatividad y comprensión: Se observa un aumento en la creatividad y la comprensión de los problemas, lo que permite a los alumnos enfrentarse a desafíos reales mediante el diseño y la impresión de modelos. Resultados Porcentuales: Aunque el documento no proporciona cifras específicas, se menciona que la implementación de impresoras 3D ha mostrado un impacto positivo en el aprendizaje, sugiriendo que los estudiantes se benefician significativamente de esta herramienta didáctica
Experimentos físicos interactivos en un programa avanzado de licenciatura en ciencias estructurales Curso de dinámica Charles D. Facciolo	Técnica: Encuestas y Observaciones Enfoque: Mixto	Ventajas: Los modelos de impresión 3D proporcionan una referencia visual valiosa, mejorando la comprensión de conceptos complejos en dinámica estructural. Resultados: Las encuestas realizadas a los estudiantes mostraron que el 75% de ellos tuvo respuestas positivas sobre la efectividad de los nuevos experimentos y demostraciones físicas. Compromiso Estudiantil: Se observó un aumento en el compromiso y el interés de los estudiantes en comparación con métodos de enseñanza anteriores, lo que respalda el uso de modelos 3D como herramienta didáctica.
La eficacia de los manipuladores físicos y virtuales sobre el aprendizaje y la motivación en la ingeniería estructural Justo, E., Delgado, A., Llorente-Cejudo, C., Rocio Aguilar, & Julio Cabero-Almenara. (2022)	Técnica: Encuestas y Observaciones Enfoque: Mixto	Efectividad: Los modelos de impresión 3D mejoran la comprensión de conceptos complejos en áreas STEM, facilitando la visualización y manipulación de estructuras. Resultados: Un 75% de los estudiantes que utilizaron modelos físicos reportaron una mejor comprensión de los conceptos básicos de ingeniería estructural en comparación con un 50% de aquellos que usaron materiales virtuales. Beneficios: La manipulación táctil de modelos físicos contribuye significativamente al proceso de aprendizaje, sugiriendo que los materiales físicos son más efectivos en la educación primaria y secundaria.
Manipulativos en estática de ingeniería: Complementación de técnicas analíticas con modelos físicos Mejia, J. A., Goodridge, W., Utah State University, Call, B. J., &	Técnica: Entrevistas Enfoque: Cualitativo	Efectividad: Los modelos de impresión 3D mejoran la comprensión de conceptos abstractos, facilitando la visualización y manipulación de objetos en el aula. Resultados porcentuales: El estudio indica que el 85% de los estudiantes reportaron una mejora en su comprensión conceptual al utilizar manipuladores físicos, incluyendo modelos 3D. Recomendación: Se sugiere integrar modelos de impresión 3D en el currículo educativo para potenciar el aprendizaje activo y la

Wood, S. D. (2016).

participación de los estudiantes.

Integración de la Impresión 3D y la Industria 4.0 en la Enseñanza de la Ingeniería Chong, S., Pan, G., Chin, J., Show, P. L., Yang, T. C. K., & Huang, C. (2018)	Técnica: Encuestas y grupos focales. Enfoque: mixto	Mejora en la Comprensión: Los modelos impresos en 3D son superiores para enseñar conceptos que requieren visualizaciones espaciales, facilitando una mejor comprensión de los temas. Atención Estudiantil: El 37% de los estudiantes indicó que la creación de modelos 3D ayuda a captar su atención, mientras que el 21% destacó que simplifica la enseñanza de conceptos. Impacto en el Aprendizaje: Se observó un 7% de mejora en la enseñanza y el aprendizaje mediante el uso de la impresión 3D, lo que sugiere su efectividad como herramienta didáctica.
Propuesta para la incorporación del modelado e impresión 3D para la enseñanza de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica Abdelnour, E. M. (2023)	Técnica: Entrevistas Enfoque: Cualitativo	Mejora en el Aprendizaje: La implementación de tecnologías aditivas, como la impresión 3D, ha demostrado mejorar la retención de conceptos y la comprensión tridimensional entre los estudiantes. Involucramiento Estudiantil: Se observó un mayor involucramiento del estudiantado en el proceso de aprendizaje, lo que sugiere un aumento en el interés por el contenido. Resultados Porcentuales: Aunque el texto no proporciona cifras exactas, menciona que la mayoría de las escuelas involucradas en el estudio reportaron altos niveles de aceptación y efectividad en el uso de impresoras 3D para la enseñanza de conceptos complejos.
Aprendiendo conceptos de ingeniería estructural: construcción modelos impresos tridimensionales para la enseñanza y la intuición a través de la conexión física de la teoría con la vida real Sarah Dart y James BP Lim	Técnica: Entrevistas Enfoque: Cualitativo	Efectividad: Los modelos impresos en 3D mejoran la comprensión de conceptos complejos en ingeniería, facilitando la conexión entre teoría y práctica. Percepción Estudiantil: Los estudiantes valoran positivamente la interacción con modelos, lo que se traduce en un aprendizaje más activo y significativo. Resultados Cuantitativos: Aunque no se proporcionan porcentajes específicos en el texto, se menciona que los estudiantes reportaron beneficios de aprendizaje percibidos y oportunidades para mejorar su aprendizaje al interactuar con los modelos 3D.
De lo físico a lo digital en las aulas de ingeniería estructural mediante fabricación digital Rolando Chacón David Codony Álvaro Toledo	Técnica: Encuestas y entrevistas Enfoque: Mixto	Revolución Educativa: La convergencia de la impresión 3D, hardware y software abierto puede transformar la formación experimental en escuelas y universidades técnicas. Accesibilidad: Las tecnologías de impresión 3D son accesibles tanto técnica como económicamente, lo que fomenta la creatividad y nuevas posibilidades educativas. Resultados Positivos: Los estudiantes que utilizan estas tecnologías en arquitectura, ingeniería y construcción reportan un alto nivel de motivación intrínseca y satisfacción con los resultados obtenidos.

H. Apéndice 8

Se adjunta el diccionario del análisis cualitativo de las entrevistas:

H.1. Diccionario Categorías

Tabla 35: Diccionario Categorías

Categorías	Definición	Cita
Enfoque Actividad Experimental	Corresponde a los aspectos de la implementación de actividades prácticas, como laboratorios o experiencias, que permiten a los estudiantes aplicar los conceptos teóricos aprendidos empíricamente.	“pero yo creo que si sería muy influyente todo el tema de que vea lo que está pasando porque por ejemplo los laboratorios que se hacen les queda bastante más claro”
Propiedades y aplicaciones Modelos 3D	Define las características, funcionalidad y aplicaciones del modelo 3D como herramienta didáctica para la representación de los contenidos de los cursos.	“Hay varias formas de aprender, ¿no?, y una es gracias a lo que se llama lo empírico, ¿no?, justamente ir y hacer la cosa y probar, ir viendo.”
Proyección de implementación de los Modelos 3D	Corresponde a las menciones sobre los cambios y mejoras en el contexto del aprendizaje para el correcto funcionamiento y aplicación de los modelos tridimensionales dentro del curso o para proyectarse en la implementación para otros cursos estructurales.	“También el hecho de poder manipular diferentes modelos y diferentes elementos hace más sencillo el aprendizaje y, a veces, guardar conceptos y, en teoría, a largo plazo”
Impacto sobre el uso potencial de los Modelos 3D	Integra las opiniones respecto a los modelos impresos sobre su aplicación en el proceso de la enseñanza y el aprendizaje, incluyendo aspectos como la visualización de conceptos, representación de variables teóricas y como herramientas didácticas.	“Y nosotros en general no hacemos esa conexión, nosotros te enseñamos lo computacional por un lado o te enseñamos lo experimental por otro lado, pero nunca está el link entre las dos cosas, que al final ambas cosas buscan de alguna u otra manera el mismo objetivo.”
Estructura modelo Educativo y Pedagogía	Corresponde a los códigos relacionados al área del sector pedagógico, abarcando en el enfoque de estrategias como las características de los roles que representan el profesor y los estudiantes.	“el formato de aula que el PPT, el profe explicando y unas cuantas consultas entonces creo que ese formato distintivo es un plus gigante a la hora de explicar o exponer.”
Conceptos Clave de los Cursos	Son los códigos que mencionan explícita o implícitamente los principios fundamentales de los contenidos de los cursos del área estructural.	“Sin embargo, el conocimiento de las propiedades de los materiales es muy importante. El conocimiento intuitivo de la deformación y de los esfuerzos en los elementos también es clave, pero eso no se aprende solo haciendo ejercicios”
Metodología Aprendizaje Activo	Son las menciones a las estrategias educativas que involucran el rol de los estudiantes en el proceso de aprendizaje, como resolución de problemas, actividades interactivas, contribuyendo al trabajo colaborativo y el razonamiento crítico.	“se necesita que se dirigen a los alumnos de forma más personalizada, por ejemplo. Que se les permita a todos poder experimentar con ellos,”
Experiencia del Estudiante	Corresponde a las menciones de los aspectos que están presentes en el desarrollo del proceso de enseñanza de los cursos estructurales a nivel estudiantil.	“Sí, 100%, yo creo que en general, muchas de las personas que entran en ingeniería civil vienen con esta idea de poder visualizar cosas más que tener ese

raciocinio, de imaginársela en la cabeza.”

Desafíos Actuales en el área educacional	Son las motivaciones y situaciones que enfrenta el estudiante en el proceso de aprendizaje y enseñanza desde la perspectiva de los expertos.	“lo más complicado en el tema de transmitir el contenido es el tema de que logren desarrollar ese criterio los estudiantes sobre todo de entender que es lo que está pasando yo creo que eso es lo más difícil”
Cursos Área Ingeniería Estructural	Corresponden a la mención de actividades y/o los cursos que desarrollan los conceptos clave del área de ingeniería estructural.	“yo creo que en todas, pero en particular, en el área estructural sí tienen un buen impacto, acá tienes un caso bien marcado”
Problemas y Limitaciones de los Modelos 3D	Integra las opiniones sobre los inconvenientes de implementar los modelos impresos sobre su aplicación en el proceso de la enseñanza y el aprendizaje, incluyendo aspectos como el formato de la experiencia, imprecisión en el funcionamiento del modelo y efectos negativos a los estudiantes.	“la experiencia y eso obviamente requiere un proceso previo que no depende del estudiante depende de lo que haga la parte docente, de lo que haga el profesor con su ayudante, etc.”
Metodología Aprendizaje Tradicional	Son las menciones al formato educativo que involucran el rol de los profesores en el proceso de aprendizaje, como fuente principal de transmisión de los contenidos del curso.	“estoy explicando una matriz y en vez de seguir hablando y realmente hago un stop y les pregunto a los alumnos ¿qué quiere que haga? y muchas veces me ha pasado que el alumno me dice me voy a repetir la pregunta”

H. Apéndice 9

Las tablas de frecuencias se determinaron para las clasificaciones con base a los criterios establecidos previamente: La primera tabla de frecuencia considera el análisis de todas las respuestas de los 23 expertos.

H.1. Tablas de Frecuencia – Códigos

La primera tabla de frecuencia considera el análisis de todas las respuestas de los veintitrés expertos:

Tabla 36: Frecuencia de códigos en la muestra total de datos

Códigos	Expertos - Tamaño 23	
	Frecuencia Absoluta	Frecuencia relativa de la tabla
Factibilidad de emplear los modelos de impresión 3D	239	13%
Representar los contenidos del curso con modelos de impresión 3D	216	11%
Aplicaciones Generales de los Modelos de impresión 3D	211	11%
Actualidad del estudiante en el aula de clase	193	10%
Rol del estudiante	192	10%

Visualización de los conceptos	191	10%
Representación empírica	182	10%
Conceptos claves del curso	161	9%
Actividad experiencial	150	8%
Impacto en el aprendizaje del estudiante	149	8%

El segundo criterio corresponde al rol de los expertos, diferenciando entre docentes y estudiantes. De esta forma la siguiente tabla contiene los datos de la frecuencia de los códigos de los profesores:

Tabla 37: Frecuencia de códigos asociados al grupo de profesores.

Códigos	Expertos G1 - Tamaño: 7	
	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa de la tabla
Aplicaciones generales de los modelos de impresión 3D	109	13.01%
Representar los contenidos del curso con modelos de impresión 3D	109	13.01%
Actualidad del estudiante en el aula de clase	92	10.98%
Factibilidad de emplear los modelos de impresión 3D	92	10.98%
Rol del estudiante	87	10.38%
Representación empírica	82	9.79%
Visualización de los conceptos	76	9.07%
Actividad experiencial	68	8.12%
Conceptos claves del curso	66	7.88%
Impacto en el aprendizaje del estudiante	57	6.80%

Asimismo, se presenta la tabla de frecuencia correspondiente al grupo de los estudiantes:

Tabla 38: Frecuencia de códigos asociados al grupo de estudiantes.

Códigos	Expertos G2 - Tamaño: 16	
	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa de la tabla
Factibilidad de emplear los modelos de impresión 3D	147	14.05%
Visualización de los conceptos	115	10.99%
Representar los contenidos del curso con modelos de impresión 3D	107	10.23%
Rol del estudiante	105	10.04%
Aplicaciones generales de los modelos de impresión 3D	102	9.75%
Actualidad del estudiante en el aula de clase	101	9.66%
Representación empírica	100	9.56%
Conceptos claves del curso	95	9.08%
Impacto en el aprendizaje del estudiante	92	8.79%
Actividad experiencial	82	7.84%

El tercer criterio está basado en la experiencia del experto dentro de los cursos seleccionados: análisis estructural, dinámica de estructuras, diseño en acero y mecánica de materiales. De esta forma la siguiente tabla contiene los datos de la frecuencia de los códigos de los expertos en análisis estructural:

Tabla 39: Frecuencia de códigos asociados al curso de Análisis Estructural

Códigos	Análisis Estructural - Tamaño: 6	
	Frecuencia Absoluta	Frecuencia relativa de la tabla
Factibilidad de emplear los modelos de impresión 3D	62	13.87%
Visualización de los conceptos	58	12.97%
Representar los contenidos del curso con modelos de impresión 3D	56	12.53%
Representación empírica	51	11.41%
Aplicaciones generales de los modelos de impresión 3D	48	10.74%
Impacto en el aprendizaje del estudiante	44	9.84%
Actualidad del estudiante en el aula de clase	42	9.40%
Rol del estudiante	34	7.61%
Conceptos claves del curso	29	6.49%
Actividad experiencial	23	5.14%

En la siguiente tabla se muestra la tabla de frecuencia de los códigos asociada a los expertos del curso dinámica de estructuras:

Tabla 40: Frecuencia de códigos asociados al curso de Dinámica de Estructuras.

Códigos	Dinámica de Estructura - Tamaño: 4	
	Frecuencia Absoluta	Frecuencia relativa de la tabla
Rol del estudiante	65	15.01%
Factibilidad de emplear los modelos de impresión 3D	58	13.39%
Aplicaciones generales de los modelos de impresión 3D	50	11.55%
Actividad experiencial	44	10.16%
Representar los contenidos del curso con modelos de impresión 3D	42	9.70%
Actualidad del estudiante en el aula de clase	41	9.47%
Representación empírica	39	9.01%
Visualización de los conceptos	39	9.01%
Impacto en el aprendizaje del estudiante	34	7.85%
Conceptos claves del curso	21	4.85%

En la siguiente tabla se muestra la tabla de frecuencia de los códigos asociada a los expertos del curso mecánica de materiales:

Tabla 41: Frecuencia de códigos asociados al curso de Mecánica de Materiales.

Códigos	Mecánica de Materiales - Tamaño: 7	
	Frecuencia Absoluta	Frecuencia relativa de la tabla
Actualidad del estudiante en el aula de clase	86	12.74%
Aplicaciones generales de los modelos de impresión 3D	83	12.30%
Representar los contenidos del curso con modelos de impresión 3D	78	11.56%
Factibilidad de emplear los modelos de impresión 3D	77	11.41%
Rol del estudiante	69	10.22%
Conceptos claves del curso	67	9.93%
Actividad experiencial	59	8.74%
Representación empírica	57	8.44%
Visualización de los conceptos	57	8.44%
Impacto en el aprendizaje del estudiante	42	6.22%

En la siguiente tabla se muestra la tabla de frecuencia de los códigos asociada a los expertos del curso diseño en acero:

Tabla 42: Frecuencia de códigos asociados al curso de Diseño en Acero

Códigos	Diseño en Acero - Tamaño: 6	
	Frecuencia Absoluta	Frecuencia relativa de la tabla
Conceptos claves del curso	44	13.37%
Factibilidad de emplear los modelos de impresión 3D	42	12.77%
Representar los contenidos del curso con modelos de impresión 3D	40	12.16%
Visualización de los conceptos	37	11.25%
Representación empírica	35	10.64%
Aplicaciones generales de los modelos de impresión 3D	30	9.12%
Impacto en el aprendizaje del estudiante	29	8.82%
Actividad experiencial	24	7.29%
Actualidad del estudiante en el aula de clase	24	7.29%
Rol del estudiante	24	7.29%

H.2. Tablas de Frecuencia – Categorías

La siguiente tabla muestra la frecuencia del grupo de códigos de las respuestas de los veintitrés expertos:

Tabla 43: Frecuencia Categorías en la muestra total de datos

Categorías	Expertos - Tamaño 23	
	Frecuencia Absoluta	Frecuencia relativa de la tabla
Enfoque Actividad Experimental	719	10.20%
Impacto sobre el uso potencial de los Modelos 3D	718	10.19%
Proyección de implementación de los Modelos 3D	718	10.19%
Estructura modelo Educativo y Pedagogía	711	10.09%
Metodología Aprendizaje Activo	705	10.00%
Propiedades y aplicaciones Modelos 3D	699	9.92%
Desafíos Actuales en el área Educativa	653	9.26%
Experiencia del Estudiante	622	8.82%
Metodología Aprendizaje Tradicional	469	6.65%
Cursos Área Ingeniería Estructural	468	6.64%
Problemas y Limitaciones de los modelos de impresión 3D	319	4.52%
Conceptos Clave de los Cursos	248	3.52%

El segundo criterio corresponde al rol de los expertos, diferenciando entre docentes y estudiantes. De esta forma la siguiente tabla contiene los datos de la frecuencia de las categorías en el grupo de los profesores:

Tabla 44: Frecuencia Categorías del grupo de profesores.

Códigos	Expertos G1 - Tamaño: 7	
	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa de la tabla
Proyección de implementación de los Modelos 3D	321	10.33%
Impacto sobre el uso potencial de los Modelos 3D	319	10.27%
Enfoque Actividad Experimental	317	10.21%
Estructura modelo Educativo y Pedagogía	317	10.21%
Metodología Aprendizaje Activo	314	10.11%
Propiedades y aplicaciones Modelos 3D	308	9.92%
Desafíos Actuales en el área Educativa	280	9.01%
Experiencia del Estudiante	267	8.60%
Metodología Aprendizaje Tradicional	216	6.95%
Cursos Área Ingeniería Estructural	191	6.15%
Problemas y Limitaciones de los modelos de	150	4.83%

impresión 3D		
Conceptos Clave de los Cursos	106	3.41%

Asimismo, se presenta la tabla de frecuencia de categorías del grupo de los estudiantes:

Tabla 45: Frecuencia Categorías del grupo de estudiantes.

Códigos	Expertos G2 - Tamaño: 16	
	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa de la tabla
Enfoque Actividad Experimental	402	10.19%
Impacto sobre el uso potencial de los Modelos 3D	399	10.12%
Proyección de implementación de los Modelos 3D	397	10.07%
Estructura modelo Educativo y Pedagogía	394	9.99%
Metodología Aprendizaje Activo	391	9.92%
Propiedades y aplicaciones Modelos 3D	391	9.92%
Desafíos Actuales en el área Educativa	373	9.46%
Experiencia del Estudiante	355	9.00%
Cursos Área Ingeniería Estructural	277	7.02%
Metodología Aprendizaje Tradicional	253	6.42%
Problemas y Limitaciones de los modelos de impresión 3D	169	4.29%
Conceptos Clave de los Cursos	142	3.60%

El tercer criterio está basado en la experiencia del experto dentro de los cursos seleccionados: análisis estructural, dinámica de estructuras, diseño en acero y mecánica de materiales. De esta forma la siguiente tabla contiene los datos de la frecuencia de categorías de los expertos en análisis estructural:

Tabla 46: Frecuencia Categorías del curso Análisis Estructural

Códigos	Análisis Estructural - Tamaño: 6	
	Frecuencia Absoluta	Frecuencia relativa de la tabla
Enfoque Actividad Experimental	154	10.41%
Impacto sobre el uso potencial de los Modelos 3D	147	9.94%
Estructura modelo Educativo y Pedagogía	146	9.87%
Proyección de implementación de los Modelos 3D	146	9.87%
Propiedades y aplicaciones Modelos 3D	145	9.80%
Metodología Aprendizaje Activo	143	9.67%
Desafíos Actuales en el área Educativa	138	9.33%
Experiencia del Estudiante	135	9.13%
Cursos Área Ingeniería Estructural	107	7.24%
Metodología Aprendizaje Tradicional	103	6.96%

Problemas y Limitaciones de los modelos de impresión 3D	66	4.46%
Conceptos Clave de los Cursos	49	3.31%

En la siguiente tabla se muestra la tabla de frecuencia de las categorías asociada a los expertos del curso dinámica de estructuras:

Tabla 47: Frecuencia Categorías del curso Dinámica de Estructuras.

Códigos	Dinámica de Estructura - Tamaño: 4	
	Frecuencia Absoluta	Frecuencia relativa de la tabla
Estructura modelo Educativo y Pedagogía	154	10.11%
Impacto sobre el uso potencial de los Modelos 3D	154	10.11%
Proyección de implementación de los Modelos 3D	154	10.11%
Enfoque Actividad Experimental	152	9.98%
Metodología Aprendizaje Activo	152	9.98%
Propiedades y aplicaciones Modelos 3D	150	9.85%
Desafíos Actuales en el área Educacional	146	9.59%
Experiencia del Estudiante	136	8.93%
Metodología Aprendizaje Tradicional	118	7.75%
Cursos Área Ingeniería Estructural	106	6.96%
Problemas y Limitaciones de los modelos de impresión 3D	72	4.73%
Conceptos Clave de los Cursos	29	1.90%

En la siguiente tabla se muestra la tabla de frecuencia de las categorías asociada a los expertos del curso mecánica de materiales:

Tabla 48: Frecuencia Categorías del curso Mecánica de Materiales.

Códigos	Mecánica de Materiales - Tamaño: 7	
	Frecuencia Absoluta	Frecuencia relativa de la tabla
Proyección de implementación de los Modelos 3D	264	10.31%
Impacto sobre el uso potencial de los Modelos 3D	262	10.23%
Metodología Aprendizaje Activo	262	10.23%
Enfoque Actividad Experimental	261	10.19%
Estructura modelo Educativo y Pedagogía	261	10.19%
Propiedades y aplicaciones Modelos 3D	255	9.96%
Desafíos Actuales en el área Educacional	234	9.14%
Experiencia del Estudiante	222	8.67%
Metodología Aprendizaje Tradicional	167	6.52%

Cursos Área Ingeniería Estructural	162	6.33%
Problemas y Limitaciones de los modelos de impresión 3D	112	4.37%
Conceptos Clave de los Cursos	99	3.87%

En la siguiente tabla se muestra la tabla de frecuencia de las categorías asociada a los expertos del curso diseño en acero:

Tabla 49: Frecuencia Categorías del curso Diseño en Acero

Códigos	Diseño en Acero - Tamaño: 6	
	Frecuencia Absoluta	Frecuencia relativa de la tabla
Impacto sobre el uso potencial de los Modelos 3D	155	10.43%
Proyección de implementación de los Modelos 3D	154	10.36%
Enfoque Actividad Experimental	152	10.23%
Estructura modelo Educativo y Pedagogía	150	10.09%
Propiedades y aplicaciones Modelos 3D	149	10.03%
Metodología Aprendizaje Activo	148	9.96%
Desafíos Actuales en el área Educativa	135	9.09%
Experiencia del Estudiante	129	8.68%
Cursos Área Ingeniería Estructural	93	6.26%
Metodología Aprendizaje Tradicional	81	5.45%
Conceptos Clave de los Cursos	71	4.78%
Problemas y Limitaciones de los modelos de impresión 3D	69	4.64%

I. Apéndice 10

Se expone la nube de palabra de cada uno de los criterios establecidos:

I.1. Nubes de Palabras

Del análisis general de los datos, se muestra las expresiones más utilizadas en la base de datos total de la muestra:



Del segundo criterio, diferenciados por el rol del experto, se muestran las expresiones más utilizadas por parte de los expertos docentes durante las entrevistas:

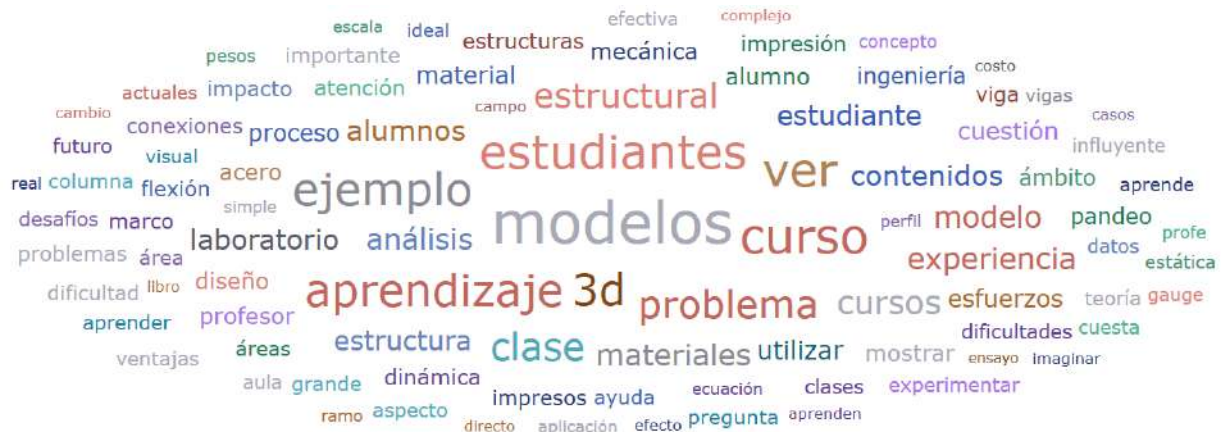


Figura 28: Nube de palabras de los expertos según rol - Docentes.

De forma análoga, se muestran las expresiones más utilizadas por parte de los expertos estudiantes:

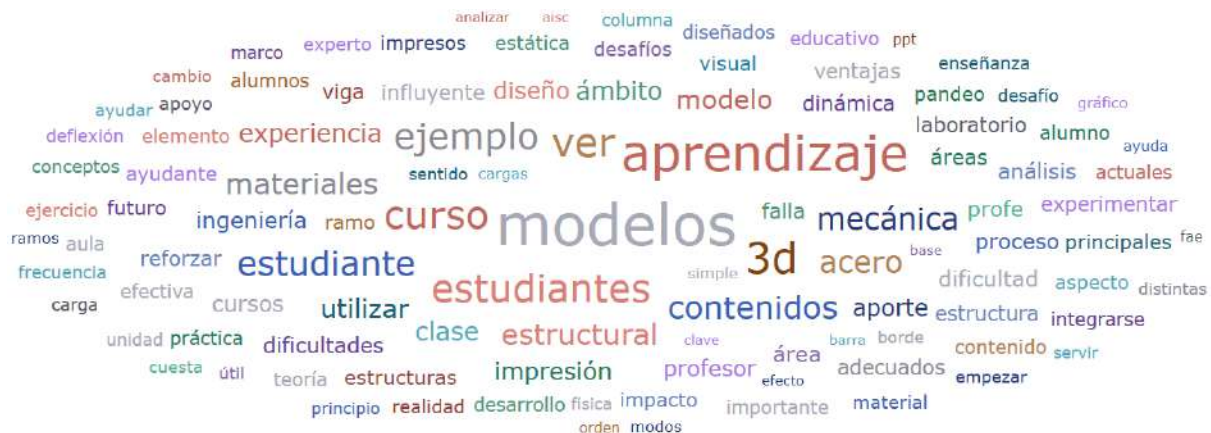


Figura 29: Nube de palabras de los expertos según rol - Estudiantes.

[illegible]

A word cloud of terms related to the educational process. The words are arranged in a horizontal, somewhat circular pattern. The most prominent words, shown in larger fonts, include 'estudiantes', 'ver3d', 'aprendizaje', 'estructuras', 'modelos', 'dinámica', 'ejemplo', 'proceso', 'matemática', 'altura', 'problema', 'frecuencia', 'laboratorio', 'contenido', 'estructura', 'dificil', 'cuestión', 'entender', 'complejo', 'distinto', 'justamente', 'rápido', 'ayudante', 'capturar', 'elementos', 'ventajas', 'atención', 'efecto', 'útil', 'experiencia', 'curso', 'análisis', 'clases', 'alumno', 'pesos', 'impacto', 'física', 'ingeniería', 'resonancia', 'aportar', 'áreas', 'dificultades', 'adecuados', 'actuales', 'experto', 'aprender', 'educativo', 'supuesto', 'ayuda', 'experimental', 'datos', 'estudiante', 'mostrar', 'resultados', 'campo', 'efectiva', 'cursos', 'exactamente', 'aula', 'real', 'concepto', 'nfluente', 'imprimir', 'barato', 'impresos', 'quizá', 'forma', 'impresión', 'reforzar', 'modelo', 'utilizar', 'futura', 'ramo', 'profesor', 'implementación', 'impresora', 'principales', 'teoría', 'clase', 'estructural', 'área', 'ámbito', 'porcentaje', 'tecnología', 'capaces', 'aspecto', 'computador', 'ayudar', 'comunes'. The words are in various colors (blue, green, red, orange, purple, brown) and orientations (horizontal, vertical, diagonal).

Las expresiones más utilizadas por parte de los expertos del curso mecánica de material

A word cloud of terms related to mechanics and materials. The most prominent words are 'materiales', 'mecánica', 'modelos', 'aprendizaje', 'estudiantes', 'curso', 'ejemplo', '3d', 'problema', 'corte', 'pandeo', 'alumnos', 'pregunta', 'gauge', 'diseño', 'desafío', 'ventajas', 'implementar', 'reforzar', 'complicado', 'falla', 'conocimiento', 'visualizar', 'flexión', 'ingeniería', 'dificultad', 'problemas', 'dificultades', 'ramo', 'ventajas', 'gauge', 'diseño', 'desafío', 'ventajas', 'implementar', 'reforzar', 'complicado', 'falla', 'conocimiento', 'visualizar', 'flexión', 'ingeniería', 'dificultad', 'problemas', 'dificultades', 'ramo'. Other visible words include 'deformación', 'calce', 'aporte', 'visual', 'realidad', 'carga', 'áreas', 'desarrollar', 'proceso', 'grande', 'enfocado', 'orden', 'estructural', 'capaces', 'entender', 'teoría', 'pesos', 'goma', 'columna', 'adecuados', 'efectiva', 'unidad', 'strain', 'apoyo', 'vigas', 'desafío', 'pregunta', 'gauge', 'diseño', 'desafío', 'ventajas', 'implementar', 'reforzar', 'complicado', 'falla', 'conocimiento', 'visualizar', 'flexión', 'ingeniería', 'dificultad', 'problemas', 'dificultades', 'ramo'.

[illegible]

79



J. Apéndice 11

En este apartado se especificarán los códigos que están presentes en el registro total de las entrevistas acorde a los grupos objetivos establecidos anteriormente. En base a lo anterior, la tabla que se expone a continuación contiene los códigos presentes en los datos asociados de cada uno de los veintitrés expertos:

Códigos Expertos	
Actualidad del estudiante en el aula de clase	Implementación Modelos de impresión 3D en los cursos
Comprensión del Modelo analítico	Proyección de los Modelos de Impresión 3D
Conceptos claves del curso	Refuerzo para el aprendizaje
Factibilidad de emplear los modelos de impresión 3D	Rol del estudiante
Impacto en el aprendizaje del estudiante	Visualización de los conceptos

Tabla 51: Códigos detectados en el grupo de expertos docentes.

73

Dificultades con la propuesta metodológica	Refuerzo para el aprendizaje
Interiorizar Conceptos	Relación de Conceptos Clave
Facilitar el aprendizaje y transmisión de los contenidos	Rol del estudiante
Factibilidad de emplear los modelos de impresión 3D	Método de Estudio
Funcionalidad Modelo generado con impresión 3D	Visualización de los conceptos
Impacto en el aprendizaje del estudiante	

Asimismo, se presenta la tabla que contiene los códigos presentes en la totalidad de los datos en el conjunto de estudiantes:

Tabla 52: Códigos detectados en el grupo de expertos estudiantes.

Códigos - Estudiantes	
Actividad experiencial	Opinión Metodología con Modelo de impresión 3D
Actualidad del estudiante en el aula de clase	Proyección Modelos de Impresión 3D
Alternativas de Herramienta didáctica	Refuerzo para el aprendizaje
Comprensión del Modelo analítico	Representación empírica
Conceptos claves del curso	Representar los contenidos del curso con modelos de impresión 3D
Programa de Estudio	Rol del estudiante
Factibilidad de emplear los modelos de impresión 3D	Rol del Profesor
Impacto en el aprendizaje del estudiante	Visualización de los conceptos
Implementación Modelos de impresión 3D en los cursos	

El tercer criterio está basado en la experiencia del experto dentro de los cursos seleccionados: análisis estructural, dinámica de estructuras, mecánica de materiales y diseño en acero. De esta forma, la siguiente tabla contiene los códigos presentes en la totalidad de los datos del conjunto de análisis estructural:

Tabla 53: Códigos detectados en el grupo de expertos del curso Análisis Estructural.

Códigos – Análisis Estructural	
Actualidad del estudiante en el aula de clase	Funcionalidad modelo generado con impresión 3D
Comprensión del Modelo analítico	Impacto en el aprendizaje del estudiante
Conceptos claves del curso	Implementación Modelos de impresión 3D en los cursos
Dificultades con la propuesta metodológica	Proyección Modelos de Impresión 3D
Interiorizar Conceptos	Refuerzo para el aprendizaje
Factibilidad de emplear los modelos de impresión 3D	Método de Estudio

En la siguiente tabla contiene los códigos presentes en la totalidad de los datos del conjunto de Dinámica de Estructuras:

Tabla 54: Códigos detectados en el grupo de expertos del curso Dinámica de Estructuras.

Códigos – Dinámica de Estructuras	
Actividad experiencial	Manual Instructivo para implementar Modelos 3D
Actividad Experiencial enfocada al estudiante	Proceso de enseñanza y aprendizaje
Actualidad del estudiante en el aula de clase	Método Aprendizaje activo
Aplicaciones generales de los modelos de impresión 3D	Método Aprendizaje tradicional
Atributos Diseño Modelo 3D	Metodología de Aprendizaje - Enfoque Teórico
Comprensión del comportamiento de un Elemento teórico	Opinión Metodología con Modelo de impresión 3D
Comprensión del Modelo analítico	Proyección Modelos de Impresión 3D
Conceptos claves del curso	Refuerzo para el aprendizaje
Contenido del Curso Abstracto	Relación de Conceptos Clave
Interiorizar Conceptos	Relacionar lo teórico con lo empírico
Facilitar el aprendizaje y transmisión de los contenidos	Representación empírica
Factibilidad de emplear los modelos de impresión 3D	Representar los contenidos del curso con modelos de impresión 3D
Frecuencia	Rol del Ayudante
Funcionalidad Modelo generado con impresión 3D	Rol del estudiante
Impacto en el aprendizaje del estudiante	Rol del Profesor
Implementación Modelos de impresión 3D en los cursos	Tipos de aprendizaje
Interacción Tangible Modelo 3D	Visualización de los conceptos

En la siguiente tabla contiene los códigos presentes en la totalidad de los datos del conjunto de Mecánica de Materiales:

Tabla 55: Códigos detectados en el grupo de expertos del curso Mecánica de Materiales.

Códigos – Mecánica De Materiales	
Actividad experiencial	Integración del Modelo de impresión 3D al Curso
Actualidad del estudiante en el aula de clase	Interacción Tangible Modelo 3D
Aplicaciones generales de los modelos de impresión 3D	Proceso de enseñanza y aprendizaje
Clases teóricas	Metodología Enseñanza del Profesor
Comprensión del comportamiento de un Elemento teórico	Opinión Metodología con Modelo de impresión 3D
Comprensión del Modelo analítico	Proyección Modelos de Impresión 3D
Conceptos claves del curso	Refuerzo para el aprendizaje
Contenido del Curso Abstracto	Representación empírica
Programa de Estudio	Representar los contenidos del curso con modelos de impresión 3D
Dificultades con la propuesta metodológica	Rol del estudiante

Fácil de usar Modelo de impresión 3D en el área educativa	Rol del Profesor
Facilitar el aprendizaje y transmisión de los contenidos	Método de Estudio
Factibilidad de emplear los modelos de impresión 3D	Videos - Tutoriales
Funcionalidad Modelo generado con impresión 3D	Viga
Impacto en el aprendizaje del estudiante	Visualización de los conceptos
Implementación Modelos de impresión 3D en los cursos	

En la siguiente tabla contiene los códigos presentes en la totalidad de los datos del conjunto de Diseño en Acero:

Tabla 56: Códigos detectados en el grupo de expertos del curso Diseño en Acero

Códigos – Diseño en Acero	
Actividad experiencial	Implementación Modelos de impresión 3D en los cursos
Actualidad del estudiante en el aula de clase	Importancia de los Conceptos del Curso
Alternativas de Herramienta didáctica	Interacción Tangible Modelo 3D
Modificación en la Actividad Experiencial	Metodología del diseño de los modelos
Modificación Estructura Clase	Opinión Metodología con Modelo de impresión 3D
Comprensión del comportamiento de un Elemento teórico	Proyección Modelos de Impresión 3D
Comprensión del Modelo analítico	Refuerzo para el aprendizaje
Conceptos claves del curso	Relación de Conceptos Clave
Curso Diseño en Acero	Representación empírica
Programa de Estudio	Representar los contenidos del curso con modelos de impresión 3D
Dificultades con la propuesta metodológica	Rol del estudiante
Interiorizar Conceptos	Rol del Profesor
Factibilidad de emplear los modelos de impresión 3D	Visualización de los conceptos
Impacto en el aprendizaje del estudiante	

K. Apéndice 12

K.1. Verificación cruzada – Convergencia de datos

En este apartado se presentan los datos obtenidos de la verificación de datos cruzados entre los códigos con mayor frecuencia y los códigos presentes en la totalidad de los grupos objetivos para cada criterio establecido.

En la siguiente tabla contiene los códigos resultantes de la verificación cruzada para el primer

criterio, es decir, el total de la muestra de los datos analizados:

Tabla 57: Verificación cruzada del registro total del grupo objetivo.

Códigos
Actualidad del estudiante en el aula de clase
Conceptos claves del curso
Factibilidad de emplear los modelos de impresión 3D
Impacto en el aprendizaje del estudiante
Rol del estudiante
Visualización de los conceptos

El segundo criterio corresponde al rol de los expertos, diferenciando entre docentes y estudiantes. De esta forma, la siguiente tabla contiene los códigos resultantes de la verificación cruzada del conjunto de docentes:

Tabla 58: Verificación cruzada del registro de los expertos docentes.

Códigos
Actualidad del estudiante en el aula de clase
Conceptos claves del curso
Factibilidad de emplear los modelos de impresión 3D
Impacto en el aprendizaje del estudiante
Rol del estudiante
Visualización de los conceptos

Asimismo, la siguiente tabla contiene los códigos resultantes de la verificación cruzada del conjunto de estudiantes:

Tabla 59: Verificación cruzada del registro de los expertos estudiantes.

Códigos
Actividad experiencial
Actualidad del estudiante en el aula de clase
Conceptos claves del curso
Factibilidad de emplear los modelos de impresión 3D
Impacto en el aprendizaje del estudiante
Representación empírica
Representar los contenidos del curso con modelos de impresión 3D
Rol del estudiante
Visualización de los conceptos

El tercer criterio está basado en la experiencia del experto dentro de los cursos seleccionados: análisis estructural, dinámica de estructuras, mecánica de materiales y diseño en acero. De esta

forma, la siguiente tabla contiene los códigos resultantes de la verificación cruzada del conjunto de expertos en Análisis Estructural:

Tabla 60: Verificación cruzada del registro de los expertos del curso Análisis Estructural.

Códigos
Factibilidad de emplear los modelos de impresión 3D
Impacto en el aprendizaje del estudiante
Actualidad del estudiante en el aula de clase
Conceptos claves del curso

En la siguiente tabla contiene los códigos resultantes de la verificación cruzada del conjunto de expertos en Dinámica de Estructuras:

Tabla 61: Verificación cruzada del registro de los expertos del curso Dinámica de Estructuras.

Códigos
Actividad experiencial
Actualidad del estudiante en el aula de clase
Aplicaciones generales de los modelos de impresión 3D
Conceptos claves del curso
Factibilidad de emplear los modelos de impresión 3D
Impacto en el aprendizaje del estudiante
Representación empírica
Representar los contenidos del curso con modelos de impresión 3D
Rol del estudiante
Visualización de los conceptos

En la siguiente tabla contiene los códigos resultantes de la verificación cruzada del conjunto de expertos en Mecánica de Materiales:

Tabla 62: Verificación cruzada del registro de los expertos del curso Mecánica de Materiales.

Códigos
Actualidad del estudiante en el aula de clase
Aplicaciones generales de los modelos de impresión 3D
Representar los contenidos del curso con modelos de impresión 3D
Factibilidad de emplear los modelos de impresión 3D
Rol del estudiante
Conceptos claves del curso
Actividad experiencial
Representación empírica
Visualización de los conceptos
Impacto en el aprendizaje del estudiante

En la siguiente tabla contiene los códigos resultantes de la verificación cruzada del conjunto de expertos en Diseño en Acero:

Tabla 63: Verificación cruzada del registro de los expertos del curso Diseño en acero.

Códigos
Actividad experiencial
Actualidad del estudiante en el aula de clase
Conceptos claves del curso
Factibilidad de emplear los modelos de impresión 3D
Impacto en el aprendizaje del estudiante
Representación empírica
Representar los contenidos del curso con modelos de impresión 3D
Rol del estudiante
Visualización de los conceptos

L. Apéndice 13

En este apartado se utiliza la herramienta del programa ATLAS.ti, red de palabras, para representar visualmente la relación entre los códigos resultantes de la verificación cruzada para cada uno de los criterios:

L.1. Red de palabras – Expertos General

En el primer criterio se obtuvo los códigos de los códigos de la verificación cruzada de todos los expertos, cuya representación en la red de palabras expuesta en la siguiente figura:

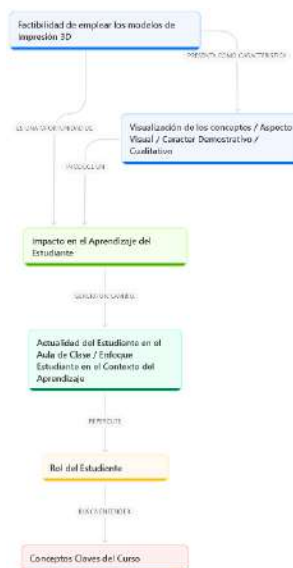


Figura 34: Red de palabras de la muestra total de datos.

L.2. Red de palabras – Expertos por rol

En el segundo criterio diferenciando a los expertos por el rol, la red de palabras para los docentes se obtuvo la siguiente figura:

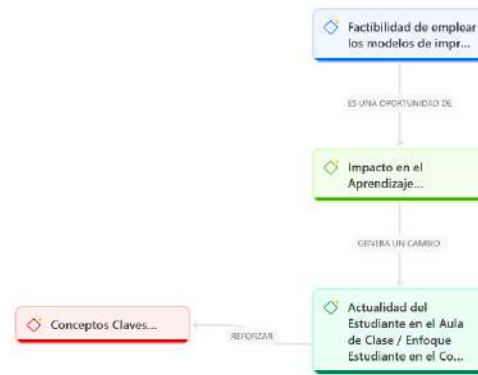


Figura 37: Red de palabras por curso, expertos en análisis estructural.

Para los expertos del curso dinámica de estructuras se obtuvo la siguiente figura:

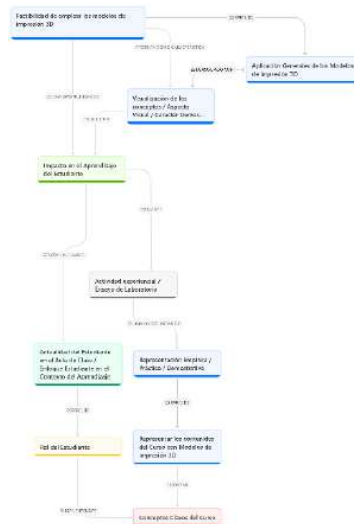


Figura 38: Red de palabras por curso, expertos en dinámica de estructuras.

Para los expertos del curso mecánica de materiales se obtuvo la siguiente figura:

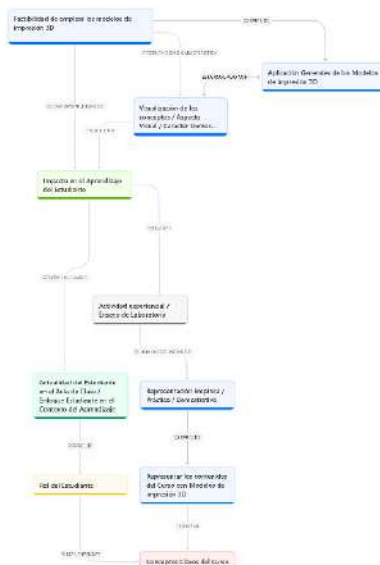


Figura 39: Red de palabras por curso, expertos en mecánica de materiales.

Para los expertos del curso diseño en acero se obtuvo la siguiente figura:



Figura 40: Red de palabras por curso, expertos en diseño en acero.

M. Apéndice 14

M.1. Comparativa por Grupo - Categorías

En la siguiente tabla contiene las categorías más presentes en el total de la muestra de los datos analizados:

Tabla 64: Categorías con mayor presencia para los expertos.

Categorías
Enfoque Actividad Experimental
Estructura modelo Educativo y Pedagogía
Impacto sobre el uso potencial de los Modelos 3D
Metodología Aprendizaje Activo
Proyección de implementación de los Modelos 3D

En la siguiente tabla contiene las categorías de los grupos separados por el rol del experto, docentes y estudiantes:

Tabla 65: Categorías por rol del experto

Categorías	Docentes	Estudiantes
Enfoque Actividad Experimental	X	X
Estructura modelo Educativo y Pedagogía	X	X
Impacto sobre el uso potencial de los Modelos 3D	X	X
Metodología Aprendizaje Activo	X	X
Proyección de implementación de los Modelos 3D	X	X

En la siguiente tabla contiene las categorías de los grupos separados por el curso con mayor

experiencia para el experto: análisis estructural, dinámica de estructuras, mecánica de materiales y diseño en acero:

Tabla 66: Categorías por curso.

Categorías	Análisis Estructural	Dinámica de Estructuras	Mecánica de Materiales	Diseño en Acero
Enfoque Actividad Experimental	X	X	X	X
Estructura modelo Educativo y Pedagogía	X	X	X	X
Impacto sobre el uso potencial de los Modelos 3D	X	X	X	X
Metodología Aprendizaje Activo	X	X	X	X
Proyección de implementación de los Modelos 3D		X	X	X
Propiedades y aplicaciones Modelos 3D	X			