



**Acreditación Institucional
DE ALTA CALIDAD**
Resolución 009527 Mineducación Sep. 6 de 2019

RELACIONES ENTRE LAS HABILIDADES ESPACIALES Y LA RESOLUCIÓN DE
PROBLEMAS DE CONCEPTOS DE ESTRUCTURAS EN ESTUDIANTES DE
INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD DE IBAGUÉ

JORGE OLMEDO MONTOYA VALLECILLA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MANIZALES
FACULTAD DE ESTUDIOS SOCIALES Y EMPRESARIALES
MAESTRIA EN ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS
MANIZALES

2023

RELACIONES ENTRE LAS HABILIDADES ESPACIALES Y LA RESOLUCIÓN DE
PROBLEMAS DE CONCEPTOS DE ESTRUCTURAS EN ESTUDIANTES DE
INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD DE IBAGUÉ

Autor

JORGE OLMEDO MONTOYA VALLECILLA

Proyecto de grado para optar al título de Magister en Enseñanza de las Ciencias

Tutor

Miguel Ángel Valencia Rodríguez

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MANIZALES
FACULTAD DE ESTUDIOS SOCIALES Y EMPRESARIALES
MAESTRIA EN ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS
MANIZALES

2023

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Miguel Ángel Valencia Rodríguez, por su constante asesoría y excelente disposición para guiarme en el presente trabajo. Su mayor virtud: guiar, facilitar el aprendizaje, permitir que el estudiante descubra sus sendas. Gracias Miguel, con docentes como usted, los estudiantes maximizan sus potencialidades, justo lo que los nuevos retos de la sociedad demandan.

Gracias infinitas a la profesora Ana Milena López Rúa. Su don de gente, su espíritu de colaboración y su entrega, son difíciles de encontrar. Gracias Ana Milena, que tanta bondad sea recompensada

RESUMEN

Se realizó una intervención de aula en estudiantes de 5to y 6to semestre del programa de ingeniería civil de la Universidad de Ibagué, cuyo propósito era describir los cambios en habilidades espaciales y de resolución de problemas asociados al estudio del comportamiento de las estructuras. Se implementó un estudio fundamentado en dos categorías principales: Resolución de Problemas (RP) y Habilidades Espaciales (HE), con el propósito de caracterizar en los estudiantes, ambas categorías antes de una intervención didáctica, describir los cambios en HE y RP después de la intervención e identificar las relaciones entre HE y RP. Para esto, se planteó una investigación cualitativa centrada en el aprendizaje y se desarrolló una unidad de análisis dividida en las dos categorías y 6 subcategorías. Para la recolección de información se usaron dos técnicas: cuestionarios y observación. Los instrumentos se aplicaron antes y después de la intervención didáctica, en tanto que la observación directa se llevó a cabo en la intervención misma. Para esta última, se desarrolló durante 12 sesiones de 2 horas, actividades de aula orientadas al desarrollo de habilidades, conocimientos y destrezas en torno a las categorías, en tres momentos: ubicación, desubicación y reenfoque. El plan de análisis se hizo por medio de matriz de contenido para tres fases: pre análisis, fase analítica y fase interpretativa. Los resultados indican que la mayoría de los estudiantes mejoraron significativamente su capacidad de RP, en la misma proporción en que mejoraron en HE

Palabras clave: habilidades espaciales, resolución de problemas, visualización espacial, orientación espacial, rotación mental

ABSTRACT

A classroom intervention was carried out in 5th and 6th semester students of the civil engineering program of the University of Ibagué, whose purpose was to describe the changes in spatial and problem solving skills associated with the study of the behavior of structures. In quantitative and qualitative evaluations, it became evident that the difficulties were mainly associated with deficiencies related to spatial skills. A study was implemented based on two main categories: Problem Solving (PS) and Spatial Skills (SS), with the purpose of characterizing both categories in students before a didactic intervention, describing the changes in SS and PS after the intervention and identifying the relationships between SS and PS. For this purpose, a qualitative research focused on learning was proposed and a unit of analysis divided into the two categories and 6 subcategories was developed. Two techniques were used for data collection: questionnaires (pencil and paper instrument) and direct observation (checklist). The instruments were applied before and after the didactic intervention, while direct observation was carried out during the intervention itself. For the latter, classroom activities oriented to the development of skills, knowledge and abilities around the categories were developed during 12 sessions of 2 hours, in three moments: location, dislocation and refocusing. The analysis plan was made by means of a content matrix for three phases: pre-analysis, analytical phase and interpretative phase. The results indicate that most of the students in the sample significantly improved their RP ability, in the same proportion as they improved in HE, marking a direct relationship between both categories.

Keywords: spatial skills, problem solving, spatial visualization, spatial orientation, mental rotation

TABLA DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN.....	11
2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
2.1	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	13
2.2	JUSTIFICACIÓN	20
2.2.1	Pregunta de investigación.....	21
3	OBJETIVOS.....	22
3.1	OBJETIVO GENERAL.....	22
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
4	MARCO CONCEPTUAL	23
4.1	INTRODUCCIÓN	23
4.2	RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS.....	23
4.3	APRENDIZAJE Y RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS SOBRE CONCEPTOS ESTRUCTURALES.....	31
4.4	DESARROLLO DE HABILIDADES ESPACIALES EN INGENIERÍA.....	34
4.5	MODELACIÓN EN INGENIERÍA CIVIL	36
5	METODOLOGÍA.....	39
5.1	ENFOQUE Y ALCANCE	39
5.2	POBLACIÓN Y CONTEXTO	40
5.3	UNIDAD DE TRABAJO	40
5.4	CONSIDERACIONES ÉTICAS	41
5.5	UNIDAD DE ANÁLISIS	41
5.6	TÉCNICAS Y FUENTES DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	42
5.7	UNIDAD DIDÁCTICA.....	43

5.8	DISEÑO METODOLÓGICO.....	47
5.9	PLAN DE ANÁLISIS	49
5.9.1	Definición de códigos	53
5.9.2	Integración final de los hallazgos	55
6	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	57
6.1	RESULTADOS INSTRUMENTO INICIAL	60
6.2	INTERVENCIÓN DIDÁCTICA.....	69
6.3	RESULTADOS INSTRUMENTO FINAL	77
6.4	CAMBIOS DETECTADOS EN CATEGORÍAS Y SUBCATEGORÍAS	84
6.4.1	Análisis por criterio	84
6.4.2	Análisis por subcategoría.....	86
6.4.3	Cambios individuales por subcategoría.....	88
6.5	RELACIONES ENTRE LAS CATEGORÍAS.....	91
7	CONCLUSIONES.....	96
8	RECOMENDACIONES	99
9	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
10	ANEXOS	106

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Categorías y subcategorías de la investigación.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 2. Instrumentos y técnicas de investigación.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 3. Descripción general de las actividades de la unidad didáctica</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 4. Matriz de análisis de contenido</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 5. Códigos por subcategoría</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 6. Códigos por criterios</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 7. Distribución de preguntas por categoría, subcategoría y criterio</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 8. Rúbrica para clasificar los niveles de conocimiento según respuestas.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 9. Pregunta 1 instrumento inicial, con respuestas de los estudiantes</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 10. Pregunta 2 Instrumento inicial, con respuestas de los estudiantes</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 11. Pregunta 3 instrumento inicial, con respuestas de los estudiantes.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 13. Pregunta 1 instrumento final, con respuestas de los estudiantes</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 14. Pregunta 2 instrumento final, con respuestas de los estudiantes</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 15. Pregunta 3 instrumento final, con respuestas de los estudiantes</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 16. Clasificación de los niveles en los estudiantes, de acuerdo a sus respuestas.....</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 17. Identificación de relaciones entre HE y RP</i>	<i>93</i>

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 Esquema de diseño metodológico generalizado</i>	<i>48</i>
<i>Figura 2 Esquema de diseño metodológico particularizado</i>	<i>49</i>
<i>Figura 3 Ejemplo de diapositivas usadas en el aula para presentar contenidos en HE</i>	<i>70</i>
<i>Figura 4 Ejemplo de instrumento usado en el aula para evaluar aprendizaje en HEOE</i>	<i>71</i>
<i>Figura 5 Ejemplo de instrumento usado en el aula para evaluar aprendizaje en HEVE</i>	<i>72</i>
<i>Figura 6 Ejemplos de diapositivas para presentación de contenidos en RP</i>	<i>73</i>
<i>Figura 7 Ejemplos de diapositivas para presentación de contenidos de flexión en RP</i>	<i>74</i>
<i>Figura 8 Ejemplo de diapositivas para presentación de contenidos biaxiales en RP</i>	<i>75</i>
<i>Figura 9 Formulación de los problemas para cada etapa de RP</i>	<i>76</i>
<i>Figura 10 Fotos de ejemplos de los estudiantes para la primera y segunda etapa de RP ..</i>	<i>76</i>
<i>Figura 11 Fotos de ejemplos de los estudiantes para la tercera y cuarta etapa de RP</i>	<i>77</i>
<i>Figura 12 Cambios en conocimientos de los estudiantes de acuerdo a cada pregunta</i>	<i>85</i>
<i>Figura 13 Cambios en conocimientos de los estudiantes de acuerdo a cada subcategoría</i>	<i>87</i>
<i>Figura 14 Cambios en los conocimientos ESTCIVIL1 y ESTCIVIL2 por subcategoría.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 15 Cambios en los conocimientos ESTCIVIL3 y ESTCIVIL4 por subcategoría.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 16 Cambios en los conocimientos ESTCIVIL5 y ESTCIVIL6 por subcategoría.....</i>	<i>91</i>

ANEXOS

<i>Anexos 1. Formato protocolo para el manejo de seres vivos en investigación</i>	<i>106</i>
<i>Anexos 2. Consentimiento informado estudiantes.....</i>	<i>110</i>
<i>Anexos 3. Consentimiento informado Universidad</i>	<i>111</i>
<i>Anexos 4. Documento exploración de ideas previas</i>	<i>112</i>
<i>Anexos 5. Post test instrumento final</i>	<i>120</i>

1 INTRODUCCIÓN

Dentro de la práctica pedagógica del autor en el programa de ingeniería civil en la universidad de Ibagué, uno de los factores que han sido identificados como inhibidores de la capacidad de los estudiantes para analizar, comprender el comportamiento y diseñar estructuras, ha sido la falta de habilidad espacial para la visualización y construcción mental de esquemas tridimensionales. A pesar de que se han hecho varios intentos por mejorar la capacidad de interpretación de las diferentes formas (elaboración de maquetas simples, refuerzos en conocimientos previos en geometría descriptiva, técnicas de dibujo a mano), no se ha evidenciado mejoría en aspectos relacionados con el desarrollo de pensamiento crítico de los estudiantes, que se transformen en logros como la correcta interpretación de las respuestas internas de una estructura tridimensional, o un buen análisis comparativo entre el modelo matemático y la estructura.

Las falencias anteriormente descritas se evidencian en las dificultades de los estudiantes para realizar avalúos de cargas muertas de la edificación, precisamente debido al no desarrollo de habilidades que le permitan identificar los planos y distribuciones arquitectónicas en planta, como proyecciones de un modelo tridimensional. De la misma manera, lo anterior se traduce en dificultades adicionales para comprender los efectos sobre la estructura producidos por cargas gravitacionales (muertas y vivas) y cargas laterales como las producidas por eventos sísmicos, imposibilitando el correcto cálculo e interpretación del cortante basal. Estas limitaciones le impiden al estudiante, además, realizar la selección adecuada de dimensiones tridimensionales de las secciones de los diferentes elementos estructurales, al igual que el correcto posicionamiento de vigas y columnas.

Todo lo anterior lleva a que el estudiante no desarrolle la habilidad de comprender la estructura como un todo, derivando finalmente en la dificultad para interpretar los resultados de los análisis y modelaciones y por supuesto, el correcto diseño de sus componentes. De esta problemática nace la necesidad de proponer una metodología activa de aprendizaje, en la que se apliquen estrategias didácticas donde el estudiante desarrolle

las habilidades espaciales necesarias para comprender la estructura como un todo, a partir de sus elementos constitutivos, proceso que se propone a partir de la lectura e interpretación de planos, pasando a la construcción de modelos tridimensionales y, por último, la modelación virtual a partir de los dos anteriores.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En las últimas dos décadas se han realizado algunos estudios importantes en relación con la construcción de modelos físicos a escala y la modelación computacional en el estudio del comportamiento de las estructuras, en programas de pregrado de ingeniería civil. Ji & Bell (2000) desarrollaron una serie de experimentaciones en diferentes cursos de ingeniería estructural, en los cuales usaron modelos físicos, como ejemplo de comportamientos estructurales con el propósito de lograr que, por medio de la experimentación, los estudiantes se familiarizaran con los conceptos y de esta manera, por observación directa, pudieran comprenderlos de una manera significativa. En su intervención ellos realizaron seis ejemplos representativos: resonancia, fuerza directa, equilibrio, relación entre luz y deflexión, control estructural y vibración. Dentro de su investigación, el propósito trazado era hacer los fenómenos visibles a los estudiantes, por medio de observación directa. Respecto a las dificultades para comprender los conceptos, los investigadores afirman: “Muchos estudiantes experimentan dificultades para entender dichos conceptos: si estos conceptos y principios pudieran hacerse más observables y tangibles, los estudiantes podrían entenderlos mejor y estarían más concentrados al desarrollo de las clases y el ambiente de aprendizaje” (Ji & Bell, 2000 p. 2).

Durante la investigación realizada, Ji & Bell involucraron a los estudiantes en la construcción de los modelos, los cuales fueron seleccionados y representados por medio de ejemplos reales de aplicación, con el objetivo de hacer un paralelo con cada modelo. Por medio de las experimentaciones realizadas, los estudiantes entraron en contacto con conceptos que anteriormente solo podían imaginar, como el módulo de Young y el concepto de inercia en el caso de deflexión, el concepto de resonancia, demostrado en sitios de baile a escala, donde visualizaron la relación directa existente entre la rapidez de los movimientos y la vibración de una estructura. Para el caso de control estructural, lograron demostrar la estabilidad de dos bandas de goma idénticas, sometidas a una masa de igual magnitud, pero soportadas de manera diferente. Ji & Bell concluyeron que la experimentación con modelación física ayuda a los estudiantes a comprender mejor la

aplicación de los conceptos estructurales en la práctica de la ingeniería. También indicaron que la metodología aplicada ayuda a que los estudiantes estén más receptivos a los conceptos teóricos impartidos y que por ende conlleva a un ambiente de aprendizaje más ameno.

En el 2002, (Maizan et al) realizaron un estudio comparativo entre dos grupos de estudiantes de Ingeniería Civil en el Instituto Politécnico de Malasia, con el propósito de evaluar los efectos respecto a habilidades espaciales y visuales al ser expuestos a un ambiente de aprendizaje en el que uno de los dos grupos (intervención) trabajaba con modelos físicos y experimentación. El estudio se realizó en una clase de Análisis de Estructuras donde a los estudiantes se les pedía realizar esquemas de modelos estructurales a partir de la visualización y la imaginación. El estudio concluyó que los estudiantes que fueron expuestos a este ambiente de aprendizaje obtuvieron ventajas estadísticas significativas en el desarrollo de habilidades espaciales y visuales respecto al grupo de control.

Holmes & Mullen, (2013) realizaron un estudio sobre experimentación con modelos físicos en el departamento de Ingeniería Civil del Instituto Tecnológico de Dublín. El estudio fue realizado en estudiantes de segundo año de un programa de pregrado de cuatro años de duración. El objetivo trazado por los investigadores era mejorar la comprensión de los principios de construcción y los fundamentos de estructuras en los estudiantes. Para esto se basaron en la conclusión de que los estudiantes debían ser proactivos ya que de acuerdo con las conclusiones de Bloom (citado en Holmes & Mullen, 2013), la creatividad está en la escala más alta de las actividades de aprendizaje más influyentes.

Holmes & Mullen organizaron a los estudiantes en grupos de 4 integrantes a los cuales le entregaron una serie de planos estructurales diferentes para cada equipo, para la construcción de un modelo a escala. Los planos correspondían a edificaciones de dos niveles. Como objetivo adicional, los investigadores buscaban que los estudiantes comprendieran detalles estructurales de los planos y a partir de esto se enfocaran en los posibles procedimientos de ensamblaje al momento de materialización del edificio. A los estudiantes se les proveyó con dibujos sobre distintos ensamblajes, así como detalles de

vigas de concreto y elementos de acero. Para asegurar que los estudiantes trabajaran durante todo el semestre en el proyecto, los investigadores programaron cuatro entregas parciales, así: cimentación, muros, primer piso y, por último, la cubierta. Los investigadores indican en los resultados de su intervención que los estudiantes se dedicaron al trabajo con entusiasmo y de la misma manera presentaron la materialización de sus proyectos. También indican:

“Los resultados demuestran que los estudiantes entendieron lo que se les pedía y construyeron los modelos de tal forma que cada elemento se ensambla de manera lógica con los anteriores. Por ejemplo, los muros solo se insertan una vez se ha concluido la cimentación y el primer piso se ensambla en las cavidades de los muros, etc”. (Holmes & Mullen, 2013 p. 13).

Para completar la investigación, los autores realizaron una encuesta a los estudiantes con el objetivo de indagar sobre el grado en el que estos estuvieron involucrados en el proyecto, así como su nivel de satisfacción. Algunas de las preguntas realizadas a los estudiantes fueron: “¿considera que la construcción de modelos ha sido de utilidad para comprender los conceptos teóricos?, ¿considera que su nivel de atención en las clases se ha incrementado debido a la actividad realizada?” (Holmes & Mullen, 2013 p. 17). El 94% y 88% respectivamente respondieron de manera afirmativa a las preguntas anteriores. Finalmente, los investigadores concluyen que la construcción de modelos permite entender, analizar y conceptualizar mejor el funcionamiento de las estructuras en ingeniería civil y que el ejercicio realizado ayudó significativamente a diferenciar entre la teoría y las estructuras reales.

Veide & Strozheva, (2015) desarrollaron un estudio titulado *Métodos de visualización de formas geométricas en la enseñanza de la Ingeniería Civil* en un curso de segundo año de Ingeniería en el Instituto Técnico de Riga. El estudio realizado comprendía tres etapas: construcción de un modelo físico a escala, desarrollo del modelo en un software de dibujo (archiCaD) y posteriormente la construcción del modelo tridimensional en un ambiente de virtual de realidad aumentada AR por medio de BIM. El objetivo de la intervención era permitir a los estudiantes el desarrollo de habilidades espaciales y facilitar

así la comprensión de temas asociados con modelos tridimensionales, esencial en la práctica de la ingeniería civil. El curso en el cual se realizó la intervención relaciona los conocimientos teóricos y el uso estándar de representaciones de las construcciones en ingeniería civil con las representaciones en el plano, para lo cual se requieren habilidades en el uso de geometría descriptiva y graficas en ingeniería. Los autores describen los contenidos así: “la estructura del curso tiene cuatro módulos: Proyecciones con niveles de marca, construcción de cielorrasos, dibujo en ingeniería civil y modelación geométrica por medio de ArchiCAD o arquitectura Revit” (Veide & Strozheva, 2015 p. 313).

El curso en el cual se hizo la intervención (semestre primavera) tenía una duración de 32 horas académicas de dos horas semanales. El mismo incluía un curso nivelatorio de 10 horas de ArchiCAD. La evaluación del curso solo considera aprobado o no aprobado, para lo cual tomaban un único examen al final del curso, en una escala de 1-10. Durante la primera parte del curso, los estudiantes hacían localización topográfica por medio de proyecciones con nivel, determinando además volúmenes de corte y llenado, todo lo anterior por medio de la ayuda computacional. En la segunda parte, los estudiantes (de forma individual) construían la cubierta del modelo a escala, para lo cual debían trabajar con escalas y pendientes, materializándolas de acuerdo con el modelo antes realizado en el computador. Como tercer paso, los estudiantes volvían al computador a crear el modelo, ya no en forma de dibujo y esquemas sino como planos arquitectónicos, a partir del modelo físico construido. Por último, los estudiantes usaban un software de realidad aumentada (BIM) para construir el modelo tridimensional, esta vez, a partir de los planos arquitectónicos generados en CAD. El objetivo final era hacer una impresión tridimensional del modelo en BIM y compararlo con el modelo físico construido a mano.

Los investigadores concluyen que “el uso de distintos métodos de visualización en el proceso educativo es un método efectivo de lograr conocimiento, cognición y comprensión de diferentes asignaturas en ingeniería” (Veide & Strozheva, 2015 p. 315). Además, indican que la construcción manual de modelos ayuda en la consecución de habilidades espaciales, así como a la comprensión de las diferentes formas y geometría de los objetos.

En la Universidad de Ibagué (Montoya, 2018) realizó una intervención en la asignatura Mecánica de Materiales en la cual se llevó a cabo un proceso de trabajo colaborativo tripartita de visualización, experimentación y discusión como estrategia didáctica en el aprendizaje en el área de estructuras. Posterior a la intervención que duró un semestre académico y que fue realizada con estudiantes de 5to semestre, se concluyó que los mismos mejoraron su capacidad interpretativa y analítica respecto a los fenómenos estudiados y su relación con estructuras reales. Este mismo autor (Montoya, 2019) realizó una intervención en estudiantes de 5 y 6 semestre de Ingeniería civil, en la cual se llevó a cabo un enfoque inductivo-deductivo-inductivo en el estudio de modelos físicos y su aplicación a los esfuerzos internos en las estructuras. El estudio concluyó que los estudiantes fortalecen su aprendizaje con el uso de representaciones y modelos y que esto les permite un mejor acercamiento y comprensión del comportamiento real de las estructuras.

Como solución al problema identificado, se propone la implementación de una metodología activa de aprendizaje basada en la construcción de modelos físicos a escala, trabajo colaborativo, simulación virtual y análisis y modelación computacional. Se espera que la intervención (la cual se realizará en el aula) favorezca las competencias espaciales y con ellas, la capacidad de análisis y resolución de problemas. En el presente estudio se plantea realizar una intervención en un grupo diverso de estudiantes pertenecientes 5to semestre del programa de Ingeniería Civil de la Universidad de Ibagué. De la misma manera, dentro de la intervención se plantea la evaluación de la eficacia de una metodología basada en la exposición de los estudiantes a un ambiente de enseñanza y aprendizaje en tres momentos consecutivos y complementarios entre sí: conceptualización teórica y construcción de modelos a escala; contextualización por simulación virtual; y, por último, validación y reestructuración por comparación.

En un primer momento se espera que los estudiantes aprendan por descubrimiento: por medio de un enfoque activo de trabajo colaborativo en equipos (de tres a cuatro estudiantes), el docente entrega a los estudiantes, modelos bidimensionales de partes de una estructura. Durante dos a tres sesiones de clase, los estudiantes generarán discusiones

dentro de los diferentes equipos de trabajo en torno a la naturaleza de cada uno de los elementos de la estructura, su responsabilidad dentro del sistema estructural, los tipos de carga que deben soportar, la forma geométrica más apropiada, el posible ensamblaje de sus elementos en la estructura real, las características mecánicas de los materiales, entre otros aspectos.

Durante el proceso de discusión se espera que los estudiantes logren la construcción del concepto a través de la discusión, el intercambio de ideas y la retroalimentación del profesor, quien está disponible en las discusiones grupales como facilitador de la construcción del conocimiento. Una vez el grupo adquiera el conocimiento integral de la disposición, funcionalidad e interconectividad de los diferentes elementos bidimensionales de la estructura, se elaborarán unos instrumentos en los cuales los estudiantes trabajan rotación mental de figuras geométricas. Finalmente, los estudiantes proceden a la construcción de un modelo tridimensional a escala de la estructura. Dado que es un modelo a escala, los estudiantes son autónomos de seleccionar los materiales y la disposición de los elementos a partir de bocetos bidimensionales creados por ellos mismos. Con la construcción del modelo tridimensional a escala se espera que el estudiante por medio de un enfoque inductivo logre establecer la relación existente entre un boceto y su producto final, que es un modelo tridimensional, lo cual supone un avance en su proceso de estructuración mental, capacidad de análisis, pensamiento espacial y capacidad propositiva y de solución de problemas.

En un segundo momento, los estudiantes, en los diferentes grupos de trabajo, evalúan y definen las posiciones de las cargas sobre los diferentes elementos de la estructura. A partir de un enfoque magistral en el cual el docente presenta las formas como las cargas se representan en los diferentes elementos estructurales, los estudiantes deben representar, en los modelos tridimensionales contruidos, las cargas que se presentarían en dichos elementos en una situación real. Una de las mayores dificultades que se evidencian en esta asignatura y en otras que la suceden es que el estudiante no logra la comprensión del concepto de cargas distribuidas en una línea o en un área. Por esta razón, es importante que los estudiantes logren representar físicamente estas fuerzas en los diferentes elementos. Se

espera que este momento dure de dos a tres sesiones presenciales en las que todos los elementos de la estructura tengan un tipo de carga que los represente.

Durante esta intervención, el docente será un facilitador o mediador de las discusiones de los estudiantes, estando atento ante la necesidad de encaminarlos con ideas, cuando definitivamente sea notorio que no van por el camino que los lleve hacia el objetivo, que es pasar de las magnitudes teóricas (incomprensibles para ellos porque no tienen claro el orden de magnitud de la unidad de medida, su relación con cantidades conocidas ni el concepto de fuerza distribuida) a la visualización y representación de dichas magnitudes en la realidad, lo cual evidencia una contextualización.

En un tercer y último momento, habiendo pasado de un modelo en plano de elementos, a un modelo tridimensional construido a escala y después de haber definido y representado las cargas distribuidas y puntuales en los diferentes elementos de la estructura, los estudiantes (aun en los equipos de trabajo) deben hacer una modelación virtual de la estructura tridimensional por medio del software ETABS, el cual es usado para el análisis y cálculo de estructuras. Para esto, los estudiantes deberán definir las magnitudes reales de la estructura, (a partir de la escala de trabajo) las resistencias de los materiales a utilizar y las características de interconectividad de los elementos, tal como se definieron en el primer momento. Los estudiantes modelan la estructura generando vistas tridimensionales de las cargas sobre los diferentes elementos estructurales, longitudes de elementos, dimensiones en planta y elevación y fuerzas internas máximas. De la misma manera, el grupo debe visualizar las diferentes deformaciones de los elementos ante la aplicación de cargas vivas, muertas y sísmicas. Para que lo anterior se lleve a cabo, los estudiantes participan en tres sesiones magistrales en las que el docente en un enfoque deductivo, instruye a los estudiantes sobre el manejo del software. Finalmente, los estudiantes comparan los resultados obtenidos en dicho modelo virtual, con el modelo a escala construido.

En este proceso de validación y reestructuración se espera que los estudiantes se hagan preguntas del tipo: ¿al analizar el modelo virtual, se obtienen resultados parecidos al obtenido al generar una perturbación similar en sobre el modelo construido a escala?, ¿las deflexiones que se visualizan en el modelo construido con la carga simulada es cercana en

magnitud, forma, etc. a la que se ve en el computador?, ¿la rigidez del modelo construido es similar a la del modelo computacional?, ¿será esta similar al real? ¿La escala del modelo construido es lógica al ser comparada con cómo se ve el modelo computacional? Se espera que estas y otras preguntas similares lleven a los estudiantes al desarrollo de debates donde evidencien avancen en su capacidad de resolución de problemas. Además, se espera que logren validar los conocimientos construidos en las dos etapas anteriores y a reestructurar las ideas con el fin de lograr que dicho conocimiento perdure en el tiempo.

En cada una de las etapas del proceso, se administrará a los estudiantes diferentes instrumentos (cuestionarios, entrevistas). De la misma manera, los estudiantes serán expuestos a situaciones problemáticas con el propósito de evaluar los cambios en la capacidad de resolución de problemas.

2.2 JUSTIFICACIÓN

El ingeniero civil en su desempeño profesional usa como insumo en el diseño, modelos bidimensionales que luego debe convertir a representaciones computacionales tridimensionales y posteriormente materializarlas en una obra tangible. La necesidad de convertir planos a estructuras tangibles requiere del manejo de habilidades espaciales que le permitan comprender el funcionamiento global de la estructura, así como el poder estimar su comportamiento y funcionalidad ante la ocurrencia de cargas de diferente naturaleza, durante la vida útil de la edificación o estructura. De la misma manera, la estabilidad estructural ante las posibles formas es un tema que el ingeniero debe estimar y predecir antes de la materialización de la obra. Es importante que estas habilidades y destrezas sean desarrolladas durante la etapa de formación del estudiante.

En la universidad de Ibagué, históricamente ha habido dificultades en los procesos de enseñanza y aprendizaje de asignaturas relacionadas con el área de estructuras (Mecánica de Materiales, Diseño Estructural I, Diseño en Concreto y Análisis Dinámico), lo cual se evidencia en los bajos promedios, el alto porcentaje de estudiantes que repiten y la renuencia de la mayoría de ellos a realizar tesis y monografías en esta área. Las asignaturas

Análisis y Diseño de Estructuras de Concreto juegan un papel determinante en la adquisición del concepto de estructura como un todo ya que se requiere que el estudiante integre los conceptos de esfuerzos y deformación (adquiridos en Mecánica de Materiales) en un análisis integral del comportamiento de la estructura ante cargas de diferentes tipos. Para que esto se logre, se hace necesario que el estudiante adquiera habilidades espaciales que le permitan visualizar las diferentes formas de la estructura, con el fin de proponer soluciones y alternativas a problemas relacionados con el comportamiento óptimo de dichas estructuras.

Se espera que la habilidad adquirida permita al estudiante mejorar su capacidad de resolución de problemas. Una forma efectiva de desarrollar estas habilidades es por medio de una metodología activa de aprendizaje que incluya una combinación de conceptualización teórica y espacial, construcción de modelos y representación tridimensional de estos modelos, por medio de herramientas computacionales. Con este enfoque se espera que el estudiante no solamente logre materializar y comprender los conceptos teóricos, sino que además pueda realizar un paralelo entre lo demostrado en el modelo y lo calculado por medio del software.

2.2.1 Pregunta de investigación

¿Cómo se relaciona las habilidades espaciales y la resolución de problemas en el aprendizaje de conceptos de estructuras en estudiantes de ingeniería civil de la universidad de Ibagué?

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar las relaciones entre las habilidades espaciales y la resolución de problemas de conceptos de estructuras en estudiantes de ingeniería civil.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Reconocer las habilidades espaciales y de resolución de problemas que presentan los estudiantes en el aprendizaje de conceptos de estructuras antes de una intervención didáctica.
- Describir los cambios en las habilidades espaciales y de resolución de problemas que presentan los estudiantes sobre conceptos de estructuras después de una intervención didáctica.
- Identificar las relaciones entre el desarrollo de habilidades espaciales y de resolución de problemas en el aprendizaje de conceptos de estructuras.

4 MARCO CONCEPTUAL

4.1 INTRODUCCIÓN

La didáctica, vista desde la óptica no solamente de propender por el desarrollo de estrategias de enseñanza, sino también del aprendizaje de los estudiantes, tiene como propósito fomentar el logro de altos niveles de pensamiento crítico en los alumnos, de tal forma que estos se formen como profesionales con capacidad de análisis y síntesis. Para esto, es vital que dentro de los procesos didácticos se haga énfasis en capacidades metacognitivas, argumentativas y por supuesto, de solución de problemas. Es precisamente en ésta última categoría del pensamiento crítico, que se enfocará el proyecto de investigación que se describe. Para este propósito, en el siguiente apartado se hará una introducción de cómo se percibe la resolución de problemas entre la comunidad investigativa, poniendo principal atención en los principales exponentes teóricos y sus conclusiones. De la misma manera, se dedicarán apartados a la solución de problemas de estabilidad de estructuras, que es el concepto que se estudia, las capacidades o habilidades espaciales, las cuales están ligadas a la capacidad de los ingenieros civiles para resolver problemas estructurales y, por último, a la modelación en ingeniería civil, la cual guarda una estrecha relación con la resolución de problemas estructurales y las habilidades espaciales.

4.2 RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Son muchos los autores que han hecho aportes fundamentales en la resolución de problemas como estrategias para el desarrollo del pensamiento crítico del estudiante en todos los niveles. Por tal razón, en la presente propuesta de investigación se abordarán diferentes planteamientos desde diferentes enfoques metacognitivos. De igual manera, se presentan algunos casos aplicados a la formación en ingeniería, a partir de algunas de estas concepciones teóricas.

La resolución de problemas como método de enseñanza empezó en Alemania con la Teoría de la Disciplina Mental, que fue la base del plan de estudios escolar del país (Onuchi

et al. 2014, citado por Alves & Ferreira,2019). El propósito consistía en proveer a los estudiantes un conjunto de problemas, poniendo como énfasis el resultado final, en contraposición al propio proceso de enseñanza y aprendizaje final, en lugar del proceso de aprendizaje en sí. Esta teoría fue desarrollada por el psicólogo alemán Christian Wolff en 1740 (Onuchi et al. 2014, citado por Alves & Ferreira,2019). Posteriormente surgió la teoría del Conexionismo, propuesta por Thorndike (1905), la cual se basa en la hipótesis de que el aprendizaje consiste en la adición eliminación y organización de conexiones (Onuchi et al. 2014, citado por Alves & Ferreira,2019). Thorndike se aleja de la Teoría de la Disciplina Mental y propone que dicha disciplina debe basarse en el entrenamiento universitario en función de la cooperación, organización y control de hábitos, como un intento de romper la costumbre de la memorización. Este pensamiento dio lugar a la aplicación de la teoría del conduccionismo (Groenwald et al., 2004, citado por Alves & Ferreira,2019). Esto suscitó la crítica de algunos autores (Frizzarini and Cargnin 2016; Brownell, 1939, citados por Alves & Ferreira,2019), cuyo argumento consiste en afirmar que dicho método se basa en ejercicios y repetición, lo cual es opuesto al proceso de enseñanza y aprendizaje. Más tarde, la resolución de problemas se convirtió en teoría con la propuesta de George Polya en su libro “el arte de resolver problemas” publicado en 1945 (Frizzarini and Cargnin 2016). La teoría de Polya será tratada más adelante en este apartado.

En lo referente a la solución de problemas, es importante empezar con una definición de lo que se entiende por problema. Para Kupisiewicz (1964) “un problema es una dificultad de naturaleza práctica o teórica que origina una actitud de indagación en el individuo, que lo lleva al enriquecimiento de su conocimiento” (p. 16). Mientras que para W. Okon, “un problema didáctico es una dificultad teórica o práctica que un alumno debe resolver de forma independiente” (1966, p.79). J. Linhart, reconocido teórico de la solución de problemas participó en diversas investigaciones relacionadas tanto con la naturaleza del individuo frente a la solución de problemas dentro y fuera del aula, como en otras relacionadas con la importancia de los enfoques basados en solución de problemas en la formación de un individuo con pensamiento crítico. Para Linhart (1976):

“Un problema es una relación interactiva entre un sujeto y lo que lo rodea, lo cual incorpora conflictos que son resueltos por el sujeto mediante la búsqueda de transiciones desde la condición inicial hasta la final... la existencia de conflictos da lugar a la dinámica de una actividad y, además, establece un número de actividades de motivación... durante la solución de un conflicto, el sujeto excede unas condiciones dadas lo que lleva a la búsqueda de nuevos enfoques” (p.85).

La definición anterior es importante ya que Linhart incorpora la palabra conflicto en la solución de problemas, lo cual hace necesario que el individuo y su ambiente de aprendizaje no solamente comprendan que los conflictos se van a presentar, sino que, además, que estos son necesarios para alcanzar los logros de aprendizaje. Comprender esta naturaleza y realidad es además vital para entender lo que se define como situación problemática, en la cual el problema se define por la relación existente entre el individuo y la situación objetivo dentro del ambiente de aprendizaje (Linhart, 1976). Lo anterior lleva a la conclusión de que, si existe un problema, existirá una situación problemática y con ellos, las diferentes formas de actuar de los sujetos frente a la situación problemática. De acuerdo con Linhart (1982) muchas veces cuando los individuos entran en conflicto, dentro de las situaciones problemáticas, deben adaptarse a la nueva situación, creando nuevas formas de comportamiento, lo cual lleva a encontrar un nuevo balance dentro de la situación y, por ende, la solución del problema. De acuerdo con Linhart, el sujeto experimenta tres fases en la solución de los conflictos dentro de la situación problemática: “el descubrimiento de la situación problemática, la fase del proceso de solución, donde el sujeto conoce las propiedades de la situación y busca los recursos para cambiar la situación y, por último, la fase de verificación del método”. (Linhart, 1976, p.78). Finalmente, Linhart considera que el proceso de solución de un problema consiste en volver a dar forma al objeto y hacer una reconstrucción con el propósito de darle solución por medio de una búsqueda de alternativas de solución y negociación. Además, Linhart agrega:

“Una relación problemática tiene una naturaleza de: a) un conflicto entre dos tendencias contradictorias que el sujeto ve como dos alternativas incompatibles, o como una diferencia o conflicto entre la situación actual y el objetivo; el sujeto

necesita lograr el objetivo, pero no conoce los medios para lograrlo; el resultado es "una inconsistencia percibida" de la situación; la resolución de problemas consiste en la eliminación del conflicto y la búsqueda del objeto deseado; b) un desorden en la situación objetiva o en la estructura de una actividad e incertidumbre subjetiva que provoca tensión activadora y foco motivador. (p.78)

Mayer & Wittrock (2006) publicaron un trabajo importante respecto a la solución de problemas titulado *Problem Solving*, en el libro *Handbook of Educational Psychology*. En su trabajo, los autores afirman que los materiales educativos muy a menudo dan prioridad a los problemas bien definidos, mientras que, en contraposición, los problemas de la vida real se definen de manera incorrecta. Además, son de la opinión de que estos deben ser considerados como una suma de los procesos cognitivos enfocados en un cambio de estado desde su concepción inicial hasta la final. Durante este proceso, el procedimiento de solución no es obvio y debe ser por tanto una elección en función de la estructura mental del individuo y su adaptación al proceso. Además, afirman que, durante este proceso de cambios constantes, el individuo debe tener en mente la necesidad de definir hipótesis, a partir de lo cual obtiene información y se adapta gradualmente a las circunstancias. Respecto a esto, los autores afirman:

“La solución de problemas tiene cuatro características principales. Primero, la solución de problemas es cognitivo, o sea que ocurre internamente en el sistema cognitivo del individuo y solo puede ser inferido indirectamente a partir de su comportamiento. Segundo, la solución de problemas es un proceso, lo cual implica que conlleva la representación y manipulación del conocimiento en el sistema cognitivo del individuo. Tercero, la solución de problemas es direccionada, o sea, el sistema cognitivo del individuo es guiado por los objetivos del sujeto. Cuarto, la solución de problemas es personal, o sea que las habilidades y conocimientos del individuo ayudan a determinar la dificultad o facilidad con los cuales se solucionan los obstáculos” (Mayer & Wittrock 2006, p. 287).

Los autores definen siete modos de promover la transferencia de solución de problemas:

“Método de reducción de carga (automaticidad, remoción de restricciones), métodos basados en la estructura (manipulación concreta), métodos basados en esquemas (pre-entrenamiento), métodos generativos (elaboración, toma de notas, auto explicación, cuestionamiento), métodos de descubrimiento guiado (descubrimiento guiado), métodos de modelación (ejemplos guiados) y enseñanza de habilidades de pensamiento (cursos generales, estrategias específicas)” (Mayer & Wittrock 2006, p. 290).

Uno de los mayores referentes a nivel mundial en resolución de problemas, a quien ya se mencionó en páginas anteriores, quizás sea George Polya, por sus constantes trabajos y aportes en estrategias de solución de problemas de matemáticas y física, que luego se extendieron a otras áreas del conocimiento. Según Polya (1965), para resolver un problema se necesita seguir cuatro pasos fundamentales: comprender el problema, concebir un plan, ejecutar del plan y examinar la solución obtenida. De acuerdo con su planteamiento, comprender el problema implica que el estudiante identifique las incógnitas, los datos, las condiciones y que además se pregunte si estas son suficientes, redundantes o contradictorias. Una vez alcanzado este objetivo, para concebir un plan, el estudiante debe hacerse diferentes preguntas, como, por ejemplo, si en su historial solucionando problemas, el estudiante se ha encontrado con problemas similares, aunque estos hayan sido planteados de forma diferente. Otro tipo de pregunta que el estudiante debe hacerse es si cree que exista algún tipo de teorema que pueda ser de alguna utilidad. Polya también plantea la posibilidad de que el estudiante consulte problemas similares que puedan servirle como punto de partida en la solución del que le presentan. Finalmente, el autor propone que, si el estudiante no puede resolver el problema que se le presenta, una opción es resolver problemas de complejidad menor y adquirir las habilidades y destrezas que lo lleven a enfrentarse con mejores fundamentos al problema complejo.

Para la ejecución del problema, Polya sugiere que el estudiante compruebe cada uno de los pasos; esto es, es importante saber no solamente si los pasos que se establecieron son los correctos y llevan a la solución del problema, sino además comprobarlos. Asegura que, si estos son los adecuados y se verifican, la solución obtenida tiene muchas probabilidades de ser la correcta. Para Polya, el hecho de que el estudiante pueda demostrar que los pasos

son correctos indica que hay claridad conceptual en el desarrollo del problema. Finalmente, Polya sugiere que el estudiante además de ejecutar el plan seleccionado debe mirar en retrospectiva, esto es, hacer algún artilugio de verificación del resultado o del razonamiento que llevó a dicho resultado. Para él, este último paso aporta herramientas importantes no solo para validar la solución o procedimiento seguido, sino para emprender con éxito futuros problemas. Para Polya (1965), el estudiante debe revisar con claridad los siguientes cuestionamientos: “¿puede usted verificar el resultado? ¿puede verificar el razonamiento? ¿puede obtener el resultado de forma diferente? ¿puede verlo de golpe? ¿puede usted emplear el resultado o el método en un problema diferente? (p. 11).

Polya en su planteamiento también aborda el tema del rol del maestro frente al estudiante. Según su concepción, debe haber un equilibrio en la ayuda y el soporte que el docente le da al estudiante. Según él, ninguna o muy poca ayuda podrían impedir que el estudiante avance. Si, por el contrario, le ayuda demasiado, nada le deja al alumno, por lo tanto, es importante que a este se le permita asumir una parte razonable del problema. Polya plantea la importancia de incentivar la autonomía del alumno, por lo cual, el docente debe explorar todos los caminos posibles para que el estudiante se auto cuestione y pueda desarrollar las cuatro facetas en la búsqueda de la correcta solución del problema.

Dostál, J. (2015) considera que, en la solución de un problema, el pensamiento de un individuo comienza con la conciencia de la situación problemática. Para él, la situación problemática tiene la posibilidad de convertirse en un problema que merece una solución y que cualquier problema está ligado a la situación problemática. Sin embargo, no toda situación problemática se convierte en problema porque, en sus propias palabras:

“...esta realidad depende del individuo. Una persona que se encuentra en una situación problemática y es consciente de su existencia, no tiene por qué “ver” el problema hasta que no desarrolle la capacidad de conciencia del problema. El individuo que es consciente del problema, es capaz de especificar la dificultad o el origen del conflicto que provoca la situación problemática, es capaz de afrontar el problema. Contrariamente a eso, el individuo que no es capaz de darse cuenta del problema, si bien está experimentando el sentimiento superpuesto por la curiosidad,

no se da cuenta de qué causa la dificultad, qué obstáculo que causa el conflicto, debe ser eliminado y, por lo tanto, no es capaz de eliminarlo” (p.3).

Dostál expone que, si el estudiante percibe el problema, la voluntad de lidiar con el problema se vuelve esencial y, por tanto, el individuo estará más cerca de la evaluación de las circunstancias y características del problema. Desde su posición, el estudiante evalúa las circunstancias y les da una importancia particular. Sin embargo, Dostál sostiene que la actitud del estudiante juega un papel fundamental en la posibilidad o no, que se tenga éxito en la solución del problema. Por tanto, propone que a los estudiantes se les debe plantear problemas con los cuales ellos quieran tratar o los que acepten de buena manera. En otras palabras, la motivación es esencial en la capacidad de los estudiantes para resolver un problema. Esto es cierto toda vez que, la predisposición para resolver un problema, genera grandes posibilidades de éxito, lo contrario, casi que condena al fracaso. El autor va más allá y profundiza en la importancia de la motivación del estudiante, como factor determinante en la capacidad de resolución de problemas:

“Solo dos formas de emocionarse por motivos para resolver el problema tienen sentido en el campo educativo. El primer caso es crear una situación que entusiasme al alumno, lo energice, es decir, induzca a un estado en el que el alumno experimente el impulso o la fuerza al interés por el problema y su solución. El profesor tiene que llevar al alumno a la experiencia de querer ser activo. Se debe despertar el interés por la resolución de problemas, que permita satisfacer la necesidad resultante del desconocimiento, podemos hablar de la llamada necesidad cognitiva” (p.5).

A partir de los aportes de los autores mencionados, respecto a la solución de problemas y tomando en consideración que los ingenieros civiles requieren un proceso mental estructurado para abordar cualquier situación problemática, y que, además, las soluciones a dichos problemas deben ser revisadas, verificadas y usadas como retroalimentación para futuras situaciones similares, en la presente investigación se elaborarán instrumentos tomando como base las recomendaciones de Polya (1965) y las propuestas de Linhart (1976). Esto es, que el estudiante comprenda el problema al que se enfrenta y que sea capaz de enunciarlo con sus propias palabras, que el estudiante conciba o

idee un plan de cómo abordará la solución de dicho plan, bien sea al compararlo con situaciones similares, que el estudiante ejecute dicho plan haciendo uso de ecuaciones, conceptos o ideas previas y que finalmente vuelva sobre la solución, la compruebe y que además aprenda de dicha experiencia.

Dado que la propuesta de Polya originalmente fue pensada para resolver problemas matemáticos, su aplicación resulta apropiada para los problemas asociados con las estructuras, dado que es una forma de matemática aplicada y en su solución, también se involucra la física y las habilidades espaciales. Para el primer paso, entender el problema, se busca plantear problemas de tal forma que pueda verificarse la convergencia de los siguientes elementos: el estudiante entiende todo lo que dice el problema, que pueda replantear el problema en sus propias palabras, que distinga y diferencie los datos del problema, que tenga claridad a dónde quiere llegar, que verifique que tenga información suficiente y que pueda comparar y comprobar si en el pasado se ha encontrado con problemas similares. Si las respuestas a estos aspectos son positivas, puede decirse entonces que el estudiante entiende el problema.

Como segundo punto, se requiere verificar que el estudiante configure un plan para la solución del problema. En el caso particular de solución de problemas de estructuras, se plantea sugerir al estudiante diferentes estrategias, como, por ejemplo, hacer diagramas, usar casos, usar coordenadas y variables dentro de un razonamiento directo, hacer análisis situacional y comparativo, entre otras. Lo importante aquí es que él o ella partan de la elaboración de una estrategia antes de emprender la solución. A partir de la configuración del plan, lo que se les pedirá a los estudiantes es que ejecuten dicho plan por medio de la implementación de las estrategias pensadas. Si esta no funciona o si llega a un punto de estancamiento, la sugerencia es devolverse y pensar en otro plan. Si el estudiante siente que no avanza en la solución, entonces podrá solicitarle al docente una sugerencia que pueda encaminarlo hacia la solución correcta.

Finalmente, y un paso muy importante será que el estudiante vuelva hacia atrás y revise la solución a la que llegó. Esto es, el estudiante debe plantearse interrogantes como ¿la solución es correcta? ¿las respuestas satisfacen los interrogantes planteados? También

es importante que el estudiante, una vez resuelto el problema, haga retrospectiva y se pregunte si pudo haber encontrado una solución más rápida o sencilla o si de su solución se puede generar un patrón que pueda aplicarse como método general en situaciones análogas.

En conclusión, en lo que respecta a la aplicación del método de Polya, se buscará diseñar instrumentos que tomen en consideración estas cuatro etapas en la solución de los problemas propuestos.

4.3 APRENDIZAJE Y RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS SOBRE CONCEPTOS ESTRUCTURALES

En lo que respecta a los métodos y estrategias de enseñanza y aprendizaje de conceptos estructurales en ingeniería civil, en esta investigación se propone realizar un enfoque hacia las metodologías activas de aprendizaje, particularmente lo que corresponde a formación por problemas y por proyectos. Los enfoques de metodologías activas aplicados a las ingenierías, donde los estudiantes aprenden haciendo, han demostrado que los estudiantes mejoran su rendimiento académico (Watkins & Mazur, 2013); (Felder et al, 1998); (Schauss & Peuker, 2014) y al estar involucrados directamente en el proceso de enseñanza y aprendizaje, la motivación aumenta (Freeman et al, 2014); (Bhatia & Chen 2015). La investigación propuesta busca que los estudiantes mejoren sus competencias espaciales por medio del trabajo con modelos bidimensionales y tridimensionales, lo cual les ayuda a afianzar los conceptos de estabilidad y comportamiento de las estructuras, conceptos que por sí mismos, son abstractos. Investigaciones han demostrado que dichos conceptos pueden ser adquiridos por medio de metodologías como la propuesta (Molyneaux et al, 2007); (McCrum, 2017); (Ji & Bell, 2014). De esta manera, se rompe con el esquema tradicional de clases magistrales en la enseñanza de la ingeniería, poniendo al estudiante a la cabeza del proceso de enseñanza y aprendizaje.

(Molyneaux et al, 2007) desarrollaron un proyecto de aula con diferentes estudiantes de primero y segundo año del curso de Ingeniería Civil en la universidad de Melbourne, el

cual se fundamentó en formación por proyectos, con un alto componente de experimentación y modelación virtual. La estrategia didáctica consistía en seis pilares: trabajo en equipo para el proyecto, tutorías, clases magistrales y solución de ejercicios, modelación y ensayos como experiencia activa, sesiones de discusión grupal, experimentación en laboratorio y pruebas y exámenes finales. Los investigadores partieron de la identificación de los conceptos clave con los que los alumnos presentaban dificultades, proceso que se realizó por medio de observación, entrevistas y resultados de exámenes tutoriales. Además de esto, los investigadores realizaron pruebas tanto a los alumnos de primer como de segundo semestre, al inicio y al final del curso. La selección de los estudiantes se realizó en función de su rendimiento en conceptos específicos. Además, se les solicitó que resolvieran problemas similares y se les animó a que hicieran comentarios. De acuerdo con los investigadores:

“...tras los resultados de las pruebas y las entrevistas, se introdujo en las tutorías material de aprendizaje basado en conceptos a lo largo de la segunda mitad del semestre. El examen final se modificó con respecto al año anterior para incluir preguntas que evaluaran la comprensión de los conceptos clave y, por tanto, evaluar si se había producido alguna mejora. También se incluyeron preguntas clave del examen de años anteriores (con cambios mínimos) para evaluar si el rendimiento actual del primer año era mejor que el del segundo” (p.4)

Los investigadores hicieron evaluación cualitativa y cuantitativa para el tema base de su investigación, que fue el comportamiento de vigas rectas de varios tramos, en lo referente a la deformada, el esfuerzo cortante, el momento flector y la distribución del esfuerzo flector en una sección. Los investigadores aplicaron la metodología para un total de 190 estudiantes, 120 de primer curso y 70 en el segundo curso.

A partir de la investigación realizada, los autores llegaron a varias conclusiones de importancia en su enfoque por proyectos y problemas: la metodología de trabajo por problemas facilitó que los estudiantes tuvieran una mejor comprensión de conceptos relacionados con fuerza cortante y momento flector, así como a una mejor capacidad de

evaluar el comportamiento de las estructuras; los estudiantes que tienen dificultades en la comprensión conceptual no tienen un buen registro de asistencia a las tutorías, pues los resultados los ubican como inhibidores del rendimiento en clase. Finalmente, los investigadores concluyen que la comprensión conceptual requiere la preparación y trabajo con material computacional, necesario para el mejoramiento de habilidad conceptual en los estudiantes.

(McCrum, 2017) Realizó un trabajo de aula, a partir de la identificación de las dificultades que presentaban los estudiantes de Estructuras de la Queen's University de Belfast, respecto a problemas de interpretación y solución de planos arquitectónicos. El propósito del trabajo de aula fue mejorar el pensamiento de orden superior en los estudiantes, para lo cual se implementaron tres estrategias: el aprendizaje activo para involucrar a los estudiantes en la construcción del conocimiento, el uso de modelos físicos para reforzar conceptos clave y, por último, dibujo manual para involucrar el pensamiento de orden superior en la resolución creativa de problemas de ingeniería. Durante el proceso y una vez terminada la intervención, el docente realizó una evaluación cualitativa, en tanto que los estudiantes hicieron una evaluación cuantitativa. En lo que respecta a la primera estrategia, el aprendizaje activo, los estudiantes opinan que dicha metodología les ayudó a replantearse la ingeniería estructural y la valoraron como 91/100. De la misma manera, indicaron que la misma les ayudó a alinear positivamente sus expectativas del módulo (88/100) y les proporcionó herramientas para trabajar con los estudiantes de arquitectura (87/100). Los modelos físicos fueron valorados con 80/100, en tanto que los bocetos a mano elaborados con los arquitectos, demostraron que se había producido un aprendizaje interdisciplinar y una resolución creativa de problemas de orden superior. En conjunto, los estudiantes valoraron sus capacidades de analizar un problema y crear una solución con los estudiantes de arquitectura como muy buenas (78/100). A partir de los resultados, el autor realiza dos recomendaciones: la primera, permitir que los estudiantes se involucren en la construcción del conocimiento por medio del trabajo activo; la segunda, incentivar el uso de modelos físicos, ya que estos facilitan la comprensión de conceptos que desde la teoría y lo explicativo, no son fáciles de entender para los estudiantes.

4.4 DESARROLLO DE HABILIDADES ESPACIALES EN INGENIERÍA

El propósito de esta investigación es desarrollar en los estudiantes de Ingeniería civil, la habilidad para manipular imágenes bidimensionales y tridimensionales de edificaciones o figuras asociadas a estas, a partir del trabajo sobre planos y modelos físicos. Para esto, es importante tener en cuenta las concepciones teóricas alrededor de este concepto. De acuerdo con Arrieta (2006), La capacidad espacial es un componente de la inteligencia humana que permite al individuo formar, reconocer y manipular mentalmente imágenes, figuras y objetos. Dicha capacidad está integrada por tres componentes: el innato, la habilidad (a partir del entrenamiento) y la destreza (Saorín-Pérez et al., 2009). Tartre (1990, citado por Gomez-Tone 2009) afirma que la estructura de esta capacidad espacial, al momento de realizar una tarea de visualización, considera dos componentes: la orientación espacial, que consiste en mover mentalmente el punto de visión del individuo a través de un objeto que permanece fijo en el espacio, y el de visualización espacial, que consiste en mover un objeto mentalmente, sin implicar un movimiento por parte del observador.

De acuerdo con McGee (1979), soportado por Connor & Serbin (1980) las habilidades espaciales se dividen en dos categorías principales: visualización espacial y orientación espacial. Para Linn & Petersen (1985), las habilidades espaciales se dividen en tres categorías: la percepción espacial, rotación mental y visualización espacial. Para ellos, la visualización espacial involucra tareas de habilidad espacial relacionadas con la manipulación por medio de pasos múltiples, de información espacial compleja. De acuerdo con esta afirmación, la visualización espacial abre la posibilidad a estrategias de soluciones múltiples a problemas que requieren más de un paso en su solución. Para el desarrollo de estas habilidades espaciales se requiere que los estudiantes manipulen, roten, tuerzan o inviertan las posiciones de los objetos en el espacio.

Diferentes pruebas han sido usadas para medir las habilidades mentales de estudiantes en distintos niveles de edad y escolarización (Witkin, Dyk & Faterson, 1962; Ekstrom et al., 1976) Sin embargo, no parece haber consenso entre los investigadores respecto a lo que implica la visualización espacial, rotación espacial y orientación y percepción espacial y los tipos de pruebas que miden cada uno de ellos (Tartre, 1990). En este sentido, y con espacial

atención a la propuesta de categorización de McGee (visualización espacial y orientación espacial), es importante prestar atención a la afirmación de Tartre (1990), para mayor claridad:

“las tareas de visualización espacial se distinguen de las de orientación espacial al identificar qué es lo que se moverá. Si la tarea sugiere que todo o parte de la representación se moverá o alterará mentalmente, entonces es considerada una tarea de visualización espacial” (p.217).

De acuerdo con lo anterior y profundizando un poco más en las concepciones teóricas, Kösa & Karakus (2018), conciben la rotación mental como el componente más importante en la visualización mental y de acuerdo con (Sorby, 1999) es el más usado en las ingenierías. Este enfoque teórico para el desarrollo de habilidades espaciales en los estudiantes de ingeniería, a partir de rotación mental, ha sido abordado con éxito en ingeniería por diversos autores (Alias, 2000); (Gómez-Tone, 2019); (Nolasco & Cabero, 2020); (Baranová, & Katrenicová, 2018); (Akasah & Alias 2010); (Duesbury & O’Neil Jr., 1996); (Carroll (1993); (Tone et al, 2022); (Sorby et al, 2021); (Gómez-Tone et al, 2020); (Fang et al, 2022) y han demostrado que existe una estrecha relación entre el desarrollo de habilidades espaciales por rotación mental y la capacidad de resolución de problemas en estudiantes de ingeniería.

El desarrollo de habilidades espaciales en los estudiantes que harán parte de esta investigación, pretende lograrse por medio de cambios de forma de diferentes objetos, pero también, debido a movimientos giratorios del objeto en el espacio. Para el primer caso, cuando se observa una vista de una edificación desde un eje oblicuo, la apariencia de profundidad cambia, haciendo que la forma como el observador visualiza el objeto, también cambie. El propósito de esta actividad es que los estudiantes sigan reconociendo la forma de la edificación e identificando sus características y sus diferentes componentes, aunque sus dimensiones hayan cambiado en apariencia. Para el segundo caso, se trabajará sobre la

construcción bidimensional de vistas de un objeto, cuando está rotando en el espacio, es decir, la construcción de vistas superiores, frontales y laterales, que ayuden al estudiante a conocer el objeto como un todo, desde los detalles más pequeños y que logre visualizar aquello que no es visible a simple vista. Al trabajar sobre estas dos concepciones de la visión de un elemento sólido, se espera que haya construcción de las habilidades de visualización espacial de los estudiantes, y con ello, mejore la capacidad de solución de problemas relacionados con las estructuras.

La presente investigación se enfocará en el desarrollo de la habilidad espacial de los estudiantes, a partir de las ideas expuestas por McGee (1979); Tartre (1990) y Linn & Petersen (1985). Se tomará como categoría principal las habilidades espaciales y como subcategorías, la visualización espacial (entendida la rotación mental como parte de esta) y como segunda categoría, la orientación espacial. En la primera subcategoría, la percepción del objeto cambia debido a giros de este en el espacio, mientras que en la segunda la percepción del objeto cambia debido a un cambio de forma del objeto.

Por todo lo anterior, en la presente investigación se evaluará la capacidad de los estudiantes para resolver problemas, por medio del desarrollo de habilidades espaciales a partir de visualización espacial y orientación espacial respecto de figuras en dos y tres dimensiones, así como de la construcción y el trabajo con modelos físicos.

4.5 MODELACIÓN EN INGENIERÍA CIVIL

La modelación en ingeniería civil hace parte fundamental de las competencias que los estudiantes requieren para su posterior ejercicio profesional, dado el alto componente en diseño, que hoy en día es realizado a partir de la modelación matemática. En particular, en ingeniería estructural, los estudiantes usan la modelación para simular cargas reales sobre la estructura y conocer así las respuestas internas que esta tendría ante tal eventualidad. Una de las falencias que se han encontrado en los estudiantes y que, entre otros aspectos, ha motivado esta investigación, es que los estudiantes tienen dificultades para definir la forma correcta de alimentar los modelos y para hacer una correcta interpretación de los resultados

que este arroja. Esta dificultad epistemológica puede superarse al combinar un trabajo en modelos bidimensionales y tridimensionales, con un trabajo activo en realidad virtual. De hecho, algunas investigaciones en el área de ingeniería, y en particular, en ingeniería civil, han aplicado estrategias basadas en mejoramiento de habilidades espaciales, por medio de rotación mental, con aplicaciones en realidad virtual. Estas investigaciones han concluido que los estudiantes alcanzan una mejor comprensión del comportamiento físico de las estructuras (Sampaio et al, 2010); (Sampaio, & Henriques2008), afianzan mejor los conceptos y ayudan a entender la construcción como un todo, permitiendo el trabajo colaborativo con otros profesionales (Leinonen, et al, 2003); (Petzold et al, 2007).

(Sampaio et al, 2010) desarrollaron una investigación en el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Lisboa. Su investigación consistió en el uso de realidad virtual como complemento al modelado tridimensional, con el propósito de mejorar las habilidades comunicativas en la formación vocacional, en la educación y en la práctica profesional. Esta combinación de realidad virtual y modelado tridimensional se aplicó al tema de procesos constructivos en ingeniería. El propósito del modelado en 3D fue crear un soporte al diseño de rehabilitaciones, como herramienta fundamental para el monitoreo de anomalías en las estructuras, lo cual permitiría la toma de decisiones basadas en el análisis visual de las diferentes alternativas de solución. Por su parte, el uso de realidad virtual tenía el propósito de crear un modelo para el control de los sistemas de iluminación en las edificaciones, que permitiera la transmisión de información en tiempo real, relacionada con el comportamiento físico de los elementos. Los investigadores, además, construyeron modelos didácticos interactivos de construcciones, lo cual permite la simulación visual del progreso constructivo, lo cual, a su vez, constituye una información vital para establecer la necesidad de equipos y herramientas y su lugar en la construcción. Al respecto, (Sampaio et al, 2010) concluyen:

“se ha demostrado, a través de los ejemplos presentados aquí, cómo puede utilizarse la tecnología de la realidad virtual en la elaboración de material didáctico de interés educativo en el ámbito de los procesos de construcción. La ventaja de introducir

nuevas tecnologías en la creación de material didáctico adecuado para estudiantes universitarios e instrucción técnica debe darse a conocer y aplicarse. Las aplicaciones didácticas apoyan la explicación de temas relacionados con la construcción. Estos modelos se utilizan en disciplinas relacionadas con la construcción y puentes en cursos de Ingeniería Civil y Arquitectura.” (p.24).

A partir de lo anterior, es importante puntualizar que en esta investigación se propone combinar el proceso de rotación espacial con realidad virtual con los softwares sketchup, AutoCad 3D y Etabs.

5 METODOLOGÍA

En este capítulo se describe el proceso y diseño metodológico que se llevó cabo en la investigación; el enfoque y alcance, las consideraciones éticas, la población y contexto, la unidad de trabajo, la unidad de análisis con sus respectivas categorías, el diseño metodológico y el plan de análisis con los instrumentos y la forma de recolección de la información.

5.1 ENFOQUE Y ALCANCE

Dentro de esta propuesta se plantea una investigación cualitativa, debido a que la intervención se realiza respecto al objeto y no respecto al sujeto. Esto es, el qué y no el quién. Además, es cualitativo debido a que, por medio inductivo, se intenta dar respuesta a varios interrogantes planteados al inicio de la investigación.

Por otro lado, el objetivo es obtener conclusiones a partir del enfoque con que se aborda el problema. En una investigación cualitativa como esta, los resultados se expresan a través de un discurso verbal-escrito interpretativo. No se parte de una hipótesis que se desea comprobar, sino que se aborda desde una problemática. En otras palabras, en esta investigación se aborda el objeto y no el sujeto. La investigación se enmarca en lo cualitativo descriptivo debido a que lo que se busca es evaluar la resolución de problemas en los estudiantes y esto se hace a través del análisis de instrumentos de lápiz y papel. El propósito es saber qué variable cambia y cómo lo hace, mas no el por qué. En otras palabras, no es importante y tampoco es el objeto de la investigación el saber las razones por las cuales los estudiantes resuelven el problema. Por lo anterior, el propósito es proporcionar la visión de un evento (capacidad de solución de problemas a partir de la implementación de una estrategia didáctica) a partir de palabras e imágenes y no a partir de números. Finalmente, es importante aclarar que esta investigación incorpora además de la capacidad de resolución de problemas, el desarrollo de habilidades espaciales.

5.2 POBLACIÓN Y CONTEXTO

La investigación se llevó a cabo en la Universidad de Ibagué, en el programa de Ingeniería civil. La universidad cuenta con 4402 estudiantes entre pregrado y posgrado, repartidos en 5 facultades, 9 departamentos, 18 programas académicos. El programa de Ingeniería civil pertenece a la facultad de Ingeniería y cuenta con 499 estudiantes. La Universidad de Ibagué es de carácter privado y se encuentra localizada en el Departamento del Tolima. El programa de Ingeniería civil hace parte de los 5 programas de pregrado de la facultad de ingeniería y las clases se desarrollan en todo el campus universitario, de aproximadamente 40.000m². El plan de estudios tiene una duración de 10 semestres, donde el último semestre es de trabajo comunitario (Paz y Región), para lo cual, los futuros profesionales desarrollan una práctica transdisciplinar en instituciones públicas, privadas y organizaciones no gubernamentales de la región. El programa de Ingeniería Civil cuenta con acreditación de alta calidad ante el Ministerio de Educación Nacional.

El plan de estudios está conformado por un ciclo socio humanístico de 23 créditos, correspondientes al 13.3% de los créditos totales, un ciclo básico disciplinar de 74 créditos (42.8%) y un ciclo profesional específico de 62 créditos (35.8%). Los créditos del programa de Paz y Región (14) corresponden al 8.1%. Dentro de los créditos del ciclo profesional específico, el área de estructuras cuenta con 12 créditos académicos, 4.5 de los cuales corresponden a las asignaturas Mecánica de Materiales y Laboratorio de Materiales. La Investigación se llevará a cabo con estudiantes de estas asignaturas.

5.3 UNIDAD DE TRABAJO

El presente estudio se realizó en un grupo de la asignatura Laboratorio de Mecánica de Materiales, de los cuales, se analizó las respuestas de 6 individuos seleccionados de acuerdo con su consistencia en la asistencia a clases. La selección se hizo de tal forma que fuera representativa de la muestra de la clase, esto es, 4 hombres y 2 mujeres. Sus edades oscilan entre 17 y 20 años. Los estudiantes están repartidos entre 5to y 6to semestre de Ingeniería civil. Ninguno de ellos es repitente de la asignatura.

5.4 CONSIDERACIONES ÉTICAS

La investigación se realizó entre seres humanos, todos en proceso de formación profesional. A los participantes se les ha pedido los respectivos consentimientos firmados, los cuales se anexan. Junto a este documento se incluyen entonces, tres anexos: anexo 1; consentimiento informado; anexo 2: solicitud de permiso a la institución educativa; anexo 3, instrumento de exploración de ideas previas e instrumento final. El consentimiento de padres de familia no es requerido, debido a que todos los estudiantes son mayores de edad.

5.5 UNIDAD DE ANÁLISIS

Para la investigación, se propone trabajar en dos categorías apriorísticas (Eliot, 1990; Cabrera, 2005). La primera categoría será Resolución de Problemas (RP) y cuenta con 4 subcategorías, de acuerdo con lo propuesto por Polya (1965) y Linhart (1976): comprender el problema, diseñar un plan para la solución del problema, ejecutar el plan para la solución del problema y, por último, comprobar la solución del problema. La segunda categoría se denomina habilidades espaciales y cuenta con dos subcategorías, de acuerdo con lo propuesto por McGee (1979); Tartre (1990) y Linn & Petersen (1985): visualización espacial y orientación espacial. Para cada una de las subcategorías se han definido los indicadores. En lo que respecta a la solución de problemas, comprender el problema cuenta con dos indicadores, diseñar un plan, con una, ejecutar el plan, con una y, por último, comprobar la solución cuenta con dos indicadores. Para habilidades espaciales se han definido un indicador para visualización espacial y un indicador para orientación espacial. El resumen de categorías y subcategorías se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Categorías y subcategorías de la investigación

Categorías y subcategorías de la investigación			
Categoría	Subcategoría		Indicador
Resolución de Problemas aplicado a la estabilidad de estructuras (Polya, 1965; Linhart, 1976)	Comprender el problema/Descubrimiento situación problemática	a	Identifica los datos relevantes o variables necesarias para la solución del problema.
		b	Identifica la incógnita o incógnitas del problema.
	Diseñar un plan para la solución del problema/Proceso de solución	c	Establece similitud con otro problema, identifica teoremas, ecuaciones o estrategias que puedan aplicarse en la solución.
	Ejecutar el plan para solucionar el problema/Proceso de solución	d	Comprueba que cada uno de los pasos ejecutados son correctos
	Comprobar la solución/verificar el método	f	Verifica la solución
		g	Verifica el razonamiento
	Visualización Espacial	a	Identifica la forma única de figuras y sólidos, cuando estos son rotados en cualquier eje.
	Orientación Espacial	b	Reconoce formas bidimensionales a partir de figuras tridimensionales.

5.6 TÉCNICAS Y FUENTES DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Para recoger la información se diseñaron 2 instrumentos los cuales sirvieron de insumo para analizar las categorías resolución de problemas de estabilidad de estructuras y las habilidades espaciales. Estos instrumentos fueron previamente validados por juicio de expertos y piloteados para realizar los ajustes necesarios.

Instrumentos de lápiz y papel: se diseñó un instrumento que consta de 10 preguntas (ver anexo). Para ello, se presentaron problemas o escenarios relacionados con la ingeniería civil, donde los estudiantes ponían en juego los conceptos de estructuras. Las preguntas más conceptuales estaban acompañadas de otros cuestionamientos que lleven a los estudiantes a reflexionar sobre el proceso para dar cuenta de la resolución de problemas. Dado que se indagó sobre dos categorías, cada instrumento contiene 75% de preguntas de resolución de problemas y 25% de preguntas de habilidades espaciales. El instrumento post test fue similar al de recolección de ideas previas, en el sentido en que con cada pregunta se evaluó la misma categoría o subcategoría, sin embargo, las preguntas en su forma serán diferentes.

Durante el proceso de intervención también se desarrollaron actividades de evaluación de los aprendizajes, las cuales también incluyen instrumentos cuyo análisis de resultados sirven de insumos para evaluar los cambios en los estudiantes y desde luego, las relaciones entre habilidades espaciales y resolución de problemas. En conclusión, en la Tabla 2 se resumen las técnicas e instrumentos que se usarán para la recolección de datos.

Tabla 2. Instrumentos y técnicas de investigación

Técnica	Instrumento	Etapas
Cuestionario	Cuestionario con preguntas abiertas	El cuestionario se usó al inicio de la intervención, en la exploración de ideas previas y al final en el post test.
Observación	Lista de verificación	Esta se aplicó durante la intervención en la evaluación de los aprendizajes, aplicado a las 4 etapas de solución de problemas de estabilidad de estructuras y de habilidades espaciales.

5.7 UNIDAD DIDÁCTICA

La unidad didáctica que se plantea en la presente investigación se llevó a cabo en tres momentos. En el primer momento o momento de ubicación, se realizó una actividad para indagar sobre las ideas previas de los estudiantes en relación con las dos categorías de investigación: resolución de problemas y habilidades espaciales. En este momento de

ubicación se hizo un diagnóstico respecto a las capacidades de los estudiantes de resolver problemas sencillos asociados a la estabilidad de estructuración y, para interpretar las formas que adquieren las figuras al ser rotadas o al ser vistas desde un ángulo distinto a la inicial. En ambos instrumentos se mezclan preguntas que indaguen sobre ambas categorías, con sus respectivas subcategorías.

El segundo momento o momento de desubicación, se hicieron intervenciones de aula con clases magistrales, actividades basadas en problemas y discusiones grupales acompañadas de ejercicios de solución de problemas. El propósito es fomentar en los estudiantes el aprendizaje de conceptos relacionados con las habilidades espaciales y la solución de problemas, enfocados a estabilidad de estructuras. Para esto, se construyeron modelos físicos de sistemas estructurales isostáticos e hiperestáticos (sistemas viga columnas, vigas zapatas y pórticos). A estos modelos físicos se les aplicaron cargas en diferentes direcciones y se evaluaron los resultados asociados a momentos flectores y esfuerzos normales. En la última parte del momento de desubicación se fomentó el trabajo en entornos virtuales, para lo cual, se crearán los modelos en dos softwares de procesamiento de datos: sketchup y Etabs. El primero busca que los estudiantes contrasten desde la categoría de habilidades espaciales, el modelo físico construido con el virtual, que puedan rotarlo y visualizarlo desde diferentes ángulos, lo cual permitió solidificar las habilidades asociadas a orientación espacial y visualización espacial; el segundo (Etabs) busca que los estudiantes comparen los cálculos obtenidos por medio del ejercicio numérico, con los resultados arrojados por el software.

Los instrumentos que se aplicaron en el momento de desubicación, durante la intervención de aula, tuvieron el propósito de profundizar en el desarrollo de la capacidad de los estudiantes de resolver problemas asociados a las estructuras, por medio del trabajo en torno a visualización y rotación espacial. Para el tercer momento o momento de reenfoque, se aplicó el instrumento post test, cuyo propósito es describir los cambios en los estudiantes, en capacidad de resolución de problemas y habilidades espaciales, después de la intervención didáctica. El resumen de la unidad didáctica se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3. Descripción general de las actividades de la unidad didáctica

Momento de la UD	Objetivos de Aprendizaje	Actividades para presentar los contenidos	Actividades para evaluar los aprendizajes
Ubicación	1. Identificar las fortalezas y debilidades de los estudiantes respecto a habilidades espaciales y resolución de problemas relacionados con el comportamiento de las estructuras.	Para el momento de ubicación no se plantean actividades para presentar los contenidos o evaluar los aprendizajes, ya que corresponde al inicio de la aplicación de la unidad didáctica y aún no ha habido intervención de aula. Se plantea la aplicación de un instrumento, como se describe a continuación.	
		Para el momento de ubicación se evaluará la capacidad de los estudiantes para resolver problemas relacionados con estructuración y vistas bidimensionales y tridimensionales de estructuras, por medio de instrumento de lápiz y papel. En estas actividades se indagará sobre el manejo de habilidades espaciales relacionadas con visualización y orientación espacial. El propósito es posicionar los conocimientos previos de los estudiantes en torno a las dos categorías de investigación: solución de problemas y habilidades espaciales. De la misma manera, en el instrumento se incorporarán preguntas de regulación metacognitiva que aporten al desarrollo de la capacidad de resolución de problemas, pero no serán objeto de análisis ya que no hacen parte de las categorías de investigación.	
Desubicación	1. Elaborar vistas de modelos generales, en ejes ortogonales a partir de isométricos	Para el momento de desubicación se busca contextualizar progresivamente el concepto, y con esto, facilitar la construcción del conocimiento por parte del estudiante. Para este propósito se desarrollarán varias actividades:	
	2. Reconocer y describir cambios en elementos y arreglos estructurales, a partir de rotaciones y traslaciones en ejes ortogonales y cortes internos.	1. Dos clases magistrales orientadas a la construcción de conocimiento en torno a las habilidades espaciales relacionadas con vistas de arreglos	Como actividad para evaluar los aprendizajes se propone un instrumento de lápiz y papel para evaluar los conocimientos adquiridos en torno a habilidades de rotación

3. Evaluar la capacidad de los estudiantes para abordar situaciones problemáticas y proponer alternativas de solución.	estructurales, rotación de estos y cortes internos. De la misma manera, se hará enfoque en el desarrollo de la capacidad de resolución de problemas, desde la regulación metacognitiva.	espacial y orientación espacial.
4. Contrastar los aprendizajes en habilidades espaciales y de resolución de problemas a partir de modelos físicos, con los resultados de modelaciones en entornos virtuales	2. Dos clases magistrales donde se desarrollarán conceptos de estabilidad de estructuras asociados a flexión biaxial, transmisibilidad de fuerzas, pandeo de columnas y reacciones isostáticas	Como actividad para evaluar los aprendizajes se propone un instrumento de lápiz y papel para evaluar los conocimientos adquiridos en torno a conceptos de fundamentación de estabilidad de estructuras.
	3. Dos clases de trabajo colaborativo relacionado con las soluciones de problemas asociados a estabilidad y cálculo de respuestas internas de los diferentes arreglos estructurales (flexión biaxial, transmisibilidad de fuerzas, pandeo de columnas y reacciones isostáticas). Las mismas estarán orientadas a consolidar los conocimientos en rotación espacial y orientación espacial.	Como actividad para evaluar los aprendizajes se propone un instrumento de lápiz y papel para evaluar los conocimientos adquiridos en torno a resolución problemas de estabilidad de estructuras

		4. Una clase de trabajo individual dedicada a la construcción de modelos físicos de arreglos estructurales, en torno a la representación de fenómenos estudiados.	Como actividad de evaluación de los aprendizajes se propone una lista de verificación
		5. Una clase de trabajo individual dedicada a la elaboración de modelos virtuales a partir de los modelos físicos.	Como actividad de evaluación de los aprendizajes se propone una lista de verificación
		En el momento de reenfoque se llevará a cabo la reestructuración conceptual. El propósito de la estructuración es facilitar la construcción del pensamiento lógico y estructurado del estudiante, respecto al nuevo concepto. Como actividad se plantea una discusión grupal en torno al análisis comparativo de los modelos físico y virtual.	Se aplicará un instrumento post test para describir los cambios en habilidades espaciales y resolución de problemas.
Reenfoque	1.Evaluar los cambios en habilidades espaciales y solución de problemas de estructuras, posterior a la intervención didáctica.		

5.8 DISEÑO METODOLÓGICO

En las Figuras 1 y 2 se presenta el diseño metodológico que se llevó a cabo en la investigación, por etapas. La primera figura representa el diseño metodológico desde lo teórico y conceptual, es decir, generalizado, en tanto que la figura 2 muestra el diseño metodológico detallado, en el cual se hace mención directa de las dos categorías que se

aplicaron. Inicialmente se plantea un instrumento para indagación sobre las ideas previas de los estudiantes, seguido por un análisis e interpretación de los resultados, los cuales se tuvieron en cuenta en la implementación de cada una de las subcategorías. Se inicia la conceptualización teórica y espacial, por medio del trabajo con modelos bidimensionales e imágenes tridimensionales. Posteriormente se hizo un análisis con modelos físicos tridimensionales y finalmente una modelación virtual tridimensional y bidimensional. Se aplicó al final de cada etapa, los instrumentos descritos, y al final un post test. Al final de la aplicación de la metodología se evaluaron los cambios en los estudiantes respecto a la solución de problemas de estructuras y habilidades espaciales.

Figura 1 Esquema de diseño metodológico generalizado

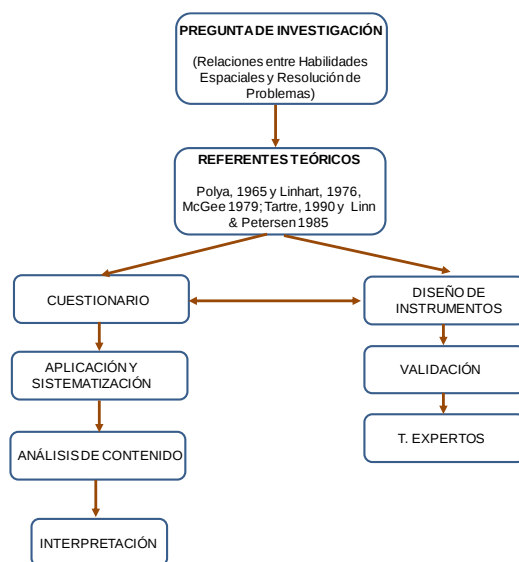
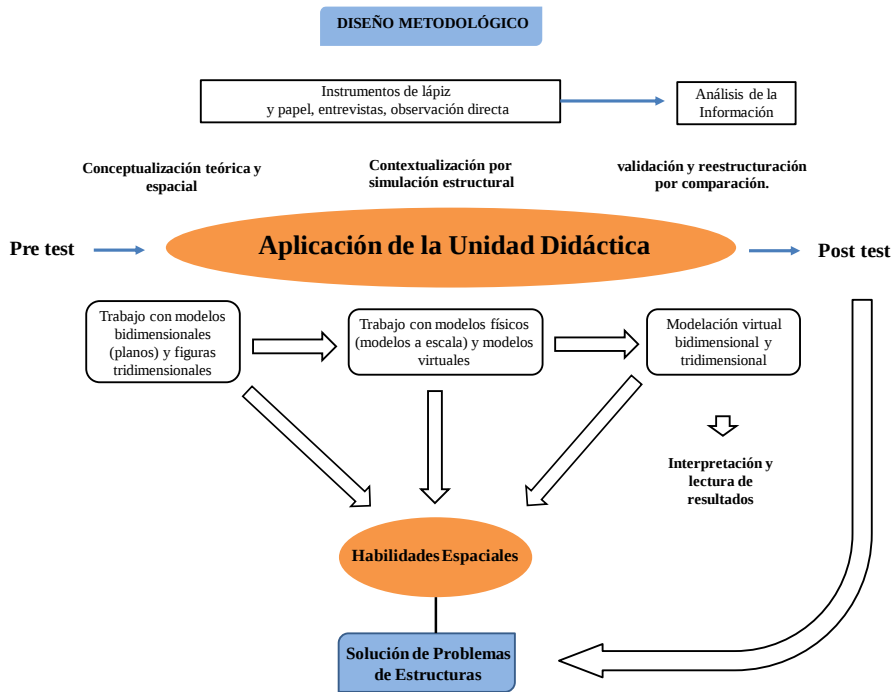


Figura 2 Esquema de diseño metodológico particularizado



5.9 PLAN DE ANÁLISIS

Para el primer momento, se plantea un diagnóstico inicial para hacer una verificación de conocimientos previos relacionados con capacidad de resolución de problemas de arreglos estructurales y habilidades espaciales. Este diagnóstico es fundamental para tener en cuenta las posibles dificultades relacionadas con las categorías de los estudiantes. Este diagnóstico se hizo por medio de un formulario de 12 preguntas cada, las cuales se dividen en conceptuales (respecto al conocimiento que se quiere indagar), de la categoría (capacidad de resolución de problemas y habilidades espaciales) y metacognitivas (respecto al proceso usado por los estudiantes en la solución de problemas). En este primer momento (ubicación), después de recoger las evidencias sobre conocimientos previos, se trazan dos objetivos: posicionar los saberes de los estudiantes respecto a interpretación de arreglos estructurales y estabilidad de los diferentes elementos. Además, se evaluar la capacidad de los estudiantes para abordar situaciones problemáticas y proponer alternativas de solución. Al final de este primer momento se aplica un instrumento tipo lista de chequeo, para

realizar observación directa de los progresos de los estudiantes respecto a la primera subcategoría correspondiente al desarrollo de habilidades espaciales.

Para el momento de desubicación se busca favorecer la construcción de conocimiento en torno a las dos categorías, por medio de actividades variadas: clases magistrales, discusiones grupales y actividades orientadas a formación por problemas. Por esta razón se busca que los estudiantes elaboren vistas de modelos generales, en ejes ortogonales a partir de isométricos e identifiquen las variables asociadas con la estructuración de elementos constitutivos de una edificación. Con propósitos de medición, se aplican cuestionarios con preguntas abiertas. Estos instrumentos permitirán registrar los avances del estudiante en la solución de problemas. Esto es, si resuelve problemas, cómo y con qué elementos lo hace, que variables utiliza, cuales son los conceptos fuertes y débiles ante una situación problemática, qué elementos tuvo en cuenta, qué pasos siguió, entre otros. Estos cuestionarios se elaboran de tal forma que mida la información relevante para evaluar el progreso de los estudiante en la adquisición de las fortalezas que le permitan resolver problemas pertinentes en el área de investigación.

Para el momento de reenfoque se llevó a cabo la reestructuración conceptual. El propósito de la estructuración es facilitar la construcción del pensamiento lógico y estructurado del estudiante, respecto al nuevo concepto. Para esto, se realizan discusiones grupales en torno al análisis de los resultados comparativos entre la modelación física y los resultados obtenidos en los entornos virtuales. Como instrumento final se aplicó un instrumento de lapiz y papel con preguntas abiertas igual al inicial de conocimientos previos. Adicionalmente, se hizo una entrevista individual estructurada con una lista de chequeo, con el propósito de recoger información sobre los progresos alcanzados por los estudiantes y los procesos metacognitivos.

El plan de análisis se realizó a partir de lo propuesto por Mayring (2000). Esto es, a partir de la unidad de análisis se elaboran los códigos y se realiza la síntesis a la luz de las categorías y subcategorías. De la misma manera, con el propósito de elaborar un análisis estructurado, se divide este en tres etapas, de acuerdo a lo planteado por Arbeláez & Onrubia (2014) citados por Herrera (2018): fase teórica o pre análisis, fase descriptiva o

analítica y fase interpretativa. En la primera fase se hará una revisión superficial de los instrumentos respondidos por los estudiantes, con el propósito de generar las primeras aproximaciones hipotéticas; en la segunda fase se hace un análisis profundo de la información y en la última se hace el análisis de contenido en profundidad.

Con el plan de análisis propuesto se busca hacer un análisis de contenido de las respuestas de los estudiantes de los diferentes instrumentos, buscando que esta sea sistemática, objetiva, replicable y válida (Abela, 2002). El análisis de contenido se hizo por medio de una matriz de datos donde aparece la categoría, la pregunta, respuesta del estudiante, la inferencia o interpretación, la triangulación con los referentes teóricos y el código de asignación. Para los instrumentos de lápiz y papel con preguntas abiertas, se aplicó un análisis de contenido a través de matrices, en la cual se contemple las preguntas, las respuestas de los estudiantes, la interpretación y la triangulación con los autores. En la Tabla 4 se presente al modelo de análisis por matriz de contenidos. En esta, la primera columna corresponde al número de la pregunta y las iniciales de la categoría. Por ejemplo, 1 RP significa que es la pregunta 1 y que la categoría es resolución de problemas. La segunda columna corresponde a la categoría y entre paréntesis, el o los referentes, la tercera columna es la pregunta y debajo de esta, los códigos de identificación de los estudiantes (ESTCIVIL1 indica el estudiante que responde la pregunta. Los mismos van del 1 al 6).

Tabla 4. Matriz de análisis de contenido

Matriz de análisis de contenidos inferencia y triangulación exploración de ideas previas					
Número pregunta cat	Categoría	Pregunta	Respuesta del estudiante	Inferencia	Triangulación autores
1 RP	Resolución de problemas (polya, 1965; linhart, 1976)	¿Cómo puede solucionar este problema? Piense en un plan para resolver el problema. Describa los pasos que seguirá para la construcción de cada una de las tres vistas bidimensionales de la estructura. Enumere los pasos. Agregue pasos si es necesario.			Codificación

En la cuarta columna se coloca las respuestas dadas por los estudiantes, en la quinta la inferencia o interpretación que el investigador da respecto a dicha pregunta y su relación con la categorización. La sexta columna corresponde a triangulación con los autores y finalmente, en la séptima columna va la codificación.

Dentro del plan de análisis se plantea una rúbrica en la cual se asigna un nivel a los conocimientos demostradas por los estudiantes en cada una de las categorías, subcategorías y criterios. Los niveles son 1, 2 y 3, donde 1 es el nivel inferior y 3 el nivel superior. Estos niveles se asignan a partir de la inferencia y la triangulación con los autores.

Como ya se describió en la unidad de análisis, existen dos categorías: resolución de problemas y habilidades espaciales. Cada una de estas categorías tienen unas subcategorías y estas últimas, unos criterios. Para el análisis de contenido se realizará una codificación tanto para subcategorías como para los criterios, los cuales se discuten a continuación.

5.9.1 Definición de códigos

Se definen 6 códigos a partir de las seis subcategorías. Estos códigos permiten hacer un análisis sintetizado de la información tomada de los instrumentos en función de si los estudiantes han demostrado conocimiento tanto en resolución de problemas como en habilidades espaciales. De la misma manera, se hará un análisis mas riguroso respecto a los 9 criterios de las seis subcategorías. Los códigos por subcategorías y por criterios se presentan en las Tablas 5 y 6. Tanto los códigos por subcategorías, así como los de criterio están asociados a los niveles descritos anteriormente.

Tabla 5. Códigos por subcategoría

Código por Subcategoría	Lectura del código
RPCP	Comprensión del problema (Hace referencia a la subcategoría comprensión del problema y se usa para indicar el grado en que el estudiante demuestra capacidad de comprensión del problema. Los grados van de 1 a 3, donde uno es la menor capacidad y 3 la mayor capacidad)
RPDP	Diseño de un plan para la solución del problema (Hace referencia a la subcategoría diseño de un plan y se usa para indicar la capacidad que demuestra el estudiante para diseñar un plan en la solución de un problema. Dicha capacidad va de 1 a 3, donde uno es la menor capacidad y 3 la mayor)
RPEP	Ejecución del plan para la solución del problema (se usa para medir si un estudiante ejecuta el plan de acuerdo a lo planeado y el éxito que tiene en esto. Los resultados se miden de 1 a 3, donde 1 es la menor capacidad y 3 la mayor)
RPCS	Comprueba la solución en la Resolución del Problema (Hace referencia a la subcategoría comprobación de la solución. Se mide de 1 a 3, siendo 1 el mínimo y 3 el máximo)
HEVE	Realiza tareas de vistas de figuras y cortes (se usa para medir la capacidad que tiene el estudiante en visualización espacial. Va de 1 a 3, donde 1 es la menor capacidad y 3 la mayor)
HEOE	Realiza tareas de rotación de figuras (se usa para medir la capacidad que tiene el estudiante en orientación)

espacial. Va de 1 a 3, donde 1 es la menor capacidad y 3 la mayor)

Tabla 6. Códigos por criterios

Código categoría por criterio	Lectura del código
RPCPIidentitat	Identificación de los datos en Resolución de Problemas (capacidad demostrada por el estudiante en la identificación de los datos de un problema)
RPCPIidentiinc	Identificación de la incógnita en Resolución del Problemas (capacidad demostrada por el estudiante en la identificación de las incógnitas de un problema)
RPDPestrat	Diseña una estrategia en la resolución del Problema (capacidad demostrada por el estudiante en el diseño de una estrategia para la solución de un problema)
RPEPcomp	Comprueba los pasos en la Resolución del Problema (capacidad demostrada por el estudiante en la comprobación de los pasos para la solución de un problema)
RPCSverraz	Verifica el razonamiento en la Resolución del Problema (capacidad demostrada por el estudiante para verificar el razonamiento en la solución de un problema)
RPCSversol	Verifica la solución en la Resolución del Problema (capacidad demostrada por el estudiante para verificar la solución en resolución de problemas)
HEVErot	Identifica la posición de una figura después de su rotación (capacidad demostrada por el estudiante en la identificación de la posición rotacional a partir del giro de una figura)
HEOEvist	Identifica las vistas proyectadas de una figura de 3D a 2D (capacidad demostrada por el estudiante en la construcción de vistas ortogonales)

Finalmente, hay un código que se asocia a la capacidad de resolución de problemas (CRP) y se usa para medir los niveles de conocimiento asociados con las 4 subcategorías de RP. Este código también se usa para medir los resultados en la pregunta 12 de ambos instrumentos (inicial y final).

5.9.2 Integración final de los hallazgos

Estos se realizarán a partir de las interpretaciones realizadas para el instrumento de exploración, el instrumento post test, las entrevistas y los resultados de las actividades de presentación de los contenidos. Para esto, se hace un análisis de los resultados de acuerdo a

los códigos y sus rangos. A partir de esto, se describen los cambios observados en los estudiantes a raíz de ambas categorías, así como las relaciones encontradas entre ambas categorías. Se elaboran diagramas de barras para medir y comparar los hallazgos antes y después de la intervención.

6 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el estudio se aplicó un instrumento inicial, con el propósito de recoger y evaluar las ideas previas de los estudiantes antes de la intervención didáctica. El instrumento constaba de 12 preguntas, de las cuales, 8 correspondían a la primera categoría (RP) y las 4 restantes, a la segunda categoría (HE). La Tabla 7 muestra la categoría, subcategoría, y criterio por los cuales indagaba cada una de las preguntas. Además, se presenta en la última columna, la codificación por criterio.

Tabla 7. Distribución de preguntas por categoría, subcategoría y criterio

Pregunta	Categoría	Subcategoría	Criterio	Código
1	Resolución de Problemas	Diseño de un plan	Diseño de una estrategia	RPDPestrat
2		Ejecución de un plan	Evaluar los pasos	RPRPcomp
3	Habilidades Espaciales	Orientación Espacial	Construcción de vistas	HEOEvist
4	Resolución de Problemas	Comprobar la Solución	Verificar el razonamiento	RPCSverraz
5		Comprobar la Solución	Verificar el razonamiento y la solución	RPCSversol RPCSverraz
6	Habilidades Espaciales	Orientación Espacial	Construcción de vistas	HEOEvist
7		Orientación Espacial	Construcción de vistas	HEOEvist
8	Resolución de Problemas	Comprobar la Solución	Verificar el razonamiento y la solución	RPCSversol RPCSverraz
9	Habilidades Espaciales	Visualización Espacial	Rotación de figuras	HEVERot
10	Resolución de Problemas	Comprobar la Solución	Verificar el razonamiento y la solución	RPCSversol RPCSverraz
11		Comprender el problema	Identificar los datos e identificar las variables	RPCIdentidat RPCIdentinci
12		Sin subcategoría		CRP

Respecto al instrumento final, se presentan las mismas preguntas, con la misma categorización. La diferencia radica en que en las preguntas 3, 7, 9 y 12, la gráfica del problema, es diferente. Con el propósito de limitar el sesgo y por tanto, de hacer una inferencia mas objetiva de las respuestas de los estudiantes, se establecieron 3 niveles de apropiación de las subcategorías, por medio de cada uno de los criterios por los que se indagaba: Para el nivel 1 hay muy poca o ninguna evidencia que de cuenta de la apropiación del criterio, nivel 2, apropiación media o con algunas limitaciones y finalmente, nivel 3, alta apropiación del criterio. La Tabla 8 muestra la rúbrica para apropiación de los criterios por parte de los estudiantes.

Tabla 8. Rúbrica para clasificar los niveles de conocimiento según respuestas

Código categoria por criterio	Lectura del código	Nivel	Rúbrica del nivel para el criterio
RPCPIidentitat	Identificación de los datos en Resolución de Problemas	3	El estudiante hace una amplia identificación de los datos del problema y su posible rol en la solución del mismo. Identifica algunas de las restricciones asociados a estos.
		2	El estudiante identifica parcialmente los datos del problema
		1	El estudiante no identifica los datos que se relacionan con la solución del problema.
RPCPIidentiinc	Identifica las incógnitas en Resolución de Problemas	3	El estudiante hace una amplia identificación de las incógnitas del problema y su posible rol en la solución del mismo. Identifica algunas de las restricciones asociados a estos
		2	El estudiante identifica parcialmente las incógnitas del problema
		1	El estudiante no identifica las incógnitas que se relacionan con la solución del problema.
RPDPestrat	Diseña una estrategia	3	El estudiante establece de manera secuencial, los pasos necesarios para la correcta solución del problema

	Resolución de Problemas	2	El estudiante establece algunos pasos para la solución del problema, de manera secuencial.
		1	El estudiante menciona algunos pasos, de manera aislada y algunos de ellos no son de utilidad en la solución del problema.
RPEPcomp	Comprueba los pasos Resolución de Problemas	3	El estudiante comprueba los pasos para la solución del problema, dando respuesta argumentativa del por qué los seguirá y cuál es su utilidad.
		2	El estudiante da respuesta poco argumentada sobre el porqué de los pasos para la solución del problema.
		1	El estudiante no da respuesta dentro de lo argumentativo, del por qué usará determinados pasos en la solución de un problema.
RPCSversol	Comprueba la solución en Resolución de problemas	3	El estudiante verifica la solución del problema, de acuerdo a los pasos que siguió y el plan trazado
		2	El estudiante verifica parcialmente la solución del problema.
		1	El estudiante no verifica la solución del problema, de acuerdo al plan trazado
RPCSverraz	Comprueba el razonamiento en Resolución de Problemas	3	El estudiante verifica el razonamiento en la solución del problema, de acuerdo a los pasos que siguió y el plan trazado
		2	El estudiante verifica parcialmente el razonamiento para la solución del problema.
		1	El estudiante no verifica el razonamiento para la solución del problema, de acuerdo al plan trazado
HEVERot	Identifica la posición de una figura después de su rotación en Habilidades Espaciales	3	El estudiante identifica plenamente la posición que adopta una figura tridimensional, después de rotar respecto a ejes ortogonales
		2	El estudiante identifica parcialmente las posiciones y elementos de una figura después de su rotación respecto a ejes ortogonales.
		1	El estudiante no identifica la posición rotada de una figura

HEOEvist	Identifica las vistas proyectadas de una figura de 3D a 2D en Habilidades Espaciales	3	El estudiante identifica las tres proyecciones ortogonales de una figura tridimensional respecto a sus ejes positivos o negativos.
		2	El estudiante identifica parcialmente o con algunas omisiones, las proyecciones ortogonales de una figura tridimensional.
		1	El estudiante no identifica ninguna de las proyecciones ortogonales de una figura tridimensional.

Para cada una de las preguntas se realizó una transcripción de aquellas que correspondían a texto (como las de descripción de los pasos, las del por qué de la solución propuesta, entre otras) y una digitalización de las respuestas asociadas a construcción de vistas y soluciones gráficas, las cuales se pegaron en la hoja de Excel en la que se realizó la matriz de análisis. En esta matriz, se realizó la inferencia por parte del investigador (por estudiante y grupos de estudiantes), así como una triangulación con los autores. Además de lo anterior, se asignó una valoración por nivel de apropiación del criterio, de acuerdo a la inferencia y la triangulación con los autores.

6.1 RESULTADOS INSTRUMENTO INICIAL

Como se mencionó anteriormente, el instrumento de recolección de ideas previas contiene 12 preguntas, cuya categorización también se explicó. Para poner en contexto las respuestas dadas por los estudiantes, así como la triangulación con los autores, se comentarán los resultados de las 3 primeras preguntas. Para el caso de la pregunta 1, se estableció un contexto a partir de lo expuesto por Tartre (1990). Dentro de la pregunta se le pide al estudiante que establezca un plan para la construcción de tres vistas bidimensionales del modelo, por medio de unos pasos (Polya, 1965) En la Tabla 9 se presenta la pregunta y las respuestas dadas por los estudiantes. Cabe indicar que la pregunta mide la categoría RP, subcategoría Diseño de un plan (DP), criterio Diseño de una estrategia (RPDPestrat).

Tabla 9. Pregunta 1 instrumento inicial, con respuestas de los estudiantes

Número pregunta	Categoría	Pregunta	Respuesta del estudiante
1 RP	Resolución de problemas (Polya, 1965; Linhart, 1976)	¿Cómo puede solucionar este problema? Piense en un plan para resolver el problema. Describa los pasos que seguirá para la construcción de cada una de las tres vistas bidimensionales de la estructura. Enumere los pasos. Agregue pasos si es necesario.	
Estudiantes		ESTCIVIL1	Paso 1: Observar la figura Paso 2: Realizar una proyección mental del objeto en sus tres dimensiones y determinar las caras que se verán y las que no se verán, según la perspectiva Paso 3: Denotar características fundamentales como que la ménsula se encuentra ubicada desde el borde superior
		ESTCIVIL2	Paso 1: Identificar y analizar la figura detalladamente Paso 2: Posicionar los ejes x,y,z en la figura Pso 3: Imaginar las vistas espaciales para dibujarlas respecto a los ejes x,y,z Paso 4: Proyectar y dibujar la figura con las vistas respectivas.
		ESTCIVIL3	Paso 1: Mirar la posición de los ejes x, y,z con respecto a la figura Paso 2: Trataría de situar la hoja a distancias en las que yo pueda observar la foma de los ejes Pso 3: leer el enunciado y dibujar Paso 4: Proyectar y dibujar la figura con las vistas respectivas.

ESTCIVIL4	Paso 1: Ubicarme respectivamente en cada eje Paso 2: Analizar la forma de la figura en dichos ejes Pso 3: Realizar (dibujar) las vistas en cada eje Paso 4: Proyectar y dibujar la figura con las vistas respectivas.
ESTCIVIL5	Paso 1: Realizar la visualización de la estructura Paso 2: Analizar visualmente los ángulos y vistas de dicha estructura Pso 3: Realizar un análisis dimensional en cada cara de la estructura Paso 4: Dibujar las caras teniendo en cuenta los pasos anteriormente mencionados
ESTCIVIL6	Paso 1: Lo primero que hay que tener en cuenta son sus dimensiones Paso 2: Nos paramos a cada costado del muro que es como se van a tomar las vistas Pso 3: Para la vista superior detallamos lo que es el muro en su forma frontal Paso 4: Para la vista frontal toca detenernos un poco mas a detallar la figura

A partir de las respuestas de los estudiantes se puede inferir que Los 6 estudiantes plantean estrategias distintas hacia la solución del problema de construcción de las vistas. La mayoría de los pasos presentados son secuenciales. Las estrategias de ESTCIVIL1, ESTCIVIL2, ESTCIVIL3 y ESTCIVIL4 consideran los ejes de los planos que contienen el sólido o las vistas, lo cual es fundamental para la correcta solución. ESTCIVIL 5 además propone ejecutar los pasos planeados, lo cual hace que éste sea mas estructurado que los otros en la solución del problema. ESTCIVIL1 y ESTCIVIL6 presentan pasos secuenciales pero al final de ellos no hay un dibujo, es decir, no es una estrategia que lleve a la solución del problema.

En lo que respecta a los autores, Polya (1965) propone que para una buena solución de un problema, se debe pasar por 4 etapas: comprensión del problema, diseñar un plan para la solución del problema, ejecutar el plan y comprobar la solución. Por su parte, Linhart (1976) los resume en 3 partes: descubrimiento de la situación problemática (Comprender el problema para Polya), Proceso de solución (Diseñar y ejecutar el plan para Polya) y verificar el método (comprobar la solución para Polya). En este sentido, se ha considerado que la pregunta indaga por el criterio RPDPEstrat. Puede decirse entonces que ESTCIVIL2, ESTCIVIL3, ESTCIVIL4, ESTCIVIL5 tienen éxito en el diseño de una estrategia. Sin embargo, ESTCIVIL5 presenta una estrategia un poco más elaborada y estructurada, mientras que los otros omiten detalles que pueden ser necesarios para una correcta solución, como por ejemplo, el ignorar la relevancia de los ejes coordenados. ESTCIVIL1 y ESTCIVIL6 por su parte, aunque puedan comprender el problema, fallan en el objetivo final de la estrategia, el cual es la realización de la construcción de vistas. En resumen, puede afirmarse que mientras los primeros mencionados se encuentran en un nivel 3, ESTCIVIL1 y ESTCIVIL6 están en un nivel 2 de RPDPEstrat.

En la pregunta 2, se pide a los estudiantes que expliquen por qué seguirán los pasos propuestos (RPEPcomp). Las respuestas de los estudiantes se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10. Pregunta 2 Instrumento inicial, con respuestas de los estudiantes

2 RP	RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS (Polya, 1965; Linhart, 1976)	Explique por qué seguirá los pasos que describió para la solución del problema
Estudiantes	ESTCIVIL1	Seguiré estos pasos porque muestra cómo, según la perspectiva, hay ejes que no se podrán observar y si no se tiene en cuenta las distribuciones espaciales, la figura no se podrá hacer correctamente.

ESTCIVIL2	Yo seguiré estos pasos para no equivocarme al proyectar y dibujar las vistas del objeto o figura.
ESTCIVIL3	Porque creo que son unos buenos pasos a seguir para una buena solución.
ESTCIVIL4	Porque siguiendo los pasos podré desarrollar el gráfico de cada perspectiva, o sea, superior, izquierda y derecha
ESTCIVIL5	Para el correcto desarrollo del problema es necesario, ya que se genera un análisis correcto de la situación.
ESTCIVIL6	Los seguiré, ya que con los lineamientos propuestos, procederé a realizar cada vista, según su orientación y posición, gracias a eso podré plantear gráficamente lo mejor posible

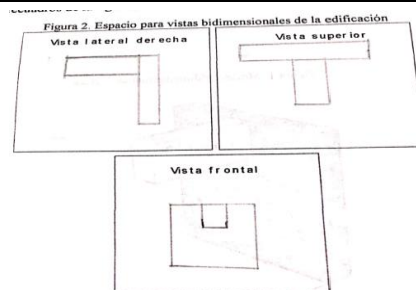
Puede inferirse que los 6 estudiantes brindan argumentos del por qué seguirán los pasos que se trazaron en el plan. De las respuestas dadas es evidente que ESTCIVIL1 y ESTCIVIL6 presentan muy buenos argumentos, desde lo conceptual y procedimental. Los demás estudiantes, aunque presentan sus argumentos, estos no están basados en la posible eficacia o no del plan, que es lo que finalmente se está indagando. A la luz de los autores, la pregunta indaga por el criterio RPEPcomp. Después del análisis, ESTCIVIL1 y ESTCIVIL6 se encuentran en un nivel 3 de comprobación del plan, en tanto que ESTCIVIL2, ESTCIVIL3, ESTCIVIL4 y ESTCIVIL5, se encuentran en un nivel 1 debido a que sus argumentos no se fundamentan en la eficacia o deficiencia del plan.

En la pregunta 3 se pide a los estudiantes que ejecuten el plan propuesto y construyan las vistas de la figura dada (HEOEvist). En la Tabla 11 se presentan los resultados.

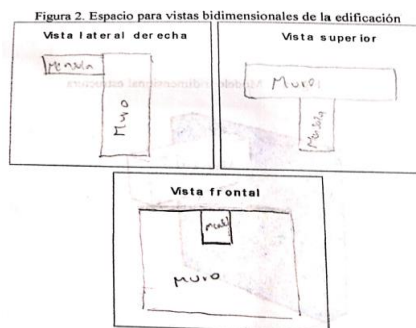
Tabla 11. Pregunta 3 instrumento inicial, con respuestas de los estudiantes

3 HE	Habilidades espaciales (McGee 1979; Tartre, 1990; Linn & Petersen 1985)	Ejecute los pasos que describió, construyendo las tres vistas bidimensionales de la estructura, en los recuadros de la figura 2
Estudiantes	ESTCIVIL1	Figura 2. Espacio para vistas bidimensionales de la edificación
	ESTCIVIL2	Figura 2. Espacio para vistas bidimensionales de la edificación
	ESTCIVIL3	Figura 2. Espacio para vistas bidimensionales de la edificación
	ESTCIVIL4	Figura 2. Espacio para vistas bidimensionales de la edificación

ESTCIVIL5



ESTCIVIL6



Los estudiantes hacen la construcción de las vistas frontal, lateral y superior, de acuerdo a los pasos que plantearon. A partir de los resultados puede verse que ESTCIVIL3, ESTCIVIL4 y ESTCIVIL5 realizan una correcta interpretación de las vistas, lo que no sucede con ESTCIVIL1, ESTCIVIL2 y ESTCIVIL6. ESTCIVIL1 no interpreta de forma correcta la vista lateral derecha, en tanto que ESTCIVIL2 únicamente interpreta de forma correcta la vista frontal. ESTCIVIL6 falla en la solución de la vista superior. Para el caso de los estudiantes que tuvieron errores en las vistas, se infiere que esto se debe a una mala interpretación del texto instructivo que los hizo hacer una lectura mental errónea de la posición con respecto a la figura, pero también puede deberse a problemas de orientación espacial.

En el desarrollo de habilidades espaciales, McGee (1979) y Tartre, (1990) proponen que las habilidades espaciales se dividen en dos partes: orientación espacial y y visualización espacial. La primera corresponde a la capacidad que tiene el individuo de identificar vistas de objeto sin que la figura se mueva, únicamente el observador, en tanto que la segunda, hace referencia a la identificación del objeto, aun si este rota o es sometido a cortes internos. Al indagar por la habilidad de los estudiantes para identificar vistas de las

diferentes caras de los sólidos (HEOE). Es posible afirmar a partir de las respuestas de los estudiantes, que ESTCIVIL3, ESTCIVIL4 y ESTCIVIL5 demuestran esta habilidad, en tanto que ESTCIVIL1, ESTCIVIL2 y ESTCIVIL6 presentan limitaciones. Lo anterior ubica a ESTCIVIL1 y ESTCIVIL 2 en nivel inferior (1), a ESTCIVIL6 en nivel medio (2) y a los demás en nivel superior (3).

Finalmente, evaluando las preguntas restantes (4-12) pudo establecerse el nivel en que se encuentra cada uno de los estudiantes, en las diferentes subcategorías, antes de la intervención didáctica. Estos niveles se muestran en la Tabla 12.

Nivel de los estudiantes por subcategoría y criterio antes de la intervención didáctica												
	RPDPestrat	RPEPcomp	HEOEvist	RPCSverraz	RPCSversol/ RPCSverraz	HEOEvist	HEOEvist	RPCSversol/ RPCSverraz	HEVErot	RPCSversol/ RPCSverraz	RPCIdentidat/ RPCIdentinc	CRP
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
ESTCIVIL1	2	3	1	3	2	3	1	3	3	3	3	1
ESTCIVIL2	3	1	1	1	1	1	1	1	3	1	3	1
ESTCIVIL3	3	1	3	1	2	1	1	3	1	1	3	1
ESTCIVIL4	3	1	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3
ESTCIVIL5	3	1	3	3	3	1	3	1	3	2	1	3
ESTCIVIL6	2	3	2	3	3	1	1	1	3	3	1	1

De la Tabla 12 puede inferirse que antes de la intervención didáctica, el grupo presenta heterogeneidad en lo que respecta a los niveles de competencia de las dos categorías y más específicamente, las seis subcategorías, con los respectivos criterios. En cuanto a RP (comprender el problema, diseñar un plan, ejecutar el plan, comprobar la solución) es posible afirmar que el nivel de comprensión del problema tiene puntos altos y bajos. Mientras los tres primeros estudiantes se encuentran en nivel superior para RPCP (identifican bien tanto las variables como las incógnitas), los dos últimos se encuentran en el nivel inferior, esto es, tienen problema para identificar tanto las variables como las incógnitas. El estudiante 4 está en nivel intermedio ya que, aunque identifica bien las

variables, no es igual para las incógnitas. Para el diseño de un plan, los estudiantes se encuentran en un nivel alto ya que cuatro de los seis estudiantes están en nivel 3 y los dos restantes en nivel 2. Esto es, son capaces de establecer un plan para la solución de un problema de forma estructurada y secuencial, sin embargo, el nivel es bajo cuando se trata de argumentar sobre las razones para dicho plan o verificar si los pasos son correctos, ya que no comprueban la efectividad de estos (RPEP). En esta subcategoría, cuatro de los estudiantes se encuentran en el nivel inferior y los otros dos en el nivel superior. En lo que respecta a RPCS (P4, P5, P8, P10) dos de los estudiantes se encuentran muy cerca del nivel alto, dos en nivel medio alto, uno en nivel medio bajo y uno en nivel bajo. lo que indica que, en esta subcategoría, solo dos de los estudiantes requieren mejorar en la comprobación del razonamiento que los llevó a la solución del problema, así como en el análisis de la solución obtenida. Así visto, en lo que respecta a la intervención didáctica se concluyó que, aunque se debían trabajar todas las subcategorías de RP, era necesario desarrollar a profundidad, actividades que fomentaran la comprensión del problema, la ejecución del plan y en comprobar la solución. Los estudiantes estaban en buen nivel en el diseño del plan.

En lo que respecta a HE, para la primera subcategoría (HEOE), dos estudiantes están en nivel alto, dos en nivel medio bajo y dos en nivel bajo, lo que indicaba que se requería trabajar en profundidad dicha subcategoría en la intervención. Finalmente, en cuanto a la segunda subcategoría (HEVE), el nivel era alto para 5 de los 6 estudiantes. El restante se encontraba en nivel bajo.

Los resultados también permiten observar que, a la luz de las categorías, los estudiantes ESTCIVIL2 y ESTCIVIL3 requieren significativa mejoría tanto en RP como en HE, encontrándose ambos por debajo del nivel medio. ESTCIVIL4 Y ESTCIVIL5 están ambos por encima del nivel medio superior en ambas categorías. ESTCIVIL1 y ESTCIVIL6 requieren mejoría en HE.

La información recogida en el instrumento inicial se usó como insumo en la estrategia didáctica para la intervención de aula.

6.2 INTERVENCIÓN DIDÁCTICA

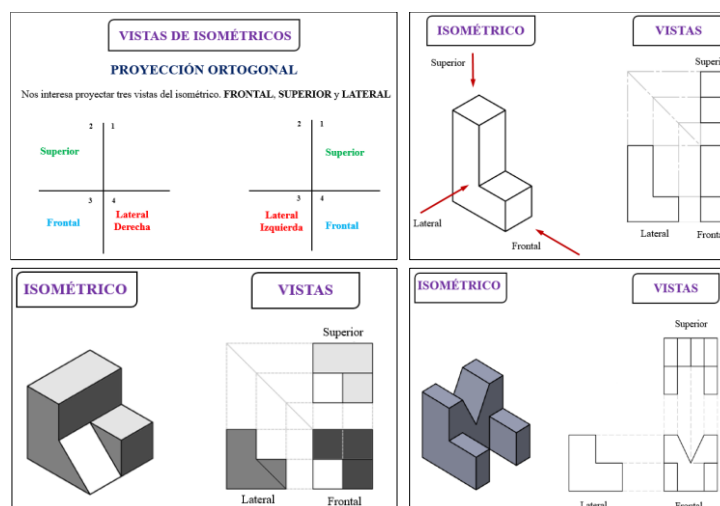
La intervención didáctica se llevó a cabo teniendo en cuenta los hallazgos del instrumento inicial respecto a HE y RP. La misma se enfocó en mayor porcentaje hacia el desarrollo de habilidades relacionadas con construcción de vistas de sólidos, y en un porcentaje menor a la rotación de los mismos. Respecto a RP, el foco se puso en desarrollar capacidades de comprensión del problema, a partir de la identificación de incógnitas y variables en problemas de estabilidad de estructuras, en la revisión de la eficacia de los pasos en la ejecución del plan y finalmente, en la comprobación de la solución por medio de verificación del razonamiento para cada solución dada por los estudiantes. Paralelo a esto, se desarrollaron combinados de RP donde se requería el manejo de habilidades espaciales, especialmente en lo que respecta a HEOE. Para esto, los problemas se dividieron en cuatro grupos: problemas geométricos y de espacios, problemas de flexión asimétrica, problemas de esfuerzos combinados y problemas de visualización estructural.

La intervención de aula comenzó con la categoría HE por medio de actividades de presentación de los contenidos. La misma se dividió en dos partes: en la primera, se presentaron los contenidos por medio de videos, imágenes y textos, como uso intencionado de representaciones semióticas. Estos contenidos se orientaron hacia el aprendizaje de cómo se presentan las vistas de sólidos isométricos en ejes ortogonales. Para esto, la estrategia didáctica fue la participación activa de los estudiantes. En la segunda parte se desarrollaron actividades por parte de los estudiantes, en torno a la elaboración de vistas de sólidos similares a los trabajados en los contenidos. Durante la primera, de 4 sesiones, se desarrolló una mesa redonda donde se plantearon los siguientes interrogantes con el propósito de incentivar la participación activa y así explorar los conocimientos previos de los estudiantes:

¿Sabe usted qué es un isométrico, puede dar ejemplos?; ¿Puede explicar por qué son importantes los ejes ortogonales en un isométrico?; ¿Puede describir cómo se representan las proyecciones ortogonales en un isométrico?; ¿Puede describir cómo se representan las vistas ortogonales en un isométrico?

En esta discusión, los estudiantes además de argumentar oralmente, pasaban al tablero de forma voluntaria y explicaban, desde su conocimiento, aspectos relacionados con la construcción y formas de las vistas, derivados de la discusión. Una vez finalizada la discusión grupal, en la siguiente sesión de 90 minutos, se proyectó un video explicativo sobre la construcción de vistas ortogonales de diferentes sólidos. Posteriormente se introdujo material gráfico correspondiente a los ejes ortogonales donde se proyectan las vistas, haciendo énfasis en los cuadrantes, las posiciones de las vistas y las relaciones constructivas entre las vistas frontal, superior y lateral. Al final de la sesión se mostraban y discutían ejemplos gráficos de sólidos y sus vistas, con la participación activa de los estudiantes. La forma y disposición de los sólidos fue aumentando, conforme los conceptos se hacían más claros. (ver Figura 3).

Figura 3 Ejemplo de diapositivas usadas en el aula para presentar contenidos en HE



Para las actividades de evaluación de los aprendizajes se seleccionaban ejemplos de sólidos para construcción de vistas principales. Estos ejemplos se seleccionaban de tal forma que el grado de dificultad fuera cercano a los trabajados en las actividades de presentación de los contenidos. Para dichas actividades se daba un contexto que buscaba trabajar las dificultades encontradas para RP junto con HE, por medio de instrumentos,

como los que se muestra en las Figuras 4 y 5. La primera centrada en HEOE y la segunda en HEVE.

Durante la solución de las preguntas de los instrumentos, los estudiantes podían hacer preguntas personalizadas al docente, respecto a algún concepto sobre el cual no hubiera claridad, ya fuera directamente de los contenidos o de la interpretación de las preguntas. Para esto, se orientaba la forma de la respuesta, mas no se daba indicio de cual debía ser la respuesta de los estudiantes. Los estudiantes no tenían permitido hablar entre ellos.

Figura 4 Ejemplo de instrumento usado en el aula para evaluar aprendizaje en HEOE

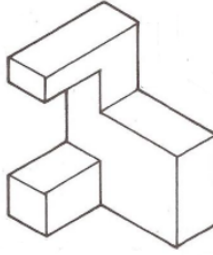
1.	¿Cuáles son las vistas principales que podría obtener del isométrico de la figura? Argumente.	
2.	Si le piden obtener las vistas principales que enunció, a partir de proyecciones sobre plano cartesiano, ¿qué procedimiento seguiría?	
	Paso 1 _____	
	Paso 2 _____	
	Paso 3 _____	
3.	Elabore las vistas principales del sólido, de acuerdo al plan propuesto.	
4.	¿Cree que resolvió el problema de forma correcta? ¿por qué cree que los pasos son los correctos? Argumente.	
5.	Cree que la solución es correcta? ¿por qué o por que no?	

Figura 5 Ejemplo de instrumento usado en el aula para evaluar aprendizaje en HEVE

La estructura de la figura marcada como Estructura original, se gira 90° con respecto al eje x y posteriormente 180° respecto al eje y , adoptando alguna de las cuatro figuras marcadas como a, b, c y d. A usted se le pide que identifique cuál de ellas corresponde a los giros descritos.

1. Piense en un plan para resolver el problema. Describa al menos 3 pasos que usted seguiría. Agregue pasos si es necesario.
Paso 1 _____
Paso 2 _____
Paso 3 _____
2. Ejecute el plan trazado, seleccionando la respuesta que usted considere es la correcta.
3. ¿Cree que resolvió el problema de forma correcta? ¿por qué cree que los pasos son los correctos? Argumente.
4. ¿Cree que la solución es correcta? ¿por qué o por qué no?

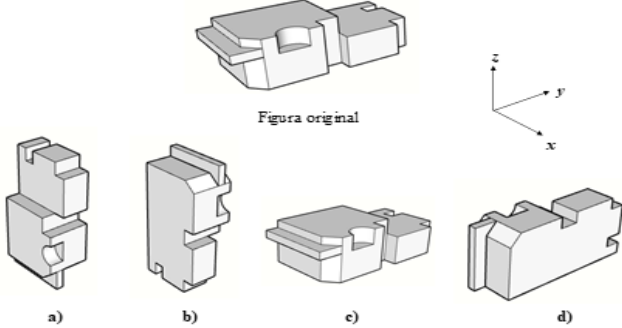


Figura original

a) b) c) d)

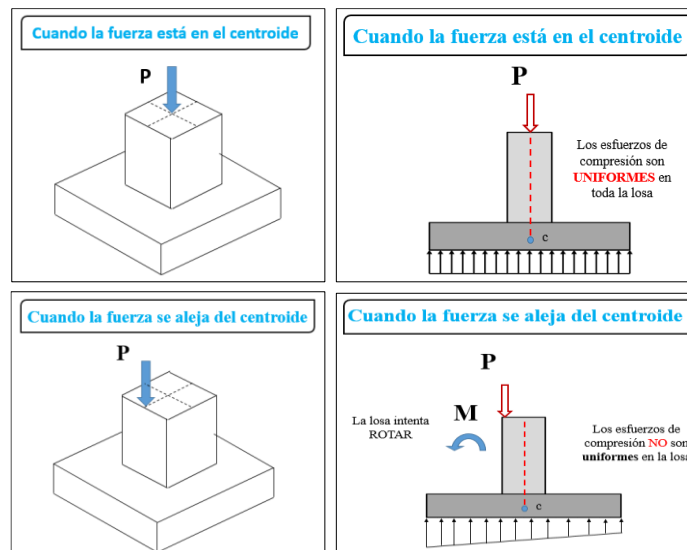
Los instrumentos eran calificados por el docente y los resultados socializados con cada estudiante de forma individual. Después de la socialización, para los resultados bajos, se les pedía a los estudiantes que volvieran a resolver el instrumento, para lo cual se le daba uno similar, con una gráfica diferente.

En lo que respecta a la intervención didáctica para la categoría RP. La misma se estructuró y orientó hacia el desarrollo de capacidades en las cuatro subcategorías, de manera secuencial: RPCP, RPDP, RPEP y RPCS. Para las actividades introductorias, se plantearon las actividades para presentación de contenido y las actividades para evaluar los aprendizajes. En la primera sesión (de un total de 8) inicialmente se presentaron los contenidos por medio de videos orientadores sobre formaciones estructurales acerca de esfuerzos normales en arreglos básicos e intermedios. Posteriormente se presentaron imágenes y textos sobre los esfuerzos esperados de acuerdo a las diferentes tipologías. Al final de la primera sesión se realizó una mesa redonda para la discusión de preguntas orientadoras:

¿sabe usted qué es flexión uniaxial? ¿Puede dar ejemplos?; ¿sabe usted qué es flexión biaxial? ¿Puede dar ejemplos?; ¿Cómo define el concepto rotación de losa?; ¿Qué cree que sucede si se le aplica a una estructura plana, una fuerza alejada de su centro de gravedad?

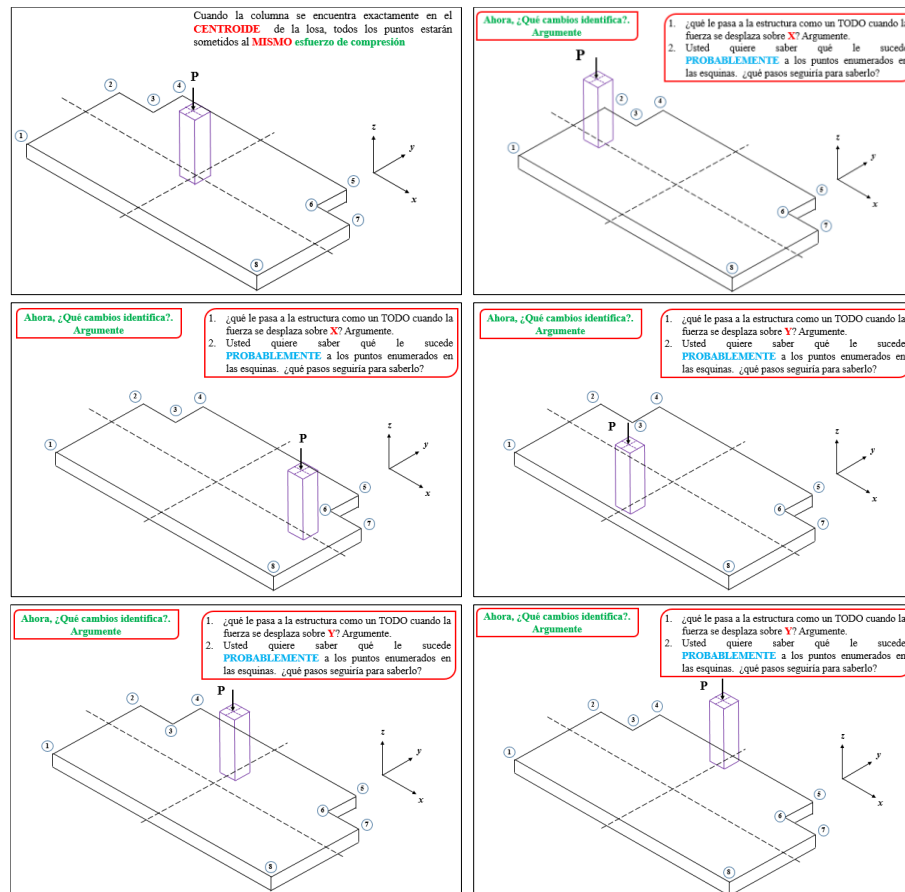
En esta discusión, al igual que en HE, los estudiantes además de argumentar oralmente, pasaban al tablero de forma voluntaria y explicaban, desde su conocimiento, aspectos relacionados con flexión uniaxial y biaxial, derivados de la discusión. En la siguiente sesión se inició con un video sobre solución de problemas básicos de flexión uniaxial y biaxial en estructuras simples. Una vez los estudiantes se apropiaron del concepto amplio, las actividades de presentación de contenidos se orientaron hacia los conceptos específicos de cómo se generan los esfuerzos normales, desde una estructura sometida a esfuerzos uniformes, posteriormente estructuras con flexión en uno de los ejes ortogonales y finalmente, estructuras en flexión biaxial. Algunas de las diapositivas para esfuerzo uniforme y uniaxial se muestran en la Figura 6.

Figura 6 Ejemplos de diapositivas para presentación de contenidos en RP



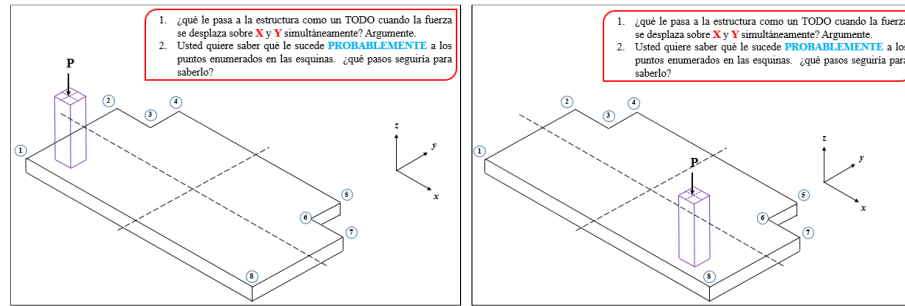
La siguiente sesión la clase se orientó hacia la explicación y el trabajo en torno a estructuras más complejas en flexión uniaxial sobre dos ejes de forma no simultánea. Para esto, se explicaba el concepto y se resolvían ejercicios en el tablero entre el profesor y los estudiantes. Para favorecer el aprendizaje secuencial, se tomaba como ejemplos diferentes estructuras (como la que se muestra en la Figura 7) y se iba desplazando la posición de las cargas, de tal forma que el estudiante, por autodescubrimiento, reconociera los cambios en la naturaleza de los esfuerzos normales a medida que las fuerzas se desplazan del centroide de una sección, en ambas direcciones ortogonales.

Figura 7 Ejemplos de diapositivas para presentación de contenidos de flexión en RP



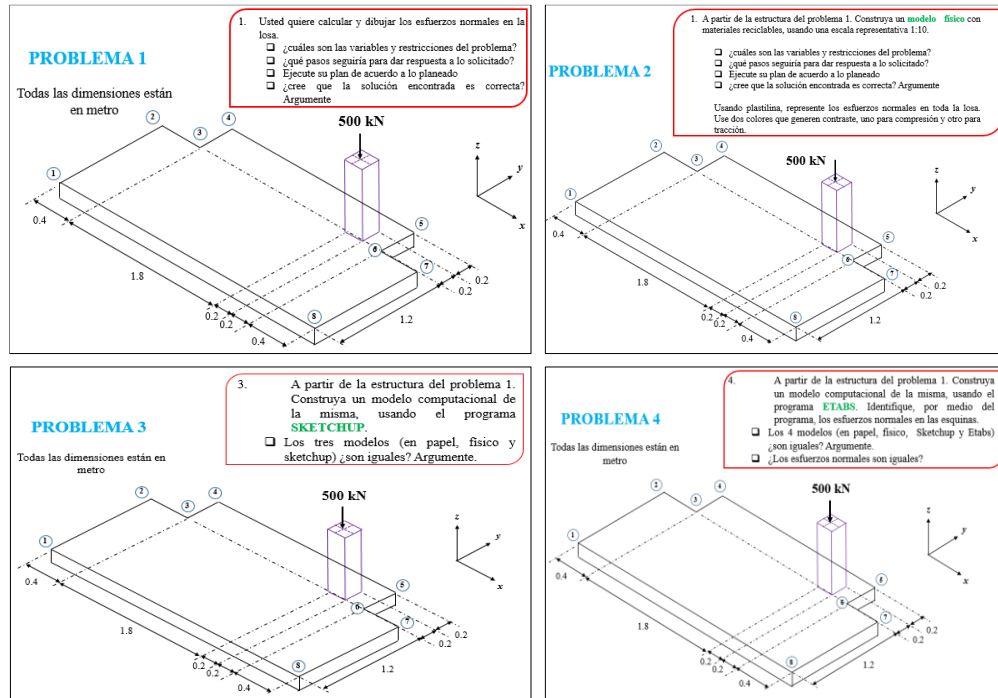
En la siguiente sesión se trabajó la figura sobre ejes oblicuos, es decir, sobre un eje que no es paralelo o perpendicular a los ortogonales. (Figura 8)

Figura 8 Ejemplo de diapositivas para presentación de contenidos biaxiales en RP



Las actividades de evaluación de los aprendizajes se llevaron a cabo en tres etapas secuenciales: en la primera etapa los estudiantes desarrollaron un problema numérico cuyo propósito era evaluar, estudiar y calcular los esfuerzos normales por flexión biaxial en una viga. La solución del problema incluía el dibujo tridimensional resultante de los esfuerzos normales calculados. En la segunda etapa, los estudiantes crearon un modelo virtual de la estructura con las magnitudes y sentidos de los esfuerzos normales, a partir del problema resuelto en papel. Para esto, los estudiantes usaron el software de dibujo, Sketchup. En la tercera etapa los estudiantes construyeron un modelo físico correspondiente al problema resuelto, donde por medio de una tabla de madera o cartón rígido, representaban la estructura y los esfuerzos normales eran representados por medio de plastilina. En la cuarta y última etapa, los estudiantes crearon un modelo virtual por medio del programa de análisis de estructuras Etabs. Esta modelación y análisis les permitió calcular los esfuerzos normales a partir de las cargas dadas y comparar las respuestas obtenidas (fuerzas, esfuerzos normales, deformaciones), con las magnitudes calculadas en papel, con la representación física y con los datos obtenidos por medio del software de dibujo. En la figura 9 se muestran la formulación de los problemas para cada una de las 4 etapas.

Figura 9 Formulación de los problemas para cada etapa de RP



Algunos de los trabajos presentados por los estudiantes en cada una de las 4 etapas en la evaluación de los aprendizajes se presentan en las Figuras 10 y 11.

Figura 10 Fotos de ejemplos de los estudiantes para la primera y segunda etapa de RP

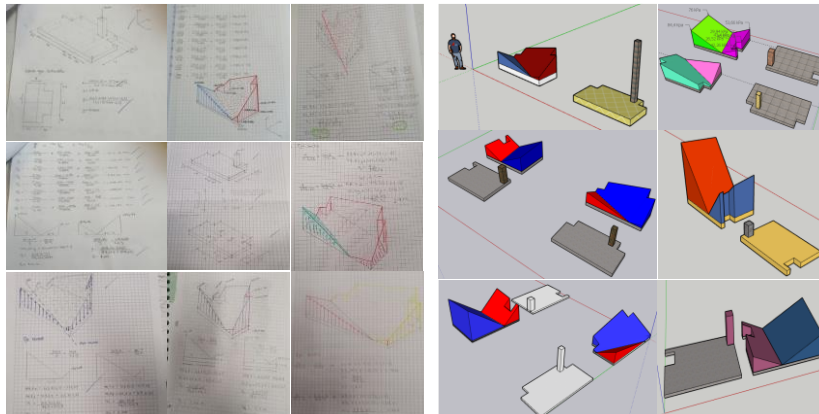
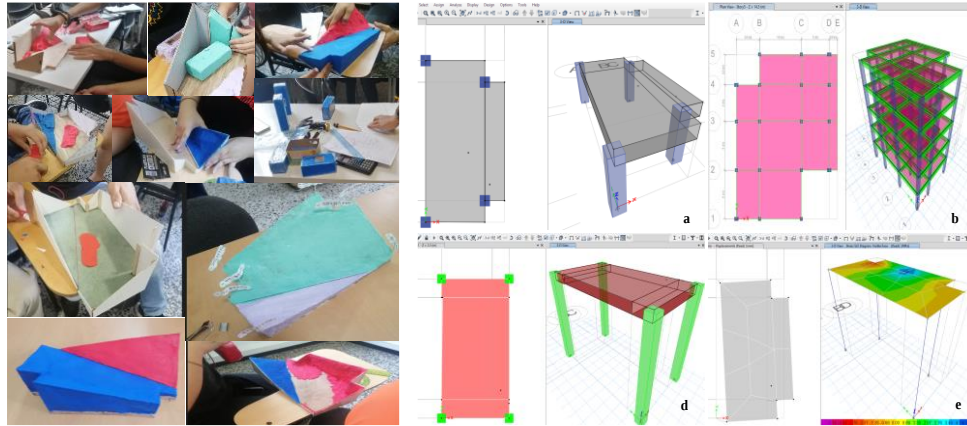


Figura 11 Fotos de ejemplos de los estudiantes para la tercera y cuarta etapa de RP



El progreso de los estudiantes se monitoreó por medio de una lista de verificación. Para esto, en la primera etapa se verificaba las dimensiones, el cálculo de las propiedades geométricas del área, el cálculo de los esfuerzos normales y el dibujo tridimensional de los esfuerzos normales. En la segunda etapa se verificaba que el modelo virtual estuviera construido sobre los ejes correctos y que los esfuerzos normales estuvieran dibujadas de acuerdo al modelo físico. Para la tercera parte, la construcción del modelo físico se realizó por grupos de trabajo con el propósito de ahorrar tiempo y costos. Para esto, se guiaba el proceso y al final se aplicaba la lista de verificación respecto a la fidelidad del modelo físico al compararlo con el dibujo. Finalmente, se aplicó una lista de verificación para el modelo en el software. El propósito era verificar las magnitudes de los esfuerzos respecto a los cálculos realizados en la primera etapa.

6.3 RESULTADOS INSTRUMENTO FINAL

Al igual que en el instrumento inicial, se analizarán las tres primeras preguntas. Para el caso de la pregunta 1, dentro de la pregunta se le pide al estudiante que establezca un plan para la construcción de tres vistas bidimensionales del modelo, por medio de unos pasos. En la Tabla 13 se presenta la pregunta y las respuestas dadas por los estudiantes.

Cabe indicar que la pregunta mide la categoría RP, subcategoría RPDP, criterio RPDPestrat.

Tabla 12. Pregunta 1 instrumento final, con respuestas de los estudiantes

Número pregunta	Categoría	Pregunta	Respuesta del estudiante
1 RP	RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS (Polya, 1965; Linhart, 1976)	¿Cómo puede solucionar este problema? Piense en un plan para resolver el problema. Describa los pasos que seguirá para la construcción de cada una de las tres vistas bidimensionales de la estructura. Enumere los pasos. Agregue pasos si es necesario.	
Estudiantes		ESTCIVIL1	Paso 1: Observar la figura y hacer una imagen mental de la figura Paso 2: Leer cual es la perspectiva que se pide, decir desde qué eje se va a dibujar las vistas Paso 3: Dibujar cada una de las vistas con unas dimensiones que respeten la proporción de la figura
		ESTCIVIL2	Paso 1: Pararme en la cara de la figura respecto al eje x y mirar detalladamente las características de toda la figura Paso 2: Identificar los ejes y y z Paso 3: Analizar y dibujar las caras que se involucren en cada vista superior, frontal y lateral izquierda

ESTCIVIL3	Paso 1: Lo primero que debo hacer es leer el planteamiento del problema que me dicen solucionar Paso 2: Lo segundo en este caso es situarme en cada uno de los ejes correspondiente a cada una de las vistas Pso 3: Lo tercero es visualizarlas y proceder a dibujarlas
ESTCIVIL4	Paso 1: Primero respectivamente en el eje z positivo para ubicar detalladamente la figura y su forma Paso 2: Luego, siguiendo el mismo procedimiento anteriormente explicado para cada uno de los ejes Pso 3: Se grafica la figura para cada uno de los ejes, siendo la vista superior frontal y lateral izquierda
ESTCIVIL5	Paso 1: Observar detenidamente la figura y reconocer visualmente cada una de sus caras Paso 2: Concentrarme en las caras a dibujar y detallar cada edificio y estructura Pso 3: Realizar el dibujo respecto a lo visto en el paso 2
ESTCIVIL6	Paso 1: Primero me posiciono desde el eje x positivo para tener una vista frontal y de esta manera podre ubicar y dibujar mejor la estructura Paso 2: Tener en cuenta los agujeros que la estructura tenga y si llegan a quedar ocultos pues marcarlos igualmente pero con una linea punteada Pso 3: Empezar a dibujar

Los 6 estudiantes plantean estrategias distintas para la solución del problema de construcción de las vistas. Cada uno de los pasos planteados son secuenciales. Mientras ESTCIVIL1, ESTCIVIL2 y ESTCIVIL5 se plantean dentro de su estrategia, el análisis y la

observación, como pasos necesarios para una correcta solución, ESTCIVIL3, ESTCIVIL4 y ESTCIVIL6 son mas procedimentales.

Polya (1965) propone que para una buena solución de un problema, se debe pasar por 4 etapas: comprensión del problema ,diseñar un plan para la solución del problema, ejecutar el plan y comprobar la solución. Por su parte, Linhart (1976) los resume en 3 partes: descubrimiento de la situación problemática (Comprender el problema para Polya), Proceso de solución (Diseñar y ejecutar el plan para Polya) y verificar el método (comprobar la solución para Polya). En este sentido, se ha considerado que la pregunta indaga por la subcategoría Diseñar un plan y lo que se mide es la estrategia que los estudiantes aplican para proceder a dar solución al problema. Puede decirse entonces que los 6 estudiantes demuestran un alto nivel (nivel 3) en la implementación de una estrategia clara y coherente para la solución del problema.

En la pregunta 2, se pide a los estudiantes que expliquen por qué seguirán los pasos propuestos (se busca medir RPEPcomp). Las respuestas de los estudiantes se presentan en la Tabla 14:

Tabla 13. Pregunta 2 instrumento final, con respuestas de los estudiantes

2 RP	Resolución de problemas (Polya, 1965; Linhart, 1976)	Explique por qué seguirá los pasos que describió para la solución del problema
Estudiantes	ESTCIVIL1	Porque atiende a las instrucciones pedidas y si se comprende correctamente se puede hacer las figuras
	ESTCIVIL2	Porque para realizar el dibujo necesito analizar toda la figura y después sus caras con respecto a las vistas y los ejes
	ESTCIVIL3	Porque me parece que son los adecuados para la solución del problema

ESTCIVIL4	Seguiré los pasos para poder entender cómo se ve la figura desde cada eje, teniendo en cuenta si tiene orificios o si está superpuesta
ESTCIVIL5	Ya que es un proceso que se realiza mayormente visual, el plan escrito es un buen método de ejecución
ESTCIVIL6	Seguiré estos pasos porque a mi parecer, es una manera fácil donde se puede hacer una visión de cómo puede quedar para llegar a dibujarlo.

Los 6 estudiantes brindan argumentos del por qué seguirán los pasos que se trazaron en el plan. De las respuestas dadas puede inferirse que ESTCIVIL1, ESTCIVIL2, ESTCIVIL4 y ESTCIVIL6 presentan muy buenos argumentos, desde lo conceptual y procedimental. ESTCIVIL5 presenta argumentos débiles en cuanto a lo conceptual. Finalmete el argumento de ESTCIVIL3 no se fundamenta en la eficacia o no del plan. Dado que las pregunta indaga por el criterio RPEPcomp, ESTCIVIL1, ESTCIVIL2, ESTCIVIL4 y ESTCIVIL6 se encuentran en un nivel 3, ESTCIVIL5 en un nivel 2 y ESTCIVIL3 en el nivel 1

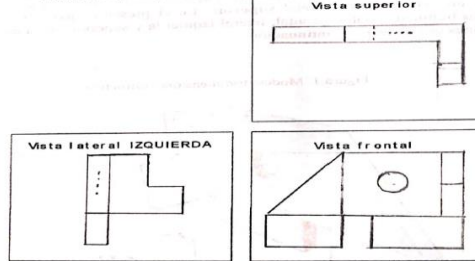
En la pregunta 3 se pide a los estudiantes que ejecuten el plan propuesto y construyan las vistas de la figura dada (HEOEvist). En la Tabla 15 se presentan los resultados.

Tabla 14. Pregunta 3 instrumento final, con respuestas de los estudiantes

3 HE	Habilidad s espaciales (McGee 1979; Tartre, 1990; Linn & Petersen 1985)	Ejecute los pasos que describió, construyendo las tres vistas bidimensionale s de la estructura, en los recuadros de la figura 2
---------	---	---

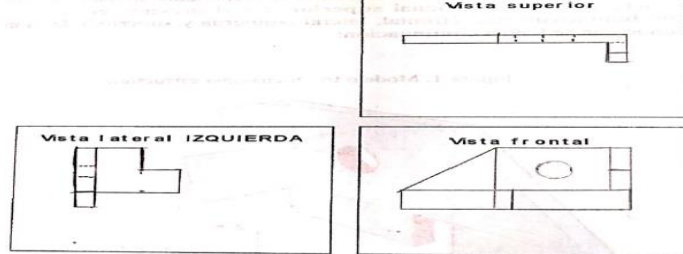
ESTCIVIL1

Figura 2. Espacio para vistas bidimensionales de la edificación



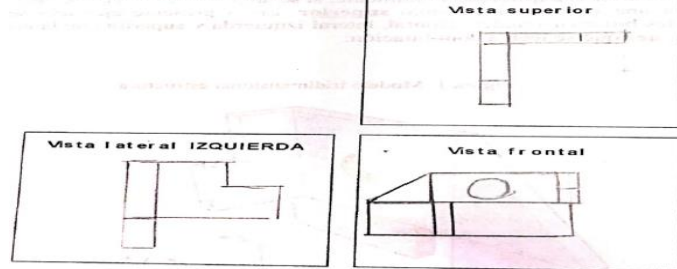
ESTCIVIL2

Figura 2. Espacio para vistas bidimensionales de la edificación



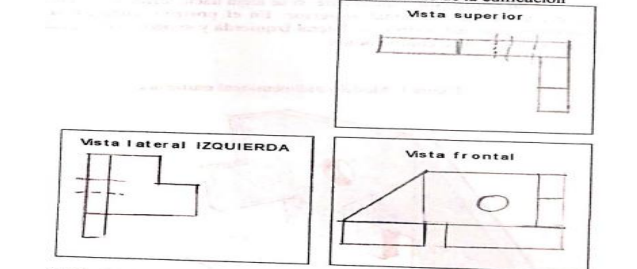
ESTCIVIL3

Figura 2. Espacio para vistas bidimensionales de la edificación



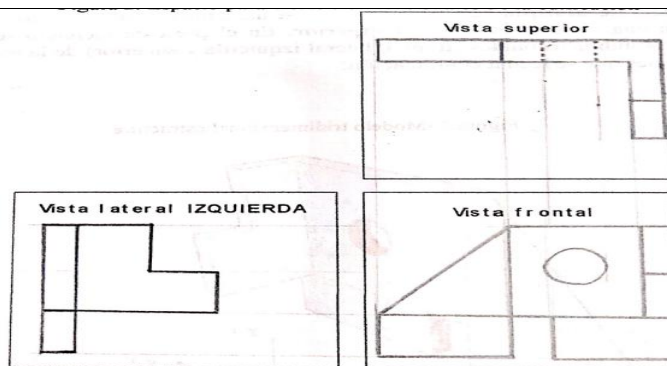
ESTCIVIL4

Figura 2. Espacio para vistas bidimensionales de la edificación



ESTCIVIL5

ESTCIVIL6



Los estudiantes hacen la construcción de las vistas frontal, lateral y superior, de acuerdo a los pasos que plantearon. A partir de los resultados puede verse que todos los estudiantes realizan una correcta construcción de las vistas frontal, superior y lateral del modelo estructural. Los estudiantes ESTCIVIL2 y ESTCIVIL3, en la construcción de la vista frontal, proyectan una línea que debe omitirse desde la vista frontal, sin embargo, no es un error que pueda ser interpretado como falta de competencia en la determinación de vistas y que puede ser atribuido a que la línea inferior fue trazada continua y luego omitieron borrar el tramo sobrante. No obstante, ESTCIVIL3 es repetitivo en la omisión de representación de objetos ocultos, lo cual si debe interpretarse como una carencia en la habilidad espacial.

Es posible afirmar a partir de las respuestas de los estudiantes, que con excepción de ESTCIVIL3 todos los estudiantes demuestran de manera eficiente su capacidad para construir vistas de modelos isométricos. En la Tabla 16 se muestran los niveles alcanzados por cada estudiante, a la luz de las subcategorías y criterios para las 12 preguntas.

Tabla 15. Clasificación de los niveles en los estudiantes, de acuerdo a sus respuestas

Nivel de los estudiantes por subcategoría y criterio después de la intervención didáctica												
	RPDPestrat	RPEPcomp	HEOEvist	RPCSverraz	RPCSversol/ RPCSverraz	HEOEvist	HEOEvist	RPCSversol/ RPCSverraz	HEVErot	RPCSversol/ RPCSverraz	RPCPIidentidat/ RPCPIidentiinc	CRP
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
ESTCIVIL1	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3
ESTCIVIL2	3	3	3	1	3	2	3	1	3	3	3	3
ESTCIVIL3	3	1	2	1	2	1	2	3	1	2	3	3
ESTCIVIL4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
ESTCIVIL5	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
ESTCIVIL6	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

6.4 CAMBIOS DETECTADOS EN CATEGORÍAS Y SUBCATEGORÍAS

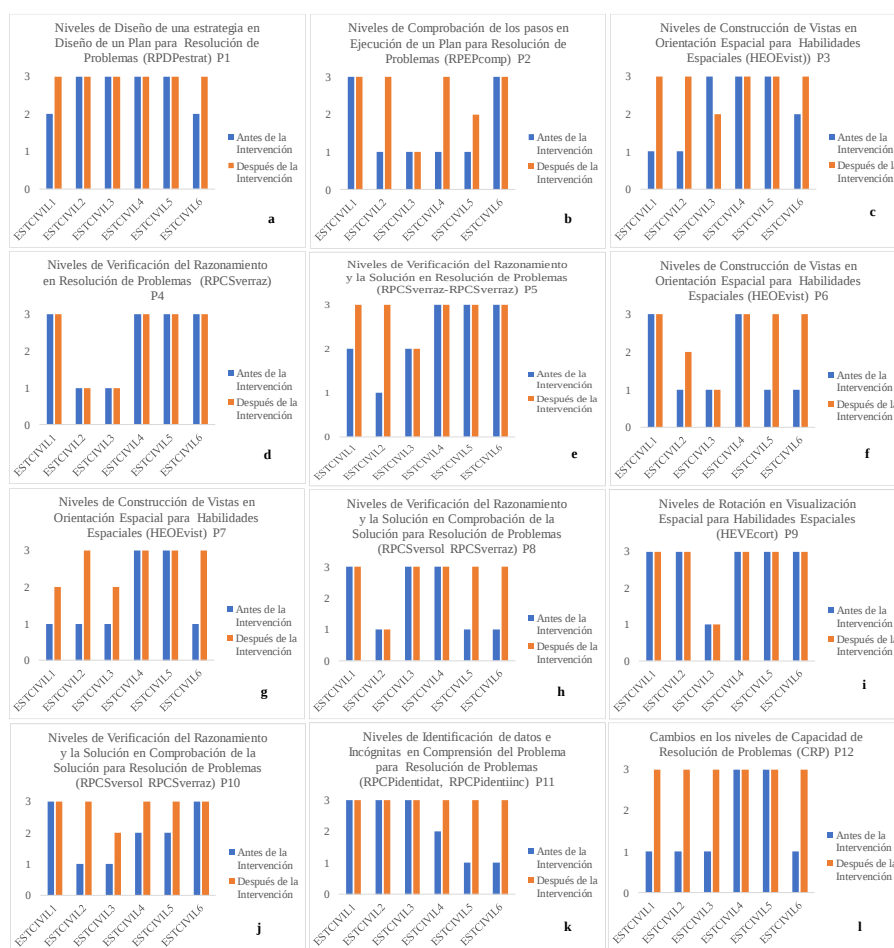
Para medir los cambios en los conocimientos de los estudiantes después de la intervención didáctica, se hizo un análisis por criterio (al estudiar las respuestas de cada pregunta), por subcategoría (al agrupar las preguntas que indagaban por la misma subcategoría) y por estudiante (consolidando los resultados de cada estudiante por subcategoría). Dichos cambios se explican a continuación:

6.4.1 Análisis por criterio

En la Figura 12 se presenta 12 gráficas (una por cada pregunta) donde se aprecia los cambios en los conocimientos de los estudiantes para cada criterio, antes y después de la intervención didáctica, medidas por medio de los instrumentos. Puede observarse que para el criterio RPDPEstrat (a), todos los estudiantes se encuentran en el nivel superior. De estos, únicamente ESTCIVIL1 y ESTCIVIL6 se encontraban en un nivel diferente al superior antes de la intervención didáctica, lo cual indica que estos mejoraron, en tanto que los demás mantuvieron su nivel. En lo que respecta a RPDPEcomp (b), ESTCIVIL1 y

ESTCIVIL6 mantienen el nivel superior que tenían antes de la intervención didáctica y se observa un salto en ESTCIVIL2, ESTCIVIL4 y ESTCIVIL5. Los dos primeros saltan de nivel 1 al 3, mientras que el último, mejora solo hasta nivel 2. ESTCIVIL3 por su parte, no muestra mejoría y se mantiene en el nivel inferior después de la intervención didáctica. Al igual que en estos dos criterios, es posible observar de forma gráfica cada uno de los cambios en los conocimientos en las 12 preguntas de los instrumentos. Estos cambios también se hacen evidentes al comparar las Tablas 12 y 16.

Figura 12 Cambios en conocimientos de los estudiantes de acuerdo a cada pregunta



6.4.2 Análisis por subcategoría

En la Figura 13 se muestran los resultados consolidados por subcategorías (4 de RP y 2 de HE). Para RPCP (a), puede apreciarse que los estudiantes 1,2 y 3 se encontraban en nivel superior antes de la intervención y mantuvieron dicho nivel después de esta. Los estudiantes 4,5 y 6 mejoraron significativamente, especialmente los estudiantes 5 y 6 quienes pasaron de nivel 1 a nivel 3. El estudiante 4 pasó de nivel 2 a nivel 3. En consecuencia, en lo que respecta a comprensión del problema, donde se mide la capacidad de los estudiantes para identificar correctamente los datos y las incógnitas de un problema, todos los estudiantes terminaron en nivel superior después de la intervención didáctica.

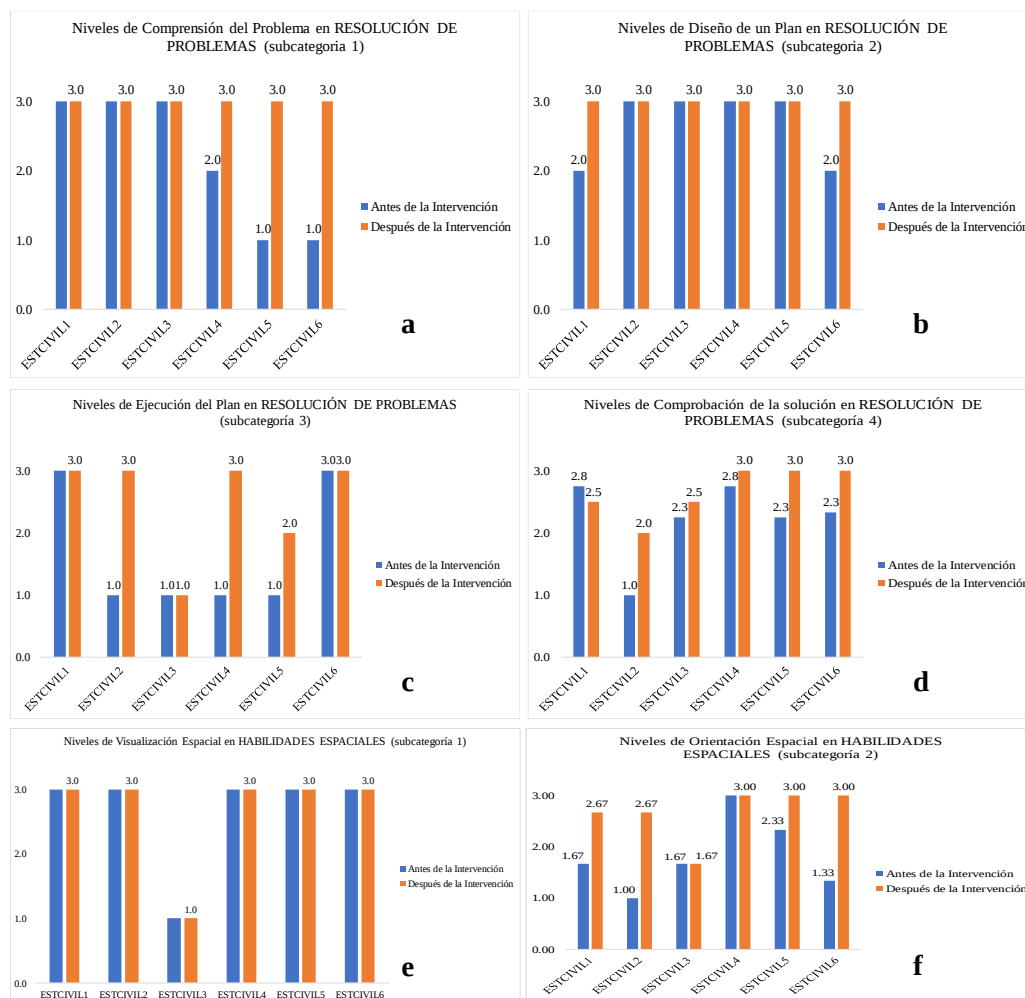
Al analizar la Figura 13b puede notarse que todos los estudiantes demostraron un nivel superior de RPDP al final de la intervención. El resultado no sorprende debido a que únicamente los estudiantes 1 y 6 se encontraban en un nivel diferente al 3 antes de la intervención. Ellos pasaron de nivel 2 al 3, lo que indica que, en esta subcategoría, los estudiantes demuestran una alta capacidad para diseñar un plan a partir de pasos lógicos, estructurados y secuenciales que los lleven a la solución de un problema.

No obstante, aunque todos demuestran una alta capacidad para diseñar un plan en la solución de un problema, no todos llevan a cabo ese plan de acuerdo a lo planeado, a través de la verificación y comprobación de los pasos (RPEP). Antes de la intervención didáctica, los estudiantes 2,3,4 y 5, que demostraban una alta capacidad de planeación, estaban en nivel inferior en cuanto a la ejecución del plan. De hecho, el estudiante 5 incluso después de la intervención didáctica solo mejoró hasta el nivel 2 (ver Figura 13c). El estudiante 3 se mantiene en nivel inferior antes y después de la intervención en lo que respecta a ejecución del plan. Estudiantes 1 y 6 mantienen nivel superior antes y después de la intervención.

En cuanto a Comprobación de la solución (RDSC) (Figura 13d) los resultados son más heterogéneos. Antes de la intervención, la mayoría de estudiantes se encontraban en nivel medio alto, a excepción del estudiante 2 que se encontraba en nivel inferior. Los estudiantes 3,4,5 y 6 mejoraron su nivel. El estudiante 2 mejoró, pero solo hasta nivel medio. El estudiante 1 muestra un resultado que puede leerse como extraño, ya que pasó de 2.8 a 2.5

(los decimales se deben a que la subcategoría se mide con varias preguntas), es decir, desmejoró.

Figura 13 Cambios en conocimientos de los estudiantes de acuerdo a cada subcategoría



En cuanto a HE, la primera subcategoría (HEVE) indica que únicamente el estudiante 3 se encuentra en nivel inferior antes y después de la intervención. (ver Figura 13e), los demás están en nivel superior antes y después de la intervención. Sin embargo, al evaluar la capacidad para visualizar las vistas de las figuras (HEOE, Figura 13f), únicamente el estudiante 4 muestra un nivel superior antes y después de la intervención. El estudiante 4 pasó de nivel medio alto a alto. El estudiante 1 pasó de nivel medio bajo a nivel medio alto, similar al estudiante 2 que pasó de nivel bajo a medio alto. El estudiante 3 se mantuvo en

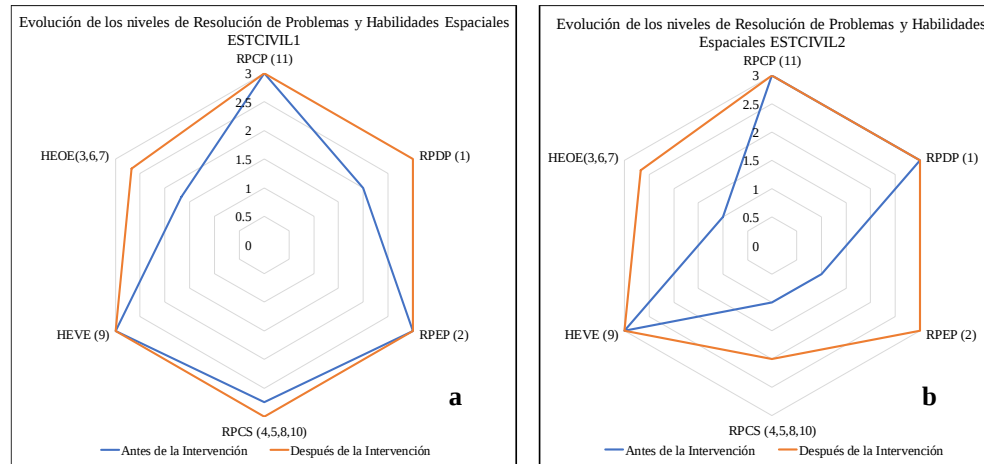
nivel medio bajo. Los mayores progresos los hicieron los estudiantes 5 y 6 que pasaron de nivel medio alto y nivel medio bajo respectivamente, a nivel alto. En conclusión, antes de la intervención didáctica únicamente los estudiantes 4 y 5 demostraban buenos conocimientos en la subcategoría. Esta subcategoría se midió con las preguntas 3, 6 y 7.

6.4.3 Cambios individuales por subcategoría

Es importante realizar un análisis individual de los cambios en los estudiantes en función de las subcategorías. Los cambios pueden verse en las Figuras 14 a 16. La línea azul corresponde a los niveles antes de la intervención, en tanto que la naranja hace referencia a los niveles después de la intervención didáctica. Cada vértice del hexágono representa los niveles alcanzados por los estudiantes (0.5-3). Las subcategorías se indican en el exterior del hexágono mayor y entre paréntesis se muestran las preguntas donde se mide cada subcategoría por medio de los instrumentos.

ESTCIVIL1 muestra significativos avances en HEOE y RPD, que eran las subcategorías donde requería mejorar (Figura 14a). En las demás subcategorías, el estudiante mantiene un nivel alto. Se puede concluir que el estudiante mejoró su capacidad de Resolución de Problemas y demuestra mayores habilidades espaciales.

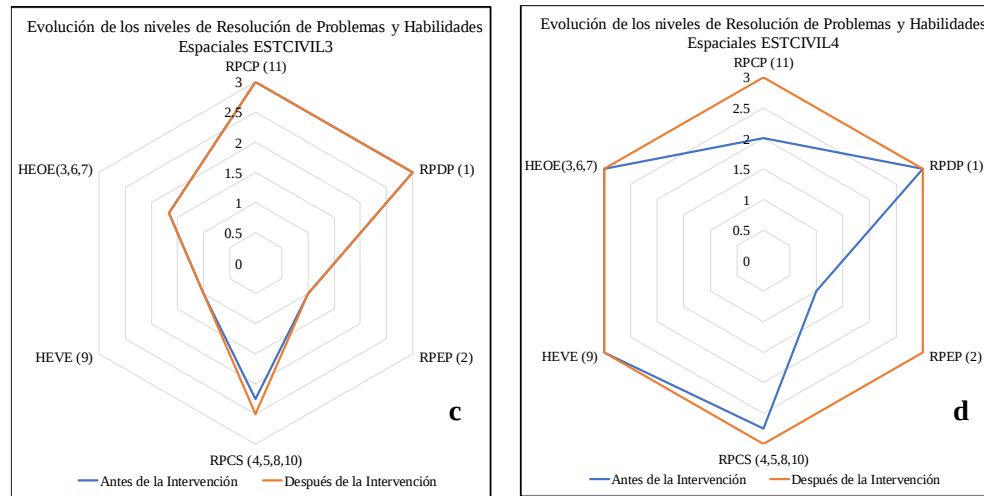
Figura 14 Cambios en los conocimientos ESTCIVIL1 y ESTCIVIL2 por subcategoría



ESTCIVIL2 muestra significativa mejoría en HEOE y RPEP, pasando de nivel bajo a medio alto y alto respectivamente (Figura 14b), sin embargo, muestra poca mejoría en RPCS, pasando de nivel 1 a 2. En las otras tres subcategorías, el estudiante mantuvo el nivel superior que tenía antes de la intervención. En conclusión, es posible afirmar que el estudiante aún requiere mejoría en su capacidad de Resolución de Problemas, ya que presenta falencias para comprobar la solución de un problema.

ESTCIVIL3 es un caso en el cual no se ve ninguna mejoría en las subcategorías (Figura 15a). El estudiante demuestra capacidad para diseñar un plan (RPDP), identificar incógnitas y variables (RPCP) y Comprobación de la Solución (RPCS). Sin embargo, estas habilidades ya las tenía y no mejoraron. No obstante, no mejora en HEVE ni en HEOE (nivel bajo) ni en RPEP.

Figura 15 Cambios en los conocimientos ESTCIVIL3 y ESTCIVIL4 por subcategoría

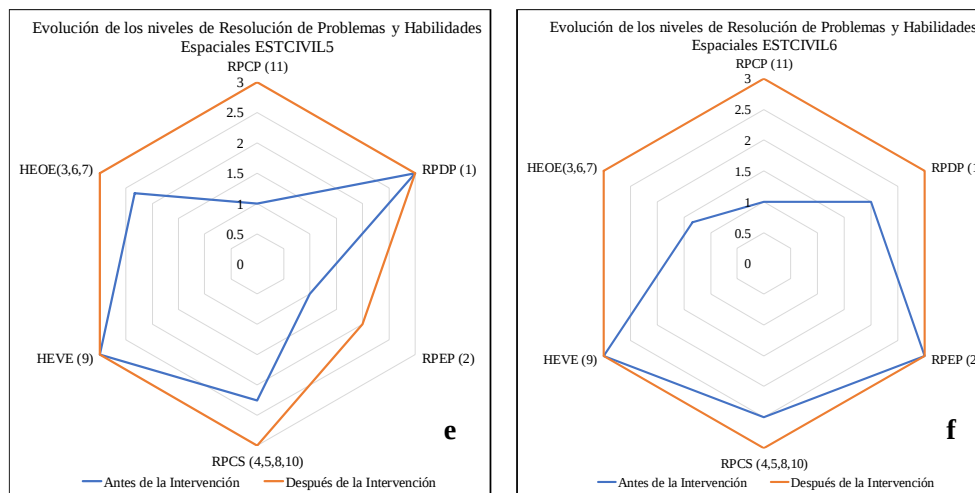


ESTCIVIL4 requería mejorar en Comprensión del Problema (RPCP) y Ejecución del Plan (RPEP) (Figura 15b) y lo hizo, pasando de nivel medio y bajo respectivamente, a nivel alto. En las otras subcategorías no requería mejoría. Este estudiante termina en nivel 3 en todas las subcategorías.

ESTCIVIL5 terminó en nivel superior en todas las subcategorías, a excepción de Ejecución del Plan (RPEP), donde alcanzó un nivel medio, después de estar en nivel bajo (Figura 16a). En cuanto a Comprensión del Problema (RPCP), pasa de nivel bajo a alto y de bajo a medio en Ejecución del Plan (RPEP).

Finalmente, ESTCIVIL6 mejora en todas las subcategorías requeridas: Comprensión del Problema (RPCP), Diseño de un Plan (RPDP), Comprobación de la Solución (RPCS) y Construcción de vistas (HEOE). El estudiante termina en nivel superior después de la intervención didáctica (Figura 16b).

Figura 16 Cambios en los conocimientos ESTCIVIL5 y ESTCIVIL6 por subcategoría



6.5 RELACIONES ENTRE LAS CATEGORÍAS

Para hablar de las relaciones encontradas entre HE y CRP es importante discutir brevemente algunos resultados puntuales encontrados en ambas categorías. Los resultados antes y después de la intervención didáctica muestran que los estudiantes de ingeniería civil de la muestra poseen buenas habilidades relacionadas con visualización espacial (HEVE), pues cinco de los seis estudiantes se encuentran en nivel superior. Esta habilidad está relacionada con la capacidad de visualizar el cambio de forma de partes de una estructura, mientras ésta rota en el espacio. Esto puede explicarse desde la formación específica de los estudiantes en geometría descriptiva y trabajo con sólidos e isométricos. No obstante, lo mismo no puede decirse de orientación espacial (HEOE) que tiene que ver con la capacidad de hacer proyecciones planas de partes de una estructura. Cuatro de los seis estudiantes se encontraban en nivel inferior de HEOE antes de la intervención didáctica (ESTCIVIL1, ESTCIVIL2, ESTCIVIL3, ESTCIVIL6). Los dos estudiantes que demostraron mejor capacidad de HEOE (nivel 3 y nivel 2.33), son ESTCIVIL4 y ESTCIVIL5 (Figura 13f). Puede observarse que estos estudiantes son los mismos que demostraron un nivel superior en RP, estando los demás en nivel inferior (figura 12l). Si a esto se le suma que los cuatro estudiantes restantes demostraron niveles muy bajos en HEOE, parece haber una relación directa entre CRP y HEOE, pues los estudiantes que resuelven con eficiencia problemas

relacionados con estabilidad de estructuras, lo hacen igualmente bien cuando se trata de problemas relacionados con proyecciones bidimensionales. Además, quienes muestran debilidad en CRP, también las muestran en HEOE.

Al observar que podría existir una relación directa entre la capacidad de construir vistas bidimensionales a partir de figuras tridimensionales (HEOE), debido a los hallazgos que se acaban de describir, durante la intervención didáctica las actividades de aula tuvieron como foco central la construcción de vistas de diferentes sólidos y modelos tridimensionales de partes de una estructura, posterior a lo cual, se planteaban problemas de cálculo de esfuerzos normales sobre estructuras, determinación de direcciones de giro a partir de fuerzas y evaluación de las deformaciones de zapatas. Se observaron progresiones sucesivas en los estudiantes (con excepción de ESTCIVIL3). Dicha observación arrojó que la velocidad de progreso en la capacidad de resolución de problemas (CRP), crecía a medida que mejoraba la capacidad de construcción de vistas bidimensionales.

La misma tendencia puede observarse después de la intervención- didáctica. Con una mejoría en HEOE parece haber una mejoría en CRP. La única excepción a esto es ESTCIVIL3, quien mejora en CRP, pero no lo hace respecto a HEOE. De hecho, este estudiante no sufrió cambios en CRP ni HE, lo cual puede observarse en la forma como las dos curvas se superponen. (Figura 15c). Sus subcategorías débiles eran RPEP, HEVE y HEOE, lo cual no cambio con la intervención. Es de aclarar que el estudiante participó en el proceso, sin embargo, faltó a cerca del 40% de las sesiones.

De la discusión anterior se concluye que en el presente estudio y para la muestra analizada, se demuestra una relación directa entre la capacidad de resolución de problemas de los estudiantes y sus habilidades espaciales, en lo que respecta a HEOE. Los estudiantes con debilidades en HEOE tuvieron problemas para resolver problemas de comportamiento de las estructuras antes de la intervención didáctica. Una vez mejoraron en HEOE, también mejoró su capacidad de resolución de problemas. En la tabla 17 se resumen las relaciones encontradas entre HE y CRP.

Tabla 16. Identificación de relaciones entre HE y RP

Problema	Contexto del Problema	Habilidad espacial requerida	Relaciones encontradas	Observación
Solución de problemas geométricos y de espacios	Se plantean problemas de posicionamiento y distribución de espacios en escaleras, para lo cual se plantea una vista bidimensional y el estudiante debe hacer la construcción tridimensional	HEVE	5 de los 6 estudiantes demuestra alta capacidad para visualizar la posición de los elementos de la escalera al rotar el plano. Estos 5 estudiantes resuelven con eficiencia la construcción tridimensional. El estudiante con deficiencia en HEVE tuvo dificultades en la solución de los problemas que se le presentaron, sin embargo, la relación HEVE y CRP no es concluyente.	En todos los problemas de comportamiento de las estructuras pudo demostrarse una correspondencia entre HEOE y CRP. Los estudiantes con dificultades en la habilidad espacial, presentaron dificultades para resolver los problemas que se trabajaron.
Solución de problemas de flexión asimétrica	El problema consiste en la aplicación de carga excéntrica en el extremo libre de una viga con cargas transversales. Se busca calcular los esfuerzos asimétricos.	HEVE HEOE	Se observó buenas habilidades de HEVE en 5 de los 6 estudiantes y muchas dificultades relacionadas en HEOE en 4 de los 6. Poseer habilidades en HEVE no fue suficiente para resolver los problemas correctamente. A medida que mejoraron en HEOE, mejoraron sus capacidades de resolución de	Análogamente, los que no tenían dicha dificultad, resolvieron los problemas con suficiencia. Se observó que conforme mejoraban en HEOE, también había mejoría en CRP. No se observó correspondencia

			problemas de flexión asimétrica.	a entre HEVE y CRP.
Solución de problemas de esfuerzos combinados	El problema consiste en la determinación de los esfuerzos sobre zapatas, producto de tres cargas, una en cada dirección ortogonal.	HEVE HEOE	Se observó buenas habilidades de HEVE en 5 de los 6 estudiantes y muchas dificultades relacionadas en HEOE en 4 de los 6. Los estudiantes indicaron tener dificultad para observar la proyección de las fuerzas sobre las zapatas. Se profundizó en ejercicios de HEOE y mejoraron los resultados de cálculo de esfuerzos. Se observa una relación de correspondencia entre HEOE y CRP.	
Solución de problemas de visualización estructural	Se trabaja en un esquema tridimensional donde se representan las columnas y vigas de una sección de edificación. La actividad se centra en que los estudiantes construyan un esquema bidimensional (plano) donde	HEOE	Inicialmente, únicamente 2 de los 6 estudiantes pudieron realizar la construcción. Se profundizó en ejercicios de HEOE. A excepción de ESTCIVIL3, todos los estudiantes realizaron con eficiencia la	

posicione vigas y
columnas en el lugar
correcto.

proyección
estructural.

7 CONCLUSIONES

Los resultados muestran con que antes de la intervención didáctica, había un comportamiento heterogéneo en las dos categorías que se investigaron, RP y HE. Respecto a la primera, tres de los seis estudiantes demostraron buena capacidad de comprensión del problema (RPCP) en lo que respecta a identificación de las incógnitas y las variables, pues se encontraban en el nivel superior. De los restantes, uno se encontraba en nivel medio y los otros dos en nivel inferior, lo que indica que el 67% de la muestra demostró buenas capacidades en esta subcategoría. Los resultados después de la intervención muestran que todos los estudiantes terminaron en el nivel superior. De la misma manera, respecto a establecer con claridad un plan para la solución de un problema (RPDP), todos los estudiantes demostraron contar con esta capacidad antes de la intervención (4 en nivel superior y 2 en nivel medio), sin embargo, en algunos de ellos se evidencio falta de organización y secuencia en dicho plan, incluso algunos no incluían la solución del problema en los pasos que describían. El estudio también encontró que no existía una relación de correspondencia entre (RPDP) y la ejecución de dicho plan (RPEP), esto es, comprobar la pertinencia y eficiencia del plan. A esta conclusión se llega ya que los estudiantes que mejor nivel tenían en el diseño del plan terminaron ejecutándolo mal (los 4 con nivel inferior); análogamente, quienes estaban en nivel medio en RPDP, demostraron un nivel superior en la ejecución de dicho plan. Esta relación de correspondencia entre las dos subcategorías mejoró significativamente al finalizar el estudio, pues cinco de los seis estudiantes terminaron confirmando dicha correspondencia.

Varias lecturas podrían hacerse de los hallazgos anteriores, especialmente antes de la intervención. Se espera que exista una relación de correspondencia entre un buen plan para la solución de un problema y la comprobación de dicho plan, pues supone un acercamiento a la demostración de capacidades metacognitivas. Lo observado muestra que, por un lado, no había claridad sobre el por qué se establecía dicho plan o se planteaban los pasos y, por otro lado, no había certeza de que los pasos fueran los correctos. En mi experiencia como docente en el área, puedo concluir que los estudiantes no están acostumbrados a establecer un plan para resolver problemas de estructuras en ingeniería civil. En su lugar, simplemente

ejecutan la solución en función de la comprensión que haya del problema, sus incógnitas, variables, restricciones, etc., sin elaborar un plan para esto. Más aun, al no haber una costumbre de planeación, tampoco habrá habilidad para verificar si dicho plan es efectivo o si es el adecuado. Lo anterior puede evidenciarse al analizar los resultados de verificación de la solución (RPCS), pues, aunque los resultados antes de la intervención no son malos, ninguno de los estudiantes se encuentra en nivel superior, siendo los casos más llamativos los de ESTCIVIL2 y ESTCIVIL3. Comprobar la solución implica que el estudiante demuestre la capacidad de verificar si su razonamiento es correcto y si la solución es la esperada, por medio de análisis y comprobaciones. Al observar los mismos resultados después de la intervención, es claro el progreso alcanzado, ya que únicamente ESTCIVIL2 muestra carencia en este aspecto, todos los demás dieron un salto de calidad.

Ahora bien, si se quiere analizar la capacidad de resolución de problemas de estructuras (CRP), la cual se midió en ambos instrumentos con la pregunta 12, se observa que antes de la intervención didáctica, únicamente ESTCIVIL4 y ESTCIVIL5 demostraron buenas capacidades de resolución de problemas. Los demás estuvieron en nivel inferior (Figura 12l). Estos estudiantes tienen en común para antes de la intervención, buenas habilidades para diseñar un plan, al igual que para comprobar la solución, sin embargo, no ejecutaban bien el plan, lo cual no sorprende, pues se concluyó que todos carecían de dicha habilidad.

Finalmente, es importante resaltar el hecho de que en el presente estudio se haya encontrado que existe correspondencia entre habilidades espaciales (específicamente HEOE) y la capacidad de resolución de problemas. Son muchos los aspectos relacionados con el desempeño de la profesión de ingeniería civil que necesitan que el profesional posea ambas capacidades: En el diseño y planificación de proyectos, por ejemplo, los ingenieros civiles deben trabajar con representaciones espaciales, como planos, diagramas y modelos tridimensionales, para diseñar y planificar proyectos de infraestructura. La habilidad para comprender y manipular información espacial es esencial para crear soluciones efectivas a los desafíos de diseño. De la misma manera, la capacidad de visualizar y comprender la disposición espacial de las estructuras es crucial para garantizar que los proyectos de

ingeniería civil sean seguros y cumplan con los requisitos funcionales. Los ingenieros deben ser capaces de interpretar y comunicar conceptos espaciales con precisión, lo cual favorece una correcta solución del problema estructural. Lo mismo sucede en lo que respecta a gestión de espacios y recursos, los ingenieros civiles deben optimizar el uso del espacio y los recursos disponibles para diseñar infraestructuras funcionales y eficientes. La capacidad de comprender y manipular conceptos espaciales es crucial para lograr una distribución eficaz de recursos. Finalmente, muchos de los proyectos que los arquitectos entregan a los ingenieros civiles para cálculos estructurales, están conformados por problemas geométricos complejos. Esto puede incluir la determinación de ángulos, longitudes, áreas, volúmenes y otras medidas que requieren habilidades sólidas en matemáticas espaciales. Lo anterior indica que si dentro de las estrategias didácticas en las aulas de ingeniería civil, se focaliza el interés en el desarrollo de habilidades espaciales, la capacidad de resolución de problemas de estructuras aumenta, junto con las probabilidades de formar ingenieros con mayor capacidad de diseñar estructuras más seguras.

8 RECOMENDACIONES

El estudio realizado giró en torno a la descripción de HE y RP, la descripción de los cambios después de la intervención didáctica y el establecimiento de las relaciones entre ambas categorías. Las categorías contemplaron 6 subcategorías y entre todas, 8 criterios. Dado que se buscaba realizar las caracterizaciones por criterio y en virtud de lo planteado en la operacionalización de las categorías, los instrumentos resultaron con un número de preguntas superior al deseado. Un análisis cualitativo más que analizar datos, lleva a hacer una lectura individual de cada una de las respuestas, con el propósito de hacer una inferencia por parte del investigador, a la luz de una triangulación con los autores (5 en total). Esto dio como resultado un número excesivo de respuestas para procesar (a pesar de tratarse de una muestra de 6 estudiantes), máxime si se toma en consideración que son dos instrumentos. Cuando se tienen varias subcategorías, varias de ellas, con más de un criterio, es posible que resulte estratégicamente más adecuado, hacer un análisis por subcategoría y no por criterio, aunque siempre dependerá del número de criterios que se consideren. En mi caso en particular, consideré de gran importancia recoger la mayoría de criterios que se relacionaban con RP, ya que los autores (especialmente Polya, 1965) son muy específicos en los indicadores relacionados con una correcta estrategia para la solución de problemas.

Hubo un lapso de cerca de 3 meses entre la aplicación de ambos instrumentos. Al procesar y estudiar los resultados del primer instrumento, y mientras se llevaba a cabo la intervención, resultó evidente que algunas de las preguntas pudieron haberse integrado o incluso, organizado de forma diferente. En ese momento del estudio ya no era posible hacerlo y tampoco podían aplicarse dichos cambios respecto al instrumento final. Estos cambios deseados a mitad del estudio obedecieron principalmente a que el mismo proyecto de investigación sufrió cambios significativos relacionado con aspectos metodológicos (la unidad de análisis y plan de análisis). A partir de aquí y desde mi experiencia en la intervención, es recomendable tener todos los aspectos metodológicos completamente claros antes de construir el instrumento inicial. Esto dará mucha claridad no solamente respecto a la pertinencia de cada una de las preguntas, sino que, además, marca el camino

que se debe seguir en la intervención de aula, tanto para las actividades de presentación de contenidos como para aquellas relacionadas con medición de los aprendizajes.

9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alias, M. (2000). Spatial visualisation ability and problem solving in civil engineering. University of Surrey (United Kingdom).
- Alves, P. A., & Aversi-Ferreira, T. A. (2019). Comments on the problems solving methodology in education of civil engineering in Brazil. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, 12(1).
- Baranová, L., & Katrenicová, I. (2018). Role of descriptive geometry course in development of students' spatial visualization skills. In *Annales Mathematicae et Informaticae* (Vol. 49, pp. 21-32). Eszterházy Károly University Institute of Mathematics and Informatics.
- Bhatia, A., & Chen, P. C. (2015, June). Active learning pedagogies promoting the art of structural and civil engineering. In *2015 ASEE Annual Conference & Exposition* (pp. 26-151).
- Brownell, W. A. (1939). Chapter I: Theoretical Aspects of Learning and Transfer of Training. *Review of Educational Research*, 9(3), 255-273.
- Cabrera, F. C. (2005). Categorización y triangulación como procesos de validación del conocimiento en investigación cualitativa. *theoria*, 14(1), 61-71.
- Carroll, J. B. (1993). *Human cognitive abilities: A survey of factor-analytic studies* (No. 1). Cambridge University Press.
- Connor, J. M., & Serbin, L. A. (1980). *Mathematics, Visual-Spatial Ability, and Sex Roles. Final Report.*
- Dias, B. C., Cargnin, C., & Frizzarini, S. T. (2016). Reflexões sobre o ensino da matemática. *Colóquio Luso-Brasileiro de Educação*.
- Dostál, J. (2015). Theory of problem solving. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 174, 2798-2805.

- Duesbury, R. T. (1996). Effect of type of practice in a computer-aided design environment in visualizing three-dimensional objects from two-dimensional orthographic projections. *Journal of Applied Psychology*, 81(3), 249.
- Ekstrom, R. B., & Harman, H. H. (1976). Manual for kit of factor-referenced cognitive tests, 1976. Educational testing service.
- Elliott, J. (1990). La investigación-acción en educación. Ediciones Morata. (categorización apriorística)
- Fang, N., Farooq, A., & Goodridge, W. (2022). Enhancing Undergraduate Engineering Students' Spatial Skills Through a New Virtual and Physical Manipulatives (VPM) Technology. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING EDUCATION*, 38(1), 90-100.
- Felder, R. M., Felder, G. N., & Dietz, E. J. (1998). A longitudinal study of engineering student performance and retention. V. Comparisons with traditionally-taught students. *Journal of Engineering education*, 87(4), 469-480.
- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the national academy of sciences*, 111(23), 8410-8415.
- Gómez-Tone, H. C. (2019). Impacto de la Enseñanza de la Geometría Descriptiva usando Archivos 3D-PDF como Entrenamiento de la Habilidad Espacial de Estudiantes de Ingeniería Civil en el Perú. *Formación universitaria*, 12(1), 73-82.
- Gómez-Tone, H. C., Martin-Gutierrez, J., Valencia Anci, L., & Mora Luis, C. E. (2020). International comparative pilot study of spatial skill development in engineering students through autonomous augmented reality-based training. *Symmetry*, 12(9), 1401.
- Holmes, N., & Mullen, H. (2013). Using model building in structural engineering to enhance understanding of construction principles and methods. *Irish Journal of Academic Practice*, 2(1), 6.

- Ji, T., & Bell, A. J. (2000, April). Seeing and touching structural concepts in class teaching. In *The Proceedings of the Conference on Civil Engineering Education in the 21st Century*, Southampton, UK (Vol. 26, p. 28).
- Ji, T., & Bell, A. J. (2014). Innovative teaching and learning of structural concepts. *The Structural Engineer*, 92(7), 10-14.
- Kösa, T. y F. Karakuş, The Effects of Computer-Aided Design Software on Engineering Students' Spatial Visualisation Skills, doi: 10.1080/03043797.2017.1370578, *European Journal of Engineering Education*, 43(2), 296-308 (2018)
- Kupisiewicz, Cz. (1964). O efektívnosti problémového vyučovania.
- Leinonen, J., Kähkönen, K., Retik, A., Flood, R. A., William, I., & O'brien, J. (2003). New construction management practice based on the virtual reality technology. *4D CAD and Visualization in Construction: Developments and Applications*, AA Balkema Publishers, 75-100.
- Linhart, J. (1976). Činnost a poznávání. Academia. Praha.
- Linhart, J. (1982). Základy psychologie učení. Praha: SPN
- Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis. *Child development*, 1479-1498.
- Mayer, R. E., & Wittrock, M. C. (2006). Problem solving. *Handbook of educational psychology*, 2, 287-303.
- McCrum, D. P. (2017). Evaluation of creative problem-solving abilities in undergraduate structural engineers through interdisciplinary problem-based learning. *European Journal of Engineering Education*, 42(6), 684-700.
- McGee, M. G. (1979). Human spatial abilities: psychometric studies and environmental, genetic, hormonal, and neurological influences. *Psychological bulletin*, 86(5), 889.
- Molyneaux, T., Setunge, S., Gravina, R., & Xie, M. (2007). An evaluation of the learning of structural engineering concepts during the first two years of a project-based engineering degree. *European Journal of Engineering Education*, 32(1), 1-8.

- Montoya-Vallecilla, J. O. (2018). Visualización, experimentación y discusión: estrategia didáctica en la enseñanza-aprendizaje de la mecánica de materiales. *Educación en Ingeniería*, 13(26), 47-53.
- Nolasco de Almeida Mello, G., & Cabero Almenara, J. (2020). Realidad Aumentada en la enseñanza de hormigón reforzado: percepción de los alumnos. *ALTERIDAD. Revista de Educación*, 15(1), 12-24.
- Okoň, W. (1966) *K základům problémového učení*. Praha: SPN.
- Ortega, F. J. R., Alzate, O. E. T., & Bargalló, C. M. (2015). La argumentación en clase de ciencias, un modelo para su enseñanza. *Educacao e pesquisa*, 41(3), 629-645.
- Petzold, F., Bimber, O., & Tonn, C. (2007). CAVE without CAVE—on-site visualization and design support in and within existing buildings. In *Predicting the Future-eCAADe*.
- Polya, G., & Zugazagoitia, J. (1965). *Cómo plantear y resolver problemas* (No. 04; QA11, P6.). México: Trillas.
- Sampaio, A. Z., & Henriques, P. G. (2008). Visual simulation of Civil Engineering activities: Didactic virtual models.
- Sampaio, A. Z., Henriques, P. G., & Martins, O. P. (2010). Virtual reality technology used in civil engineering education. *The open virtual reality journal*, 2(1).
- Schauss, N. A., & Peuker, S. (2014, August). Improving student success and retention rates in engineering: one year after implementation. In *Proceedings of 2014 FYEE Annual Conference*.
- Sorby, S. A., *Developing 3-D Spatial Visualization Skills*, *The Engineering Design Graphics Journal*, 63(2) (1999)
- Sorby, S. A., Vieau, S., & Yoon, S. Y. (2021, July). The Relationship Between Spatial Skills and Solving Problems in Engineering Mechanics. In *2021 ASEE Virtual Annual Conference Content Access*.

- Tartre, L.A., Spatial Orientation Skill and Mathematical Problem Solving, doi: 10.2307/749375, *Journal for Research in Mathematics Education*, 21(3), 216-229 (1990)
- Through Engineering Drawing using the Whole-to-parts Approach, *Australasian Journal of Engineering Education*, 16:1, 81-86
- Tone, H. C. G., Gutiérrez, J. M., & Anci, B. V. (2022). Entrenamiento Basado en Realidad Aumentada para Mejorar Habilidades Espaciales y Rendimiento Académico en Estudiantes de Ingeniería. *Digital Education Review*, (41), 306-322.
- Vallecilla, J. O. M. (2019). The role of representations in an inductive deductive inductive approach in engineering: perspective from Mechanics of Materials. *Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics*, 17(3), 13-19.
- Veide, Z., & Strozheva, V. (2015). The Visualizations Methods of Geometrical Forms in teaching of Civil Engineering Students. In *Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference. Volume II* (Vol. 312, p. 316).
- Watkins, J., & Mazur, E. (2013). Retaining students in science, technology, engineering, and mathematics (STEM) majors. *Journal of College Science Teaching*, 42(5), 36-41.
- Witkin, H. A., Dyk, R. B., Faterson, H. F., Goodenough, D. R., & Karp, S. A. (1962). *Differentiation: Studies of development*.
- Z A Akasah & M Alias (2010) Bridging the Spatial Visualisation Skills Gap.

10 ANEXOS

Anexos 1. Formato protocolo para el manejo de seres vivos en investigación

COMITÉ DE BIOÉTICA

	FORMATO PROTOCOLO PARA EL MANEJO DE SERES VIVOS EN INVESTIGACIÓN COMITÉ DE BIOÉTICA	CÓDIGO: GIN-FOR-033
		VERSIÓN: 1
		FECHA ELABORACIÓN DEL DOCUMENTO: 18/FEB/2019

Nombre de la investigación:

Investigadores:

Ciudad y Fecha:

Fases y Procedimientos a realizar antes, durante, y después de los procedimientos	Posibles riesgos a los que se exponen los participantes	Acciones que se implementarán para minimizar los riesgos	Acciones que se implementarán en caso que suceda un evento adverso	Evidencias científicas que demuestran que las acciones a implementar tienen sustento teórico con las referencias

Anexo 1 Consentimiento Informado para la Participación en Investigaciones

	CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA LA PARTICIPACIÓN EN INVESTIGACIONES	CÓDIGO: GIN-FOR-016
		VERSIÓN: 01
		FECHA ELABORACIÓN DEL DOCUMENTO: 04/JUN/2015

GRUPO DE INVESTIGACIÓN _____

INVESTIGACIÓN:

título:

Ciudad y fecha: _____

Yo, _____ una vez informado sobre los propósitos, objetivos, procedimientos de intervención y evaluación que se llevarán a cabo en esta investigación y los posibles riesgos que se puedan generar de ella, autorizo a _____, docente de la Universidad Autónoma de Manizales, para la realización de los siguientes procedimientos:

1. _____

2. _____

Adicionalmente se me informó que:

- **Mi participación en esta investigación es completamente libre y voluntaria, estoy en libertad de retirarme de ella en cualquier momento.**
- **No recibiré beneficio personal de ninguna clase por la participación en este proyecto de investigación. Sin embargo, se espera que los resultados obtenidos permitirán mejorar los procesos de evaluación de pacientes con condiciones clínicas similares a las mías.**
- Toda la información obtenida y los resultados de la investigación serán tratados confidencialmente. Esta información será archivada en papel y medio electrónico. El archivo del estudio se guardará en la Universidad Autónoma de Manizales bajo la responsabilidad de los investigadores.
- Puesto que toda la información en este proyecto de investigación es llevada al anonimato, los resultados personales no pueden estar disponibles para terceras personas como empleadores, organizaciones gubernamentales, compañías de seguros u otras instituciones educativas. Esto también se aplica a mi cónyuge, a otros miembros de mi familia y a mis médicos.

Hago constar que el presente documento ha sido leído y entendido por mí en su integridad de manera libre y espontánea .

HUELLA
HUELLA

Firma

Documento de identidad _____ No. _____ de _____

Huella Índice derecho:

Proyecto aprobado por el comité de Bioética de la UAM, según consta en el acta No xx de xxx de 20xx

Anexos 2. Consentimiento informado estudiantes

	CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA LA PARTICIPACIÓN EN INVESTIGACIONES
---	---

Yo _____, acudiente del estudiante: _____ y de _____ años de edad, acepto de manera voluntaria que él (ella) se incluya como sujeto de estudio en el proyecto de investigación denominado: XXXX, luego de haber conocido y comprendido en su totalidad, la información sobre dicho proyecto, riesgos si los hubiera y beneficios directos e indirectos de su participación en el estudio, y en el entendido de que:

- La participación del alumno no repercutirá en sus actividades ni evaluaciones programadas en el curso.
- No habrá ninguna sanción para el estudiante en caso de no aceptar la invitación.
- El estudiante podrá retirarse del proyecto si lo considera conveniente, aun cuando el investigador responsable no lo solicite, informando sus razones para tal decisión. Asimismo, si así lo deseo, puedo recuperar toda la información obtenida de la participación del estudiante.
- No haré ningún gasto, ni recibiré remuneración alguna por la participación en el estudio.
- Se guardará estricta confidencialidad sobre los datos obtenidos producto de la participación, con un número de clave que ocultará la identidad del estudiante.
- Si en los resultados de la participación del alumno se hiciera evidente algún problema relacionado con el proceso de aprendizaje, se le brindará orientación al respecto.
- Puedo solicitar, en el transcurso del estudio información actualizada sobre el mismo, al investigador responsable.

Anexos 3. Consentimiento informado Universidad



Ibagué, 19 de julio de 2023

Doctor
Carlos Antonio Meisel Donoso
Decano Facultad de Ingeniería
Universidad de Ibagué

Ciudad

Cordial saludo.

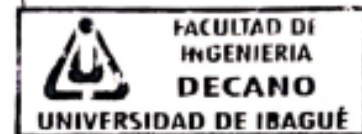
Yo, **Jorge Olmedo Montoya Vallecilla**, como estudiante de la Maestría en Enseñanza de las Ciencias de la Universidad Autónoma de Manizales, solicito ante usted permiso para desarrollar dentro de la institución educativa y con los estudiantes de quinto semestre del programa de Ingeniería Civil de la Universidad de Ibagué, la propuesta de investigación denominada *Relaciones entre las habilidades espaciales y la capacidad de resolución de problemas en el aprendizaje de conceptos de estructuras en estudiantes de Ingeniería Civil*

Para el desarrollo de la investigación, se recolectará información a través de instrumentos de lápiz y papel, entrevistas y listas de chequeo. Vale la pena resaltar que la información se utilizará únicamente con fines investigativos y se manejará la confidencialidad de la misma, al igual que me comprometo a dar a conocer los resultados a la comunidad educativa una vez concluido el proyecto.

Atentamente,

Jorge Olmedo Montoya Vallecilla
Estudiante de maestría en Enseñanza de las Ciencias
Universidad Autónoma de Manizales

Vo.Bo.



Anexos 4. Documento exploración de ideas previas

INSTRUMENTO 1: IDENTIFICACIÓN DE FORMAS Y VISTAS

UNIVERSIDAD DE IBAGUÉ
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

INSTRUMENTO 1: CONSTRUCCIÓN DE VISTAS Y ROTACIÓN DE ISOMÉTRICOS

Nombres y apellidos_____ Código_____ Fecha_____

El presente instrumento tiene el propósito de posicionar y construir conocimiento en torno a las vistas que se generan en los elementos estructurales, a partir de un modelo tridimensional, así como establecer los cambios de forma de una estructura a partir de su rotación. Por favor, tenga en cuenta que no es un examen, por tal motivo, se le solicita responderlo de forma abierta y sin ningún tipo de presión. No habrá calificación sobre este instrumento.

Objetivos de Aprendizaje

- Elaborar vistas de modelos generales, en ejes ortogonales a partir de isométricos.
- Determinar los cambios de forma de una estructura a partir de su rotación.
- Solucionar problemas asociados a estabilidad de estructuras

Conceptos

Habilidades espaciales, rotación de figuras, elaboración de vistas bidimensionales en diferentes caras

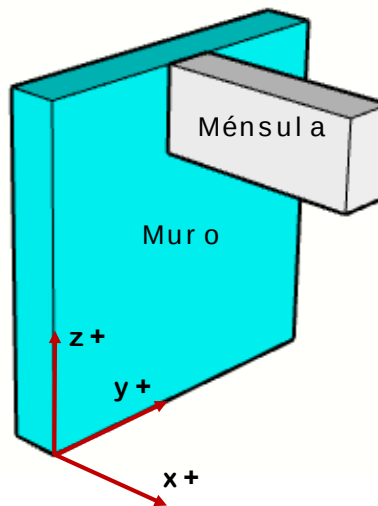
Descripción de la actividad

Los estudiantes realizarán la construcción de vistas bidimensionales respecto a ejes ortogonales, de figuras isométricas. Para esto, los estudiantes responderán a preguntas relacionadas con la forma como resuelven problemas de orientación y posicionamiento de las diferentes vistas, así como del modelo.

En ingeniería civil, para una buena comprensión de la estructura, es necesario que el profesional proyecte vistas bidimensionales a partir de modelos tridimensionales. En la figura 1 se presenta una estructura muro-ménsula en tres dimensiones, donde se identifican tres ejes ortogonales: x , y , z . La ménsula está colocada exactamente a la mitad del ancho del muro. Cuando el observador se aleja de la estructura y se ubica frente al eje x positivo,

proyectará una vista bidimensional frontal. Al alejarse y ubicarse frente al eje y positivo proyectará una vista bidimensional lateral derecha. Finalmente, si se aleja hacia arriba y se ubica frente al eje z positivo, proyectará una vista bidimensional superior. En el presente ejercicio se le pide que construya las tres vistas bidimensionales (frontal, lateral derecha y superior) de la estructura. Para esto, siga las indicaciones que se leen a continuación:

Figura 1. Modelo tridimensional estructura



1. ¿Cómo puede solucionar este problema? Piense en un plan para resolver el problema. Describa los pasos que seguirá para la construcción de cada una de las tres vistas bidimensionales de la estructura. Enumere los pasos. Agregue pasos si es necesario.

Paso 1

Paso 2

Paso 3

Paso 4

2. Explique por qué seguirá los pasos que describió para la solución del problema

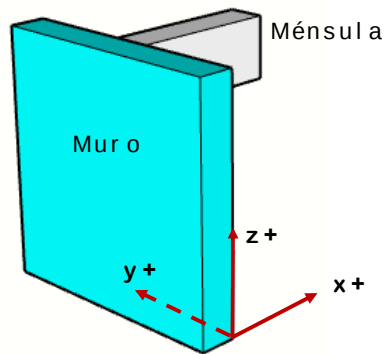
3. Ejecute los pasos que describió, construyendo las tres vistas bidimensionales de la estructura, en los recuadros de la figura 2

Figura 2. Espacio para vistas bidimensionales de la edificación



4. ¿Qué dificultades se le presentaron en la solución del problema? ¿cómo resolvió las dificultades?
-
-
-
-
-
5. ¿Cree que resolvió el problema de forma adecuada? ¿Por qué o por qué no?
-
-
-
-
-
6. Si le pidieran construir la vista bidimensional posterior (alejarse y pararse frente al eje x negativo) ¿consideraría algún detalle que no necesitó considerar en el ejercicio anterior? Explique por qué o por que no.

Figura 3. Isométrico estructura



7. En el recuadro de la figura 4, dibuje cómo se vería la vista bidimensional posterior de la estructura

Figura 4. Espacio para construcción de vista posterior



8. ¿cree que resolvió el problema de forma adecuada? ¿Por qué o por qué no?

La estructura de la figura, al ser girada 90° con respecto al eje x y posteriormente 90° con respecto al eje y , adopta una de las 4 formas numeradas (a, b, c o d). Se le pide que señale la que usted considere es la correcta

9. Indique los pasos que seguirá para resolver el problema. Agregue pasos si es necesario.

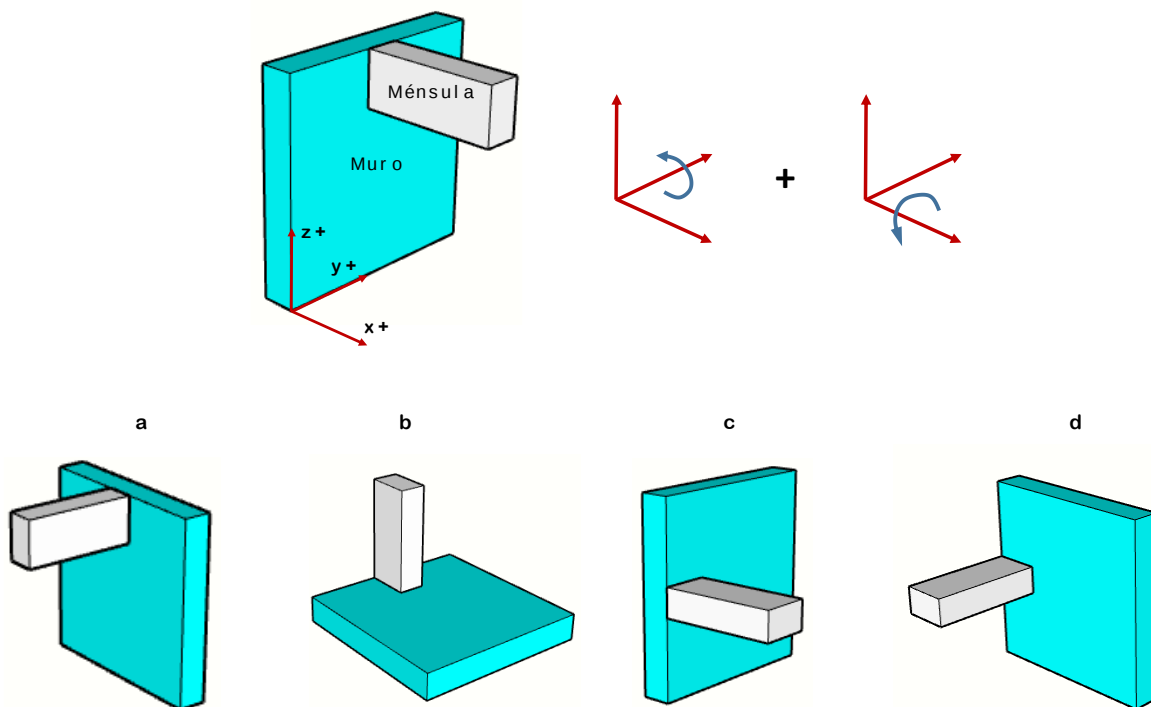
Paso 1

Paso 2

Paso 3

Paso 4

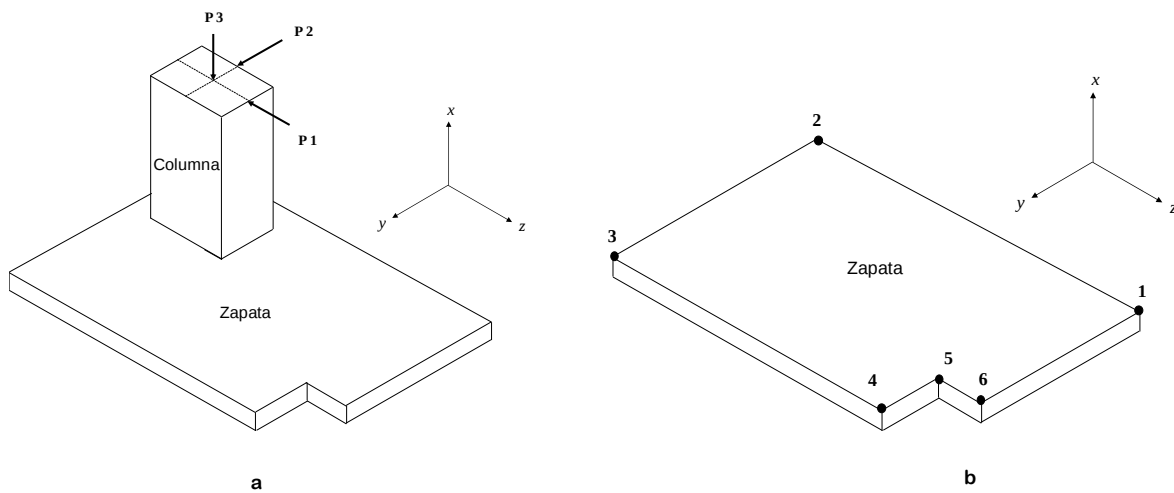
Figura 5. Rotación de figura respecto a ejes ortogonales



10. ¿cree que resolvió el problema de forma correcta? Indique por qué o por que no

Para determinar los esfuerzos a los que está sometido el suelo, antes las cargas transmitidas por la cimentación, se hace necesario conocer la distribución de dichos esfuerzos en la base de la zapata. De esta manera, es posible proponer un diseño ajustado a la seguridad, la economía y la funcionalidad. En la figura 1 se presenta una estructura compuesta por columna y zapata (a) y la misma zapata, sin la columna (b). Sobre la columna actúan tres fuerzas en diferentes direcciones, las cuales producen flexión sobre la zapata. Se le pide al estudiante que, a partir de un análisis de la estructura como un todo, la posición de la columna sobre la zapata y las direcciones de las fuerzas aplicadas, identifique, según su criterio, a qué tipo de esfuerzo estará sometida cada esquina: compresión o tracción.

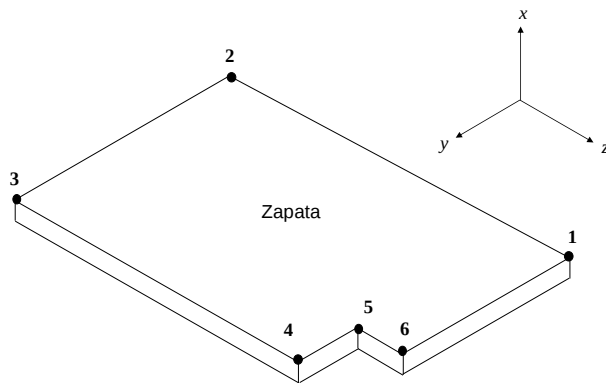
Figura 1. Modelo tridimensional a) estructura zapata- columna, b) zapata



11. ¿Qué variables o conceptos identifica en el problema?, ¿cuáles son los datos relevantes y las incógnitas? Argumente.

12. Ejecute el plan propuesto. Marque con una C si considera que una esquina estará sometida a compresión y con una T si el esfuerzo es de tracción.

Figura 2. Modelo tridimensional zapata



Anexos 5. Post test instrumento final

INSTRUMENTO POST TEST

UNIVERSIDAD DE IBAGUÉ
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

VISTAS, ISOMÉTRICOS Y PROBLEMAS DE ESTRUCTURAS

Nombres y apellidos_____ Código_____ Fecha_____

El presente instrumento tiene el propósito de indagar sobre los avances en habilidades espaciales y de resolución de problemas en estudiantes de ingeniería civil, después de una intervención didáctica. Por favor, tenga en cuenta que no es un examen, por tal motivo, se le solicita responderlo de forma abierta y sin ningún tipo de presión. No habrá calificación sobre este instrumento.

Objetivos de Aprendizaje

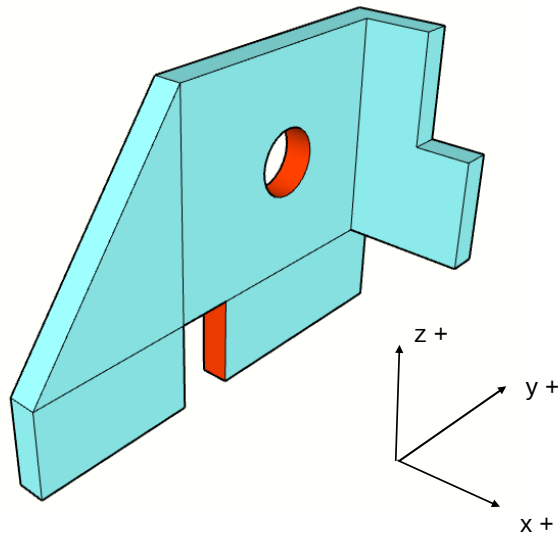
- Elaborar vistas de modelos generales, en ejes ortogonales a partir de isométricos.
- Determinar los cambios de forma de una estructura a partir de su rotación.
- Solucionar problemas asociados a estabilidad de estructuras

Conceptos

Habilidades espaciales, rotación de figuras, elaboración de vistas bidimensionales en diferentes caras, solución de problemas de estructuras

En la figura 1 se presenta una estructura tipo muro en tres dimensiones, donde se identifican tres ejes ortogonales: x , y , z . Cuando el observador se aleja de la estructura y se ubica frente al eje x positivo, proyectará una vista bidimensional **frontal**. Al alejarse y ubicarse frente al eje y negativo proyectará una vista bidimensional **lateral izquierda**. Finalmente, si se aleja hacia arriba y se ubica frente al eje z positivo, proyectará una vista bidimensional **superior**. En el presente ejercicio se le pide que construya las tres vistas bidimensionales (frontal, lateral izquierda y superior) de la estructura. Para esto, siga las indicaciones que se leen a continuación:

Figura 1. Modelo tridimensional estructura



13. ¿Cómo puede solucionar este problema? Piense en un plan para resolver el problema. Describa los pasos que seguirá para la construcción de cada una de las tres vistas bidimensionales de la estructura. Agregue pasos si es necesario.

Paso 1

Paso 2

Paso 3

14. Explique por qué seguirá los pasos que describió para la solución del problema

15. Ejecute los pasos que describió, construyendo las tres vistas bidimensionales de la estructura, en los recuadros de la figura 2

Figura 2. Espacio para vistas bidimensionales de la edificación

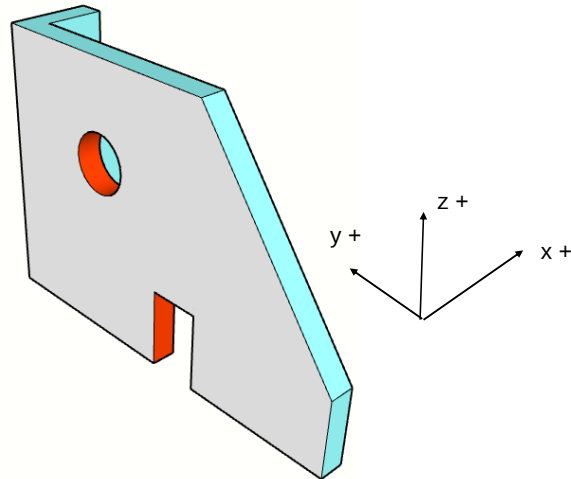
	Vista superior
Vista lateral IZQUIERDA	Vista frontal

16. ¿Qué dificultades se le presentaron en la solución del problema? ¿cómo resolvió las dificultades?

17. ¿Cree que resolvió el problema de forma adecuada? ¿Por qué o por qué no?

18. Si le pidieran construir la vista bidimensional posterior (alejarse y pararse frente al eje x negativo) ¿consideraría algún detalle que no necesitó considerar en el ejercicio anterior? Explique por qué o por que no.

Figura 3. Isométrico estructura



19. En el recuadro de la figura 4, dibuje cómo se vería la vista bidimensional posterior de la estructura

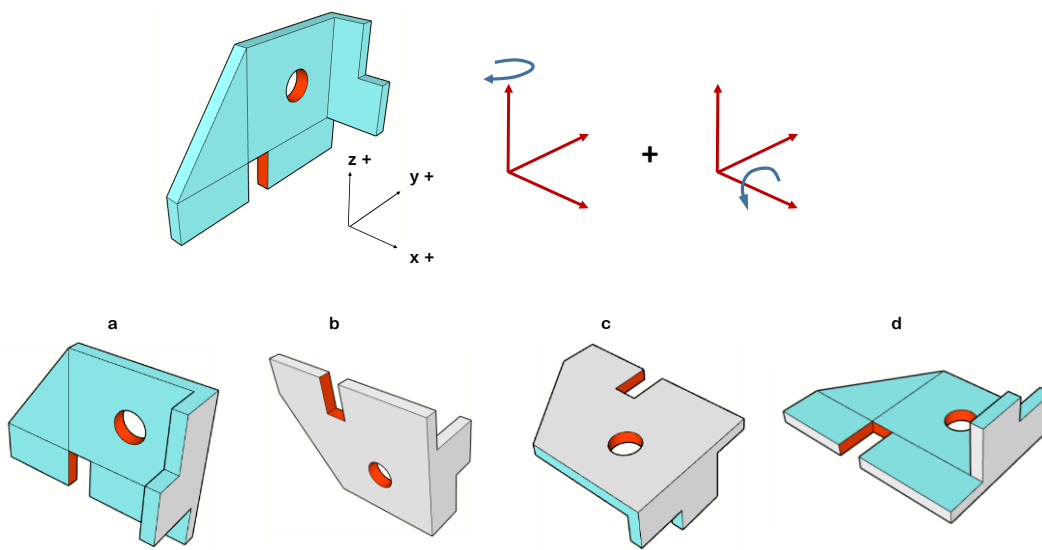
Figura 4. Espacio para construcción de vista posterior



20. ¿cree que resolvió el problema de forma adecuada? ¿Por qué o por qué no?

21. La estructura de la figura, al ser girada 90° con respecto al eje z y posteriormente 180° con respecto al eje x , adopta una de las 4 formas numeradas (a, b, c o d). Se le pide que señale la que usted considere es la correcta

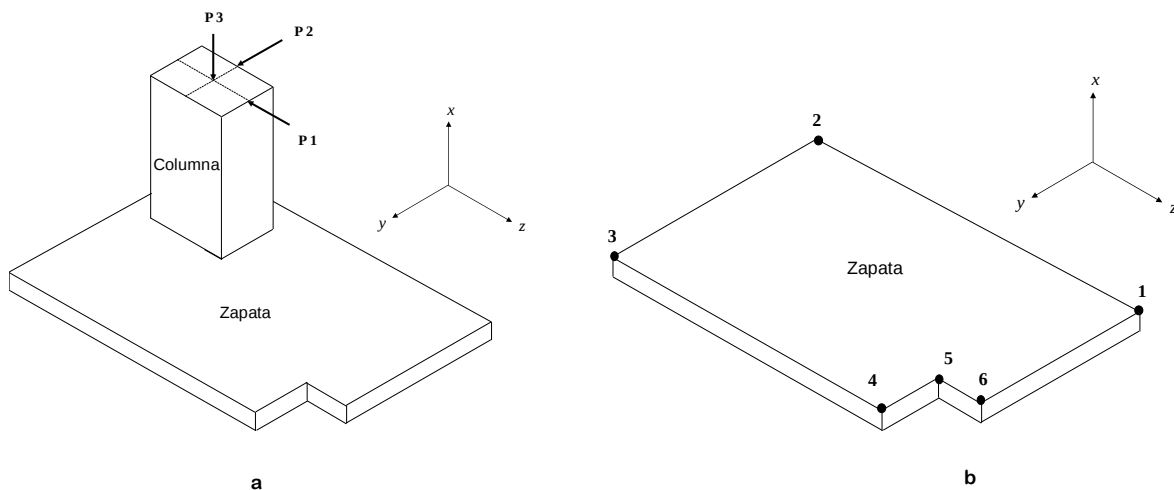
Figura 5. Rotación de figura respecto a ejes ortogonales



22. ¿cree que resolvió el problema de forma correcta? Indique por qué o por que no

En la figura 6 se presenta una estructura compuesta por columna y zapata (a) y la misma zapata, sin la columna (b). Sobre la columna actúan tres fuerzas en diferentes direcciones, las cuales producen flexión sobre la zapata. Se le pide al estudiante que, a partir de un análisis de la estructura como un todo, la posición de la columna sobre la zapata y las direcciones de las fuerzas aplicadas, identifique, según su criterio, a qué tipo de esfuerzo estará sometida cada esquina debido a cada fuerza: compresión o tracción.

Figura 6. Modelo tridimensional a) estructura zapata- columna, b) zapata



23. ¿Qué variables o conceptos identifica en el problema?, ¿cuáles son los datos relevantes y las incógnitas? Argumente.

24. Ejecute el plan propuesto. Para cada punto, debe marcar cuatro letras en las esquinas de la figura 7, en orden: debido a P1 (una acción), debido a P2 (una acción) y debido a P3 (2 acciones). Cada punto deberá tener 4 letras, por ejemplo, TTCT. Debe respetar el orden P1, P2, P3.

Figura 7. Modelo tridimensional zapata

